

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»
(АО «ВНИИЖТ»)

На правах рукописи



БЕГМАТОВ НОДИР ИСМОИЛОВИЧ

ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ
ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ В УСЛОВИЯХ
МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование
железных дорог

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Суслов Олег Александрович

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЗОР И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ	8
1.1 Анализ эксплуатационных условий и конструкций верхнего строения пути, применяемых на АО «УТЙ»	8
1.2 Обзор исследований по вопросу методологии выбора технических параметров конструкции железнодорожного пути	16
1.3 Обзор исследований по вопросу методологии технико-экономического сравнения вариантов конструкции железнодорожного пути	23
1.4 Выводы по главе 1	30
2 РАЗРАБОТКА И ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ.....	32
2.1 Методика обоснования	32
2.2 Определение модуля упругости пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip	34
2.3 Расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций пути и оценка изменения интенсивности расстройств пути	38
2.4 Расчеты прочности и устойчивости конструкции бесстыкового пути.....	47
2.5 Выводы по главе 2.....	52
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ЕГО ОБРАЩЕНИИ ПО ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ	54
3.1 Общие положения	54
3.2 Основные принципы моделирования вписывания экипажей в железнодорожный путь	55
3.2.1 Железнодорожный путь	56
3.2.2 Геометрия пути.....	57
3.2.3 Геометрия рельсов в идеальной прямой	57
3.2.4 Макрогеометрия кривой	59
3.2.5 Система координат пути	60
3.2.6 Неровности рельсовых нитей	61
3.2.7 Упруго-диссипативные и инерционные свойства пути	62
3.3 Железнодорожный подвижной состав	62
3.3.1 Описание модели грузового вагона.....	62
3.3.2 Модель пассажирского вагона с тележками типа КВЗ	64
3.3.3 Модель грузового магистрального тепловоза 2ТЭ10.....	64

3.4 Расчет параметров взаимодействия пути и подвижного состава с использованием программного комплекса УМ.....	65
3.5 Выводы по главе 3.....	98
4 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ.....	100
4.1 Расчёт затрат на текущее содержание и ремонты путевой инфраструктуры.....	100
4.2 Моделирование накопления повреждаемости пути и определение стоимости его владения и установки.....	105
4.2.1 Алгоритм определения значений d_i	105
4.2.2 Определение значений $[D_i]$	106
4.2.3 Анализ работы железнодорожного пути со скреплениями Pandrol.....	108
4.2.4 Результаты наблюдения за опытными участками пути для анализа их работы.....	116
4.2.5 Выполнение прогнозных расчетов.....	124
4.3 Выполнение прогнозных расчетов и определение сферы применения облегченной конструкции верхнего строения пути.....	126
4.4 Выводы по главе 4.....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	136
СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	139
Приложение А.....	155
Приложение Б.....	195

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Условия эксплуатации на различных направлениях железнодорожной сети могут иметь существенные отличия. При аналогичном плане, профиле, климате направления может существенно различаться структура перевозок (осевые нагрузки, длины поездов) и их интенсивность. Любой из перечисленных эксплуатационных факторов способен оказывать заметное влияние на выбор конструктивных решений прежде всего верхнего строения пути, как наиболее нагруженной части путевой инфраструктуры. Как следствие, не существует какого-то единственного конструкционно-технического решения по устройству пути, поскольку перечень возможных решений многообразен. Сравнительный анализ мощности конструкции пути и эксплуатационных условий работы путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари», далее АО «УТЙ», показал, что существуют отдельные участки, где эксплуатационная нагруженность не столь значительна, а применение на таких участках типовой конструкции пути с эпюрой шпал 1840 (2000 шт./км) и толщиной балластного слоя 40 см может привести к недоиспользованию ресурса конструкции пути, что экономически нецелесообразно. В связи с этим, актуальным является проведение комплексного исследования связи конструкционно-технических параметров железнодорожного пути, применяемых на железных дорогах Узбекистана, с показателями ресурса и надежности в различных эксплуатационных условиях.

Степень разработанности темы исследования

Вопросам, связанным с оптимизацией конструкции пути и его элементов, и расчетам сил взаимодействия экипажа и пути, посвящены работы многих ученых. В их числе следует отметить: А. Я. Когана, М. Ф. Веригу, Ю. С. Ромена, С. П. Першина, В. А. Виноградова, В. М. Ермакова, В. И. Новаковича, Н. П. Виногорова, Е. М. Бромберга, В. В. Ершова, В. П. Бельтюкова, О. А. Сулова, А. В. Савина, Д. В. Овчинникова и др.

Изученный автором опыт позволил обосновать рациональное применение облегченных конструкций пути по конкретным эксплуатационным условиям.

Объектом исследования является конструкция железнодорожного пути.

Предметом исследования является методический инструментарий оценки эффективности технических решений, надежности и стоимости жизненного цикла верхнего строения пути в заданных условиях эксплуатации.

Целью работы является обоснование выбора параметров устройства облегченной конструкции пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip, учитывающей эксплуатационные условия работы АО «Узбекистон темир йуллари».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- анализ ранее выполненных работ по тематике исследования;
- расчеты для определения наиболее перспективных вариантов устройства облегченной конструкции;
- исследование силового воздействия от подвижного состава при обращении его по облегченной конструкции;
- прогнозные расчеты накопления расстройств и отказов при эксплуатации облегченной конструкции пути;
- расчеты экономической целесообразности применения облегченной конструкции.

Научная новизна

Получен модуль упругости конструкции пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip при типовой и облегченных вариантах конструкции.

Получены зависимости сил взаимодействия пути и подвижного состава с учетом применения облегченной конструкции пути.

Получены степенные коэффициенты к функции аппроксимации кривой надежности для отказа или выхода из строя элементов верхнего строения пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке модели расчета модуля упругости конструкции пути и расчета взаимодействия конструкции пути и подвижного состава, а также технико-экономической модели обоснования и

выбора облегченной конструкции со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip.

Практическая значимость работы заключается в определении значений модуля упругости конструкции пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip и в определении сферы применения облегченных конструкций пути для эксплуатационных условий АО «УТЙ».

Методология и методы исследования

Методы исследования основаны на использовании комплекса теоретических и экспериментальных исследований, среди которых:

- современные приемы и методы разработки новых технических решений и технологий;
- численные методы расчета конструкций верхнего строения железнодорожного пути с помощью электронно-вычислительных машин с применением современных программных комплексов;
- экспериментальные методы исследования работы конструкций пути;
- методы анализа и сравнения результатов исследования.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты расчетов модуля упругости конструкции пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip и расчетов по выбору наиболее перспективного варианта облегченной конструкции ВСП;
- результаты расчета силового воздействия на облегченные конструкции пути при обращении по ним подвижных единиц;
- зависимости степенных коэффициентов к функции аппроксимации кривой надежности для отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути с шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip;
- результаты расчета прогнозирования отказов и технико-экономических показателей применения облегченных конструкций пути.

Степень достоверности и апробации результатов исследования

Научные положения, результаты исследования, выводы и рекомендации подтверждаются результатами ранее выполненных исследований, применением адекватного математического аппарата, хорошей сходимостью результатов расчетов и данных эксплуатационных наблюдений.

Апробация работы

Основные результаты исследований были доложены и обсуждены:

- на Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи с международным участием «Научно-техническое и социально-экономическое развитие транспорта и промышленности стран АТР» (ДВГУПС, Хабаровск, 2022 г.);
- на международной научно-технической конференции «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы» (ТГТУ, Ташкент, 2022 г.);
- на международной научной конференции аспирантов и молодых учёных «Железная дорога: путь в будущее» (АО «ВНИИЖТ», Москва, 2022 г.);
- на Научном семинаре кафедры «Инженерия железных дорог» Ташкентского государственного транспортного университета (ТГТУ, Ташкент, 2022 г.).

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 5 работ, из них 2 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Диссертация изложена на 137 страницах основного текста, содержит 46 рисунков, 45 таблиц, 2 приложение, список использованных источников из 142 наименований.

1 ОБЗОР И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ эксплуатационных условий и конструкций верхнего строения пути, применяемых на АО «УТЙ»

В соответствии со Стратегией действия по развитию Республики Узбекистан [1] разработана стратегия развития железнодорожного транспорта Республики [2].

Целями Стратегии развития железнодорожного транспорта являются формирование и непрерывное развитие железнодорожной отрасли как неотъемлемой части экономики Узбекистана, увеличение транспортно-транзитного потенциала страны, повышение уровня локализации продукции, проведение согласованной политики транспортного и технического регулирования, обеспечение безопасности, повышение комфортности и надежности движения поездов, повышение инвестиционной привлекательности железнодорожного транспорта [2].

Развитие инфраструктуры путевого хозяйства компании предусматривает:

- строительство новых железных дорог и реконструкция существующих линий;
- строительство новых и реконструкция существующих отдельных пунктов;
- использование современных материалов и конструкций;
- развитие и внедрение инновационных технологий.

Стратегическим направлением развития путевого хозяйства АО «УТЙ» является комплексное решение вопросов по совершенствованию конструкции железнодорожного пути и максимальному продлению сроков службы отдельных элементов и деталей верхнего строения пути.

За период с 1991 по н. в. в Узбекистане проделана большая работа по формированию новых железнодорожных магистралей. «В 1994–2001 гг. построена новая железнодорожная линия Учкудук – Султануиздаг с

электрификацией, реконструированы линии Навои – Учкудук, Султануиздаг – Нукус с электрификацией, которые послужили созданию железнодорожной линии Навои – Учкудук – Султануиздаг – Нукус протяженностью 341,6 км» [3].

«В 2003–2007 гг. построена железнодорожная линия Ташгузар – Бойсун – Кумкурган протяженностью 223 км, что стало важнейшим фактором развития социальной инфраструктуры южных регионов Республики» [4].

В 2009–2013 гг. построены новые с электрификацией участки Джизак – Янгиер, Янгиер – Фархад, Янгиер новая – Даштабад, Галляарал – Булунгур, Даштабад – Джизак, послужившие организации высокоскоростного движения на линии от Ташкента до Самарканда [5], на которых, на отдельных участках пути, скорость высокоскоростного электропоезда *Afrosiyob* достигает 250 км/ч.

В 2015 году была завершена электрификация примерно 140 км участка Мараканд – Карши [6], что позволило в вести высокоскоростной электропоезд «Афросиёб» в направлении Ташкент – Самарканд – Карши. В 2016 году начал курсировать высокоскоростной пассажирский поезд до Бухары.

В период с 2013 по 2016 гг. была построена новая уникальная железнодорожная линия Ангрэн – Пап [7], создающая единую национальную железнодорожную сеть.

Уникальность новой электрифицированной железнодорожной линии состоит в том, что она пересекает гребень Кураминского хребта, проходя тоннелем под перевалом «Камчик». Протяженность тоннеля составляет 19,2 км.

«В 2017 году была введена в эксплуатацию новая железнодорожная линия Бухара – Мискен протяженностью 357,3 км.

В 2018 году была открыта новая линия между Ургенчем и Хивой протяженностью 33,8 км. Участок Карши – Китаб длиной 124 км был электрифицирован и реконструирован» [8].

Схема железных дорог Республики Узбекистан представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Схема железных дорог Республики Узбекистан

По состоянию на 01.01.2021 общая протяжённость эксплуатируемых железнодорожных линий по Республике Узбекистан составляет 7401,4 км [9], из них:

Развернутая длина главных путей – 5242,1 км;

Развернутая длина станционных путей – 1769,1 км;

Подъездные пути – 390,0 км;

Двухпутные участки – 590,9 км;

Однопутные участки – 4139,2 км;

С максимальной скоростью до 160 км/ч – 731,9 км;

С максимальной скоростью до 250 км/ч – 243,5 км;

Протяженность электрифицированных участков – 3510,6 км.

В зависимости от установленных скоростей движения поездов и грузонапряженности железнодорожные линии АО «УТЙ» классифицируются в соответствии с [10, 11, 12].

Требования к конструкциям пути установлены в [11, 12, 13].

Классификация главных железнодорожных путей АО «УТЙ» согласно [10] представлена в таблице 1.1, а требования к конструкциям бесстыкового пути на железобетонных шпалах - в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Классификация главных железнодорожных путей АО «УТЙ»

Категория пути (режим движения специализация)	Грузонапряженность, млн т км брутто на км год	Классы главных железнодорожных путей в зависимости от допустимых (установленных) скоростей движения поездов, км/ч (числитель – пассажирские, знаменатель – грузовые)						
		$\frac{> 200}{3 \ 80}$	$\frac{200- 161}{3 \ 70}$	$\frac{160- 141}{3 \ 80}$	$\frac{121- 140}{3 \ 70}$	$\frac{101- 120}{3 \ 70}$	$\frac{81- 100}{61- 80}$	до 60
В ¹	не регламентируется	1						
С ²	не регламентируется		1	1				
П ³	не регламентируется			1	1			
I	более 50			1	1	1	1	2
II	26 – 50			1	1	1	2	3
III	11 – 25			1	1	2	3	3
IV	6 – 10			1	2	3	3	4
V	5 и менее			2	3	4	4	4

Примечание: 1 – высокоскоростные линии; 2 – скоростные линии; 3 – пассажирские линии

Таблица 1.2 – Мощность главных железнодорожных линий на железобетонных шпалах

№	Показатель	Классы пути			
		1	2	3	4
1	Рельс	Р65, новые		Р65, новые или старогодные	Р65, старогодные
2	Число шпал на 1 км пути, шт. на прямых и в кривых радиусом 1200 м и более	1840			
	в кривых радиусом менее 1200 м				
3	Толщина балластного слоя под шпалой, см	40		30	25

При сооружении земляного полотна используются скальные и глинистые грунты, лессовидные суглинки, супеси и пески мелкие (барханные) [13]. На основной площадке высокоскоростных и скоростных участков предусмотрено «устройство защитных слоев. Защитный слой выполняется из щебенисто-гравийно-песчаных смесей и при необходимости дополняется покрытиями из геотекстиля, пенополистирола, георешеток или геосеток. Толщина защитного слоя назначается расчетом исходя из выполнения требования обеспечения несущей способности нижележащих грунтов под действием нагрузки от подвижного состава» [14].

«Балластную призму устраивают из щебня с фракциями 25–60 мм или гравия на песчаной подушке. Толщина песчаной подушки 20 см» [13].

В качестве подрельсового основания преимущественно применяются железобетонные шпалы. На главных путях эксплуатируются шпалы типа Ш-1 со скреплениями КБ, уложенные до 2004 года. Начиная с 2004 года при новом строительстве и капитальном ремонте массово началась укладка шпал типа ВF70 (ВF70S¹) со скреплениями Pandrol Fastclip [15–19], существуют участки с данной конструкцией пути с эпюрой 1720 шт./км. Применение такой конструкции пути дает возможность создать плавный отвод ширины колеи в кривых участках пути [20].

Шпалы типа BF70 (BF70S) производятся местным производителем в соответствии с требованиями [21]. На рисунке 1.2 представлена шпала типа BF70 (BF70S), а в таблице 1.3 - технические характеристики шпалы.

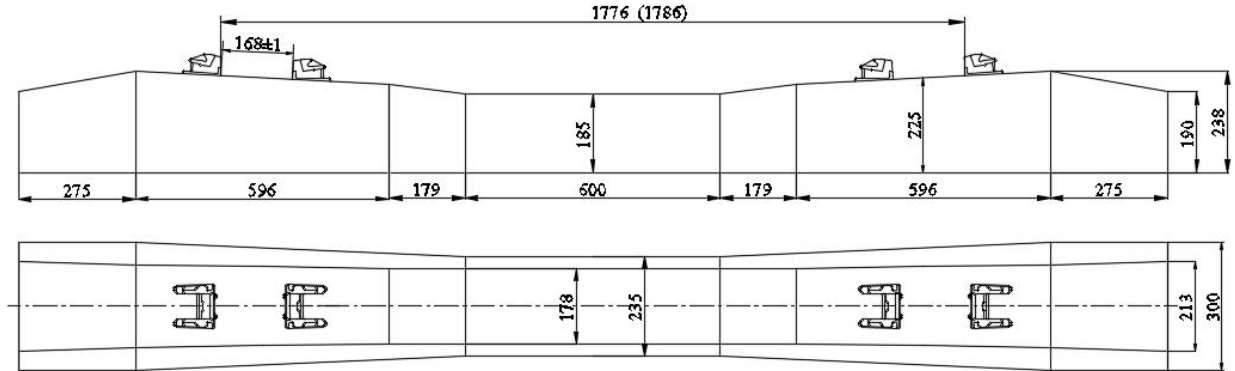


Рисунок 1.2 – Шпала типа BF70 (BF70S)

Таблица 1.3 – Технические параметры шпалы типа BF70

№	Наименование параметра	Величина
1	Длина, мм	2700
2	Высота, мм: - на торце - в подрельсовом сечении - в середине	190 225 185
3	Площадь опирания нижней постели, м ²	0,72
4	Вес, кг	330 ±16,5
5	Тип промежуточного рельсового скрепления	Pandrol Fastclip
6	Скорости движения: км/ч - пассажирских поездов - грузовых поездов	до 250* до 100*
7	Максимальная осевая нагрузка, т/ось	25*
8	Расчетный срок службы	не менее 50 лет

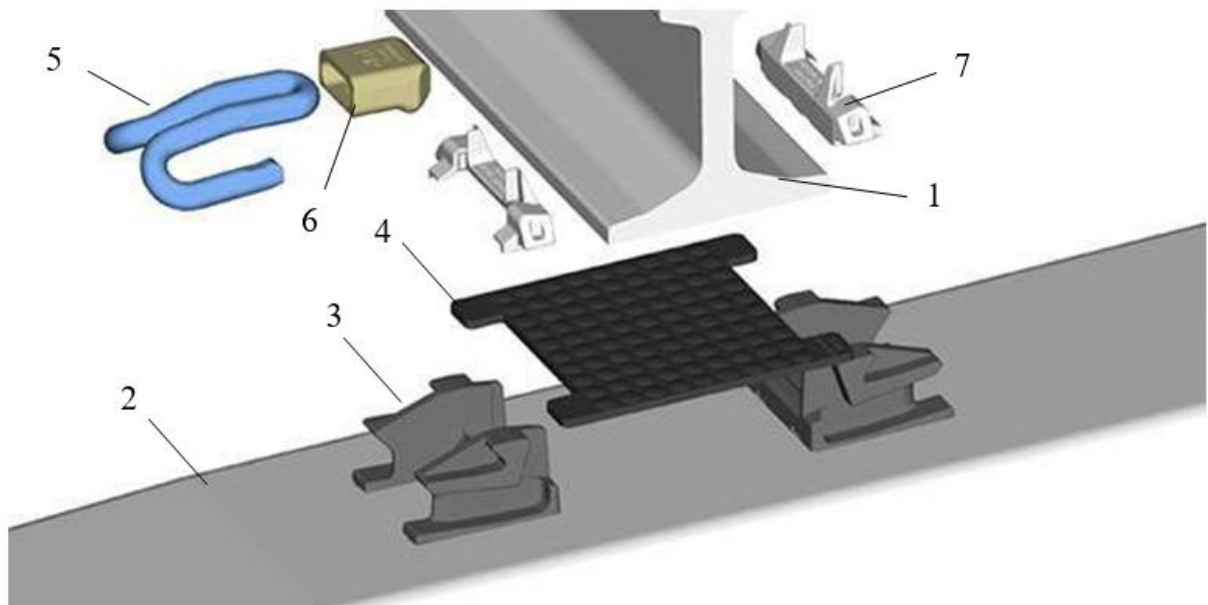
* По желанию заказчика скорости движения и осевые нагрузки могут быть увеличены

Промежуточное рельсовое скрепление Pandrol Fastclip является разработкой компании Pandrol UK LTD (Великобритания). Промежуточное рельсовое скрепление Pandrol Fastclip производится в соответствии с требованиями [22]. Технические характеристики скрепления Pandrol Fastclip, согласно [22],

представлены в таблице 1.4. Общий вид крепления Pandrol Fastclip представлен на рисунке 1.3.

Таблица 1.4 – Технические характеристики крепления Pandrol Fastclip [22]

№	Наименование характеристики	Величина			Примечание
		А	В	С/D	
1	Статическая жесткость узла, кН/мм	> 70-210	> 80-220	> 95-250	В зависимости от типа прокладки
2	Динамическая жесткость узла, кН/мм	> 80-280	> 90-310	> 110-400	
3	Амортизация динамической нагрузки, %	≤ 30-50			
4	Электрическая изоляция, кОм	> 5			
		Серия FC1500	Серия FC1600		
5	Номинальная прижимная нагрузка, кгс	1000	1250		
6	Прижимное усилие, кН	> 16	> 20		
7	Сопротивление ползучести, кН	> 7	> 9		



Примечание: 1– железобетонная шпала типа ВF 70; 2 – рельс; 3 – закладной анкер; 4 – подрельсовая прокладка; 5 – упругая клемма; 6 – изолятор пружинной части; 7 – опорный боковой изолятор

Рисунок 1.3 – Крепление Pandrol Fastclip

В конструкции верхнего строения на главных путях в основном применяются рельсы типа Р65 категории В, Т1 и ДТ350СС (94,5% от общей протяженности главных путей), рельсы типа Р75 – 0,2%, Р50 – 5,3%, производства НКМК, НТМК и Азовсталь, кроме того, существуют опытные участки пути с рельсами производства Ниппон Стил и Фест-Альпине. Последние годы началась поставка рельсов из АРБЗ.

Типовые значения эпюры шпал, заложенные в нормативные документы, применяемые в путевом хозяйстве АО «УТЙ», в существующих условиях эксплуатации обеспечивают рациональный уровень нагруженности элементов пути и значения поперечной устойчивости рельсошпальной решетки, а также обеспечивают установленный уровень безопасности движения. Однако на отдельных участках сети, где нагруженность не столь значительна, таких как малодейственные участки и участки с пониженным воздействием на путь (линии преимущественно пассажирского движения и пассажирские линии), применение типовых эпюр шпал 1840 и 2000 шт./км может привести к недоиспользованию мощности конструкции пути, что экономически нецелесообразно. Кроме того, не определены условия применения эпюры шпал 1720 шт./км.

1.2 Обзор исследований по вопросу методологии выбора технических параметров конструкции железнодорожного пути

Одним из основных параметров, при прочих равных условиях, определяющих поперечную устойчивость рельсошпальной решетки, уровень нагруженности элементов верхнего строения пути и земляного полотна и, зависящую от нагруженности величину интенсивности выхода из строя этих элементов, является количество шпал на 1 км пути – эпюра шпал и толщина балластного слоя.

Вопросы работы пути при различных эпюрах шпал затрагивались в трудах многих ученых в разные времена, их исследования дали ясно понять, что актуальность данной проблемы останется еще надолго.

При разработке типов верхнего строения железнодорожного пути в послевоенный период перед специалистами ВНИИЖТа была поставлена задача установить такие эпюры шпал, при которых запас прочности во всех элементах верхнего строения – шпалах, балласте и на поверхности земляного полотна был бы не менее запаса прочности в рельсах. Исходя из этого, были рассчитаны напряжения в отдельных элементах верхнего строения при следующих условиях [23]:

- подвижная нагрузка – 27 т на ось при скорости 90 км/ч для паровоза ФД 1-5-1 с добалластировкой при скорости 5 км/ч;
- рельсы типов 65 кг/пог. м и 50 кг/пог. м для нагрузки 27 т и рельсы типа 50 кг/пог. м и I-у для паровоза ФД;
- эпюры шпал 1440, 1600, 1840 и 1920 шпал на 1 км;
- шпалы типов II – А и II – Б;
- балласт: щебень, гравий 1-го сорта, гравий 2-го сорта, крупнозернистый и среднезернистый песок.

Исходя из этих условий, были определены эквивалентные нагрузки, создающие в рельсах 100%-е напряжения, и по этим эквивалентным нагрузкам определены основные размеры всех элементов верхнего строения пути при условии также 100% их напряжения.

В результате подсчетов получено, что если не допускать перенапряжения ни в одном из элементов верхнего строения, то минимальными эпюрами могут быть:

- 1) для перспективного паровоза с нагрузкой 27 т при рельсах весом 65 кг/пог. м – 1920 шпал на 1 км при балласте из щебня и гравия 1-го сорта;
- 2) то же при рельсах 50 кг/пог. м – 1600 шпал на 1 км при балласте из щебня и гравия 1-го сорта и 1840 шпал при балласте из гравия 2-го сорта и ракушки;
- 3) для паровоза ФД при рельсах весом 50 кг/пог. м – 1440 шпал на 1 км при гравии 2-го сорта и ракушке и 1920 шпал на 1 км при крупнозернистом песке;
- 4) то же при рельсах I-у – 1400 шпал на 1 км при балласте из щебня, гравия 1-го сорта, гравия 2-го сорта и ракушки и 1600 шпал на 1 км при крупнозернистом песке.

Все остальные эпюры с меньшим количеством шпал на километр дают перенапряжение в балласте.

В то же время было установлено, что в кривых участках пути при радиусе менее 450 м должна применяться эпюра 2000 шпал на 1 км [23].

Доктор технических наук С. П. Першин в 1970 году опубликовал статью «О некоторых уточнениях основных схем статического расчета пути» [24], в которой отчетливо описал расчет пути по двум основным схемам: бесконечно длинная балка на сплошном упругом (линейно-деформируемом) основании и балка на многих упругих точечных опорах, при этом расчеты велись для пути с рельсами Р50 при эпюре 1840 шт./км. Затем расчеты были продолжены для пути с рельсами Р65. Они показали, что на пути с железобетонными шпалами при расчете балки на отдельных опорах имеет место рост нагрузок на шпалы. Позже этот вывод был подтвержден экспериментально. В 1980-х годах В. А. Виноградов [25] занимался исследованиями работы верхнего строения пути с железобетонными шпалами повышенной массы (длина – 2700 мм; ширина нижней постели по торцевому сечению 400 мм, а по среднему – 350 мм; высота подрельсовой части – 193 мм (213 мм); опорная площадь 9960 см² (9948 см²); масса 350 кг (400 кг)). Данные шпалы укладывались на участке бесстыкового пути Среднеазиатской дороги с грузонапряженностью около 30 млн т/км в год с рельсами Р65. Шпалы опытной партии укладывались с эпюрой 1440 и 1600 шт./км, измерения проводились как на опытных, так и на типовых шпалах С-56-2. Через два года были выявлены резкие просадки пути под отдельными опытными шпалами.

Исследования В.М. Ермакова [26] направлены на оптимизацию конструкции верхнего строения пути в конкретных условиях эксплуатации. В.М. Ермаковым в результате комплексного анализа была разработана система ресурсосбережения в путевом хозяйстве с ранжированием по полигонам с различными условиями эксплуатации, включающая: оптимизацию использования конструкций ВСП (существующих и создаваемых вновь); внедрение качественно новых методов организации путевых работ; новую, в большей степени адаптированную к существующим условиям эксплуатации, градацию

грузонапряженности при строгом соблюдении требований безопасности движения и повышения скоростей движения пассажирских поездов. Для линий с грузонапряженностью более 20 млн. т км бр./км в год и высоких скоростей разработан и внедрен комплекс решений, способствующих повышению надежности пути и сокращению затрат на его техническое обслуживание. Для участков с малой грузонапряженностью разработаны и внедрены: конструкция пути с комбинацией деревянных и железобетонных шпал и технология отдельного ремонта пути; экономичная конструкция двухблочной железобетонной шпалы; облегченные комплекты переводных железобетонных брусьев для основных типов и марок стрелочных переводов; система повторного использования материалов ВСП. Суммарный учтенный годовой эффект от внедренных разработок составил в 1999 г. более 28 млн. руб.

В [27] приводится сравнительный анализ рельсов Р65 и Р75 по влиянию их на прочность и устойчивость конструкции верхнего строения пути. Таким образом, рельсы Р65 имеют наименьшую жесткость по сравнению с рельсами Р75, по этой причине от колеса передаются более высокие величины контактного напряжения и динамической силы. При расчете по предельным состояниям следует учитывать и кромочные напряжения, однако они значительно меньше предела текучести рельса, тогда как контактные напряжения имеют более высокую величину, при этом значительно уменьшается срок службы рельсов [27]. Однако, следует учитывать, что тяжелые рельсы увеличивают давление на балласт под шпалами. Сравнивая напряжения на балластную призму от рельсов марок Р75 и Р65 по применяемой методике расчета, следует отметить, что различие между ними составляет 6%, тогда как несущая способность увеличивается в несколько раз [27].

Влияние массы элементов верхнего строения пути на его работу широко изучена учеными РГУПСа [28–35]. По мнению авторов, основные качественные показатели (устойчивость, прочность, деформативность, надежность) достигаются «при оптимальной погонной массе рельсов и находятся в пределах 54...60 кг/м. Продольная устойчивость рельсошпальной решетки уменьшается в среднем на

20% с увеличением погонной массы рельса» [28], в зимний период времени это приводит к увеличению зазоров. По данной причине в [30, 33, 34] было внесено предложение применения на бесстыковом пути рельсов меньшей массы. Таким образом вместо рельсов Р65 было предложено применение рельсов Р58, так как они имеют аналогичную ширину подошвы, но наименьшую высоту. Данный путь решения дает возможность увеличить надежность и экономичность, так как при этом расход металла сокращается на 12%. При этом считается целесообразным применять облегченные железобетонные шпалы, что позволит уменьшить взаимодействие пути и подвижного состава [28]. Статистические расчеты и эксперименты показали, что чем выше масса шпалы, тем больше сопротивление вдоль оси пути и поперек горизонтальной плоскости. Зависимость значительно претерпевает изменения при учете воздействия поездов. При уменьшении массы железобетонных шпал соответственно снижаются энергетические затраты, увеличивается производительность труда, что приводит к снижению стоимости. В [28] приведены расчёты, показывающие, что масса шпал может достигать 1,5–1,6 кН. Проведенный эксперимент показал, что сопротивление балластного слоя сдвигу зависит от вязкости щебеночного балласта за счет скорости и формы перемещений, тогда как масса шпалы не оказывает должного влияния [35]. На основе проведенного эксперимента [35] авторы делают вывод, что сопротивление балласта сдвигу шпалами зависит не от массы шпалы, а от ее формы и скорости перемещения, т.е. от вязкости щебеночного балласта. Погонное сопротивление при необходимости можно увеличить уплотнением балласта динамическим стабилизатором пути, не затрачивая значительных средств на повышение массы подрельсовых опор. При этом следует учитывать, что промежуточные рельсовые скрепления должны создавать сопротивление сдвигу рельсов относительно шпал существенно большее, чем сопротивление самого балласта [35].

Виногоров Н. П. предположил, «что устойчивость рельсошпальной решетки зависит от трех ключевых факторов:

- 1) сопротивления балласта;
- 2) сопротивления изгибу рельсов в горизонтальной плоскости;

3) сопротивления повороту рельсов в узлах скрепления» [36].

Продольная сжимающая сила при этом не учитывается. Е. М. Бромбергом и В. В. Ершовым были проведены эксперименты с одиночными шпалами, результаты которых были описаны в [36].

В работе [37] представлена оценка возможности применения «пассажирской» конструкции пути на выделенных пассажирских линиях для внутригородских и межрегиональных перевозок, испытывающей сложное нагружение по критериям допускаемого запаса прочности в среде конечно-элементного анализа – наиболее прогрессивного метода расчета конструкций. Представлены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути различных конфигураций, в том числе перспективных облегченных вариантов с рельсами типа Р50 и железобетонными шпалами с подшпальными прокладками. На основании выполненных расчетов приведены рекомендации областей применения рассмотренных конфигураций пути с точки зрения допускаемых напряжений в его элементах. Для выделенных пассажирских линий рекомендована конструкция пути с рельсами типа Р50, с эпюрой укладки железобетонных шпал 1600 шт./км, с использованием подшпальных прокладок и с толщиной балластного слоя под шпалой 25–35 см.

Проведенные эксперименты за рубежом [38] тоже показывают, что с увеличением размера или массы элементов верхнего строения пути не улучшаются показатели, обеспечивающие устойчивость пути. Так в работе [39] были проведены испытания по определению сопротивления боковому сдвигу шпал типа В06FS, основными отличиями которых от применяющихся В91, были повышенная площадь контакта с балластным слоем, большая масса и меньшая толщина. Полученные результаты в ходе испытания показали, что сопротивление боковому сдвигу шпал типа В06FS вполне сопоставимо с соответствующими характеристиками шпал В91.

В работе [40] приведена методика выбора облегченной конструкции пути. Для обоснования возможных сфер применения такой конструкции, с учетом заданных условий эксплуатации, были выполнены расчеты напряженного

состояния элементов пути и определены коэффициенты изменения интенсивности расстройств этих элементов при их эксплуатации в составе облегченных конструкций. Задачей расчетов являлось определение напряженно-деформированного состояния облегченной конструкции пути и определение характеристик изменения накопления расстройств в ее элементах по сравнению с типовой конструкцией. Для оценки напряженного состояния рельсошпальной решетки, с учетом поездопотока, были определены приведенные напряжения по формуле

$$s_j^{\text{прив}} = a s_j^i g_i, \quad (1.1)$$

где s_j^i – напряжение в j -м элементе пути для рассматриваемой конструкции пути, кг/см²;

g_i – доля подвижного состава i -го типа в поездопотоке, %.

Для оценки изменения интенсивности расстройства j -го элемента пути были определены коэффициенты k_{t_j} по формуле:

$$k_{t_j} = \frac{a s_j^{\text{прив}} \cdot \frac{\sigma^x}{\sigma}}{e [s_j^{\text{прив}}] \cdot \frac{\sigma}{\sigma}}, \quad (1.2)$$

где $s_j^{\text{прив}}$ – приведенное напряжение в j -м элементе пути для рассматриваемой конструкции пути, кг/см²;

$[s_j^{\text{прив}}]$ – приведенное напряжение в j -м элементе пути для базовой конструкции пути, кг/см²;

\mathcal{X} – степенной коэффициент ($\mathcal{X} = 2 \div 4$, принимается в зависимости от результатов наблюдений за работой конструкции).

В результате расчетов рекомендованы два вида облегченной конструкции пути для укладки на выделенных пассажирских линиях: на грунтах с высокой несущей способностью (скальные и песчаные грунты) – «звеньевой путь с рельсами Р65, железобетонными шпалами, скреплениями ЖБР-65Ш, с эпюрой шпал 1600 шт./км, толщиной балласта 15 см; на грунтах типа суглинков, супесь, тугопластичная глина –

звеньевой путь с рельсами Р65, железобетонными шпалами, скреплениями ЖБР-65Ш, с эпюрой шпал 1500 шт./км, толщиной балласта 25 см» [40].

Приведенная методика в работе [40] позволяет оценить первичные решения и ограничить выбор за счет отказа от однозначно неэффективных вариантов.

1.3 Обзор исследований по вопросу методологии технико-экономического сравнения вариантов конструкции железнодорожного пути

Существуют разные методы определения эффективности внедрения новых технических решений. Традиционно эффективность внедрения новых технических решений определяется на основе сравнения эксплуатационных затрат в конкретной эксплуатационной ситуации при использовании новых и существующих технических решений [41–45].

Если сравниваемые варианты отличаются друг от друга только размерами потребных инвестиционных вложений и текущими затратами, то есть проекты, направленные на получение одинакового результата, где рассчитываются приведенные затраты, являющиеся частным случаем сравнительного интегрального эффекта [46]. Наиболее эффективное решение будет соответствовать минимуму приведенных затрат. Приведенные затраты определяются по формуле [46]:

$$Z_{\text{прив}} = \sum_{t=1}^{T_p} Z_t \times \eta_t + \sum_{t=1}^{T_p} K_t \times \eta_t, \quad (1.3)$$

где, t – текущий расчетный шаг;

T_p – расчетный период;

Z_t – текущие затраты, возникающие в ходе реализации проекта;

K_t – инвестиционные затраты для реализации проекта;

η_t – коэффициент дисконтирования.

Продолжительный жизненный цикл инновационных проектов является одним из главных показателей деятельности железнодорожного транспорта в

современном мире, так как это повышает экономический эффект [46]. Стоимость жизненного цикла конструкции, как технической системы, является модификацией приведенных затрат, которая определяется в соответствии со следующей формулой (1.4):

$$СЖЦ = C_{np} + \overset{T}{\underset{t=1}{\overset{\circ}{\mathbf{a}}}} (I_t + \Delta K_t - L_t) \times h_t, \quad (1.4)$$

где C_{np} – цена приобретения технической системы (первоначальная стоимость), тыс. сум.;

I_t – годовые эксплуатационные расходы, тыс. сум.;

ΔK_t – сопутствующие единовременные затраты, связанные с внедрением технической системы в эксплуатацию, тыс. сум.;

L_t – ликвидационная стоимость объекта, тыс. сум.

В работе [47] А. В. Савиным была разработана методика оценки эффективности применения безбалластного пути. В отличие от традиционных методик, разработанная в работе [47] методика предусматривает учет влияния эксплуатационных расходов, определяемых на основе прогнозирования срока службы инновационной конструкции пути, на значимые показатели деятельности железнодорожного транспорта в период его эксплуатации. С помощью разработанной методики автор определил сферы рационального применения безбалластного пути.

Существуют различные методики прогнозирования, автором, одной из которых является В. П. Бельтюков. В литературе [48] рассмотрена комбинация, включающая в себя сбор и обработку данных, полученных с измеряемого участка, а также среднесетевых данных. Таким образом учитываются среднесетевое соотношение количества неисправностей от наработки, а также средние значения, полученные за время эксплуатации. В результате фактические значения дают возможность определить линейный тренд фактических значений неисправностей за предыдущие периоды, тогда как текущий тренд нарастания численности неисправностей показывает среднесетевые зависимости при аналогичных

условиях эксплуатации. В результате полученных данных среднесетевого и местного трендов появляется возможность прогнозирования нарастания числа неисправностей на будущий эксплуатационный год.

На Австрийских железных дорогах применяется методика GleisProphet как инструмент прогнозирования для определения периодов выполнения путевых работ по фактическому состоянию пути. Наличие подобных инструментов оценки дает возможность увеличить интервалы между планируемыми мероприятиями, необходимыми для обеспечения требуемого уровня качества пути [49].

О.А. Суловым разработан перспективный подход к прогнозному моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути. Затраты, связанные с владением и установкой путевой инфраструктуры, в данной методике определяются на основе моделирования накопления повреждений под нагрузкой различного типа и интенсивности. Модель деградации основана на характеристиках, которые не изменяются в течение анализируемого времени работы, и задается следующей зависимостью [50, 51]:

$$D_i = d_i \cdot n_i = const, \quad (1.5)$$

где D_i – ресурс i -го элемента или узла верхнего строения пути по какому-либо отказу или неисправности;

d_i – мера истощения ресурса i -го элемента или узла в одном цикле нагружения (нагруженность элемента или узла);

n_i – число циклов нагружения, воспринимаемое i -ым элементом или узлом в процессе эксплуатации.

Далее прогнозный срока службы элемента/узла определяется по следующей формуле:

$$[n_i] = \frac{[D_i]}{d_i}, \quad (1.6)$$

где $[n_i]$ – нормативное (прогнозное) число циклов нагружения, допускаемое для восприятия i -ым элементом или узлом, по условию его перехода в нерабочее или предотказное состояние;

$[D_i]$ – нормативное (прогнозное) значение ресурса i -го элемента или узла по какому-либо отказу.

Тип элемента или узла влияет на переход от количества циклов нагружения к данным, получаемым с течением времени. Циклы нагружения следует рассматривать так же, как и прохождение одной оси, поезда или тележки подвижного состава.

Остаточный ресурс i -го узла/элемента рассчитывается по формуле:

$$DD_i = [D_i] - d_i > n_\phi, \quad (1.7)$$

где n_ϕ – фактическое число циклов нагружения, воспринятое элементом в процессе его эксплуатации.

В целях получения параметров d_i и $[D_i]$ возникает необходимость в составлении алгоритма для прогнозирования возможно возникшей неисправности или отказа i -го элемента или узла верхнего строения пути и срока службы.

Повреждаемость для элементов верхнего строения пути и накопления неисправностей:

– рельсов

$$d_{pc} = \frac{\frac{\dot{c}_{к.н}}{e} + \frac{\dot{c}_{к.в}}{e} \ddot{o}_{к.в}^2}{2} + \frac{\dot{e}(s_{к.н})^2 + (s_{к.в})^2 \ddot{u}_{к.в}^2}{4} + \frac{\dot{c}_{к.н} - \frac{\dot{c}_{к.в}}{e} \ddot{o}_{к.в}^2}{2} + \frac{\dot{e}(s_{к.н})^2 - (s_{к.в})^2 \ddot{u}_{к.в}^2}{4}; \quad (1.8)$$

– скреплений

$$d_{скр} = \left[(\overline{P}_{шп})^2 + (\overset{\circ}{P}_{шп})^2 \right]^{\frac{x_{р(скр)}}{2}} + \left[(\overline{H}_{шп})^2 + (\overset{\circ}{H}_{шп})^2 \right]^{\frac{x_{H(скр)}}{2}}; \quad (1.9)$$

– шпал

$$d_{шпалы} = \left[(\overline{P}_{шп})^2 + (\overset{\circ}{P}_{шп})^2 \right]^{\frac{x_{шп}}{2}}; \quad (1.10)$$

– накопление неисправностей ширины колеи

$$d_{ш.к} = \left[\left(\overline{P}_{шп} \right)^2 + \left(\dot{P}_{шп} \right)^2 \right]^{\frac{x_{P(ш.к)}}{2}} + \left[\left(\overline{H}_{шп} \right)^2 + \left(\dot{H}_{шп} \right)^2 \right]^{\frac{x_{H(ш.к)}}{2}} ; \quad (1.11)$$

– перекосов, просадок, уровня

$$d_{П,Ур,Пр} = \left[\left(\overline{s}_{балл} \right)^2 + \left(\dot{s}_{балл} \right)^2 \right]^{\frac{x_{балл}}{2}} ; \quad (1.12)$$

– накопление неисправностей по рихтовке

$$d_{рихт} = \frac{\left[\left(\overline{H}_{шп} \right)^2 + \left(\dot{H}_{шп} \right)^2 \right]^{\frac{x_{P(рихт)}}{2}}}{\left[\left(\overline{P}_{шп} \right)^2 + \left(\dot{P}_{шп} \right)^2 \right]^{\frac{x_{H(рихт)}}{2}}} ; \quad (1.13)$$

– накопление неисправностей основной площадки земляного полотна

$$d_{опзп} = \left[\left(\overline{s}_{опзп} \right)^2 + \left(\dot{s}_{опзп} \right)^2 \right]^{exp \frac{\frac{\sigma_{опзп}^{max.вер}}{\sigma_{опзп}}}{\frac{\sigma_{опзп}}{\sigma_{опзп}}}} ; \quad (1.14)$$

– накопление загрязненности балласта

$$d_{загр} = \left[\left(\overline{s}_{балл} \right)^2 + \left(\dot{s}_{балл} \right)^2 \right]^{exp \frac{\frac{\sigma_{балл}^{max.вер}}{\sigma_{балл}}}{\frac{\sigma_{балл}}{\sigma_{балл}}}} + \left[\left(\overline{s}_{опзп} \right)^2 + \left(\dot{s}_{опзп} \right)^2 \right]^{exp \frac{\frac{\sigma_{опзп}^{max.вер}}{\sigma_{опзп}}}{\frac{\sigma_{опзп}}{\sigma_{опзп}}}} , \quad (1.15)$$

где $\overline{s}_{к.н}$ – среднее значение кромочных напряжений (наружная кромка), МПа;

$\overline{s}_{к.в}$ – среднее значение кромочных напряжений (внутренняя кромка), МПа;

$\dot{s}_{к.н}$ – среднеквадратическое отклонение значений кромочных напряжений (наружная кромка);

$\dot{s}_{к.в}$ – среднеквадратическое отклонение значений кромочных напряжений (внутренняя кромка);

$\overline{P}_{шп}$ – среднее значение вертикальной силы, действующей на шпалу, кН;

$\overline{H}_{шп}$ – среднее значение горизонтальной силы, действующей на шпалу, кН;

$\dot{P}_{шп}$ – среднеквадратическое отклонение значений вертикальных сил, действующих на шпалу;

$\dot{H}_{шп}$ – среднеквадратическое отклонение значений горизонтальных сил, действующих на шпалу;

$\overline{s}_{\text{балл}}$ – среднее значение напряжений в балласте под шпалой, МПа;

$\overline{s}_{\text{опзп}}$ – среднее значение напряжений на основной площадке земляного полотна, МПа;

$s'_{\text{балл}}$ – среднеквадратическое отклонение значений напряжений в балластном слое под шпалой, МПа;

$s'_{\text{опзп}}$ – среднеквадратическое отклонение значений напряжений на основной площадке земляного полотна;

x_{s+} , x_{s-} – степенные коэффициенты, учитывающие влияние изгиба (полусумма кромочных напряжений) и кручения (полуразность кромочных напряжений) на значение повреждаемости рельсов;

$x_{P(\text{скр})}$, $x_{H(\text{скр})}$ – степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальных сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости скреплений;

$x_{\text{шп}}$ – степенной коэффициент, учитывающий влияние вертикальной силы, действующей от рельса на шпалу, на значение повреждаемости шпал;

$x_{P(\text{ш.к})}$, $x_{H(\text{ш.к})}$ – степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальных сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости для ширины колеи;

$x_{\text{балл}}$ – степенной коэффициент, учитывающий влияние напряжений в балласте под шпалой, на значение повреждаемости балласта (просадки, уровень; перекос);

$x_{P(\text{рихт})}$, $x_{H(\text{рихт})}$ – степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальных сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости для накопления неисправностей в плане (рихтовка);

$s_{\text{опзп}}^{\text{мах.вер}}$ – максимально вероятное значение напряжений на основной площадке земляного полотна, МПа;

$s_{\text{балл}}^{\text{мах.вер}}$ – максимально вероятное значение напряжений сжатия в балласте под шпалой в подрельсовой зоне, МПа;

$\bar{s}_{\text{опзп}}^{\dot{e}} - \dot{u}$ – допускаемые напряжения на основной площадке земляного полотна, МПа;

$\bar{s}_{\text{балл}}^{\dot{e}} - \dot{u}$ – допускаемые напряжения сжатия в балласте под шпалой в подрельсовой зоне, МПа.

$$\bar{P}_{\text{шп}} = \frac{\bar{P}_B \times \kappa_e \times l_{\text{шп}}}{2}; \quad (1.16)$$

$$P_{\text{шп}} = \frac{P'_B \times \kappa_r \times l_{\text{шп}}}{2}; \quad (1.17)$$

$$\bar{H}_{\text{шп}} = \frac{\bar{Y}_B \times \kappa_r \times l_{\text{шп}}}{2}; \quad (1.18)$$

$$H_{\text{шп}} = \frac{Y'_B \times \kappa_r \times l_{\text{шп}}}{2}; \quad (1.19)$$

$$\bar{s}_{\text{балл}} = \frac{\bar{P}_{\text{шп}}}{S_{\text{шп}}}; \quad (1.20)$$

$$s_{\text{балл}} = \frac{P'_{\text{шп}}}{S_{\text{шп}}}, \quad (1.21)$$

где $S_{\text{шп}}$ – площадь опирания полушпалы на балластный слой, см²;

\bar{P}_B – среднее значение вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс, кН;

\bar{Y}_B – среднее значение боковой силы, передаваемой от колеса на рельс, кН;

P'_B – среднеквадратическое отклонение значений вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс, кН;

Y'_B – среднеквадратическое отклонение значений боковой силы, передаваемой от колеса на рельс, кН;

κ_e – относительная жесткость пути в вертикальном направлении, м⁻¹;

κ_r – относительная жесткость пути в горизонтальном направлении, м⁻¹;

$l_{\text{шп}}$ – расстояние между осями шпал, см.

Для разработки ТЭО необходимы данные по стоимости конструкции и эксплуатационным расходам. Данные по эксплуатационным расходам могут быть

получены эмпирическим путем (наблюдения за работой объекта) или на основе прогнозных расчетов. Наиболее перспективный метод, позволяющий быстро получить результаты – это прогнозные расчеты с применением моделирования взаимодействия пути и подвижного состава, представленные в [50, 51].

1.4 Выводы по главе 1

1. Стратегическим направлением развития путевого хозяйства АО «УТЙ» является комплексное решение вопросов по совершенствованию конструкции железнодорожного пути и максимальному продлению сроков службы отдельных элементов и деталей верхнего строения пути.

2. Типовые значения эпюры шпал, заложенные в нормативные документы, применяемые в путевом хозяйстве АО «УТЙ», в существующих условиях эксплуатации обеспечивают рациональный уровень нагруженности элементов пути и значений поперечной устойчивости рельсошпальной решетки, а также обеспечивают установленный уровень безопасности движения. Однако на отдельных участках сети, где нагруженность не столь значительна, таких как малодейственные участки и участки с пониженным воздействием на путь (линии преимущественно пассажирского движения и пассажирские линии), применение типовых эпюр шпал 1840 и 2000 шт./км может привести к недоиспользованию мощности конструкции пути, что экономически нецелесообразно. Кроме того, не определены условия применения эпюры шпал 1720 шт./км.

3. Задачи, связанные с оптимизацией (облегчением) конструкции пути и его элементов, актуально, и за прошлые годы многими учеными предложены разнообразные конструкции пути, учитывающие параметры элементов верхнего строения и эксплуатационные условия.

4. Для выбора конструкции пути, в том числе облегченной, соответствующей реальным условиям эксплуатации, необходимо выполнить технический и экономический анализ предлагаемых вариантов решений, для чего должны быть предусмотрены следующие этапы:

- технический анализ влияния мощности конструкции пути на затраты по техническому обслуживанию и безопасность движения, по результатам которого определяются возможные варианты облегченной конструкции, отвечающие требованиям безопасности и экономической эффективности;
- на основе выбранных вариантов производятся детальные расчеты взаимодействия пути и подвижного состава с учетом особенностей работы облегченной конструкции пути;
- для проведения полного технико-экономического анализа необходимо построение прогнозной модели выхода из строя элементов облегченной конструкции пути на основе наблюдений в процессе ее натурной эксплуатации;
- по результатам полного технико-экономического анализа выбираются сферы применения облегченных конструкций верхнего строения пути.

2 РАЗРАБОТКА И ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ

2.1 Методика обоснования

Методика обоснования основана на известном факте, что путь высокого качества накапливает повреждения медленнее, чем путь низкого качества. Таким образом, снижение качества пути зависит от его исходного качества [52, 53, 54].

Основными критериями обоснования и выбора конструкции пути являются обеспечение безопасности движения при его эксплуатации, а также расчетная стоимость содержания пути. Критерием оценки соответствия конструкции пути требованиям безопасности является непревышение напряжений в элементах пути установленных предельных значений [55]. Затраты на содержание оцениваются на основе определения коэффициента изменения затрат на его содержание (k_{t_j}) по сравнению с типовой конструкцией пути [40].

В диссертационной работе напряжения в элементах верхнего строения пути определялись в соответствии с Методикой оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности [55].

Максимальные напряжения в элементах верхнего строения пути определялись по формулам:

– в кромках подошвы рельса

$$S_k = fS_o, \quad (2.1)$$

где f – коэффициент перехода от осевых напряжений в подошве рельса к кромочным, учитывающий действие горизонтальных нагрузок на рельс и эксцентриситет приложения вертикальной нагрузки;

S_o – максимальные напряжения в подошве рельса от изгиба под действием момента M

$$S_o = \frac{M}{W} = \frac{P_{\text{экв}}^I}{4kW}, \text{ кг/см}^2, \quad (2.2)$$

где $P_{\text{экв}}^I$ – максимальная эквивалентная нагрузка для расчетов напряжений в рельсах от изгиба и кручения, кг;

k – коэффициент относительной жесткости рельсового основания и рельса, см^{-1} ;

W – момент сопротивления рельса относительно его подошвы, см^3 ;

– в шпале на смятие в прокладке

$$S_{ш} = \frac{Q}{W} = \frac{kl_{ш}}{4W} P_{\text{экв}}^{II}, \text{ кг/см}^2, \quad (2.3)$$

где $l_{ш}$ – расстояние между осями шпал, см;

$P_{\text{экв}}^{II}$ – максимальная эквивалентная нагрузка для расчетов напряжений и сил в элементах подрельсового основания, кг;

W – площадь рельсовой подкладки, см^2 ;

– в балласте под шпалой

$$S_b = \frac{Q}{W_a} = \frac{kl_{ш}}{2W_a} P_{\text{экв}}^{II}, \text{ кг/см}^2, \quad (2.4)$$

где W_a – площадь полушпалы с учетом поправки на изгиб, см^2 .

Нормальные напряжения в балласте (в том числе и на основной площадке земляного полотна) на глубине h от подошвы шпалы по расчетной вертикали определяются по формуле

$$S_h = S_{h_1} + S_{h_2} + S_{h_3}, \text{ кг/см}^2, \quad (2.5)$$

где S_{h_1} , S_{h_3} – напряжения от воздействий соответственно 1-ой и 3-ей шпал, лежащих по обе стороны от расчетной шпалы, кг/см^2 ;

S_{h_2} – напряжения от воздействия 2-ой шпалы (расчетной) в сечении пути под расчетным колесом, кг/см^2 .

Максимальный прогиб рельса определялся по формуле

$$y = \frac{k}{2U} P_{\text{экв}}'', \text{ см}, \quad (2.6)$$

где U – модуль упругости рельсового основания, кг/см².

Для оценки напряженно-деформированного состояния конструкции пути необходимы модуль упругости конструкции пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip.

2.2 Определение модуля упругости пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip

«Модуль упругости подрельсового основания железнодорожного пути определяется по формуле» [55]:

$$U = \sqrt[3]{\frac{\alpha P \delta^4}{\epsilon y \varnothing} \times \frac{1}{64 \times E \times J}}, \quad (2.7)$$

где U – вертикальный модуль упругости рельсового основания, кг/см²;

P – нагрузка от колеса на рельс, кг;

y – прогиб рельсовой нити, мм;

E – модуль упругости рельсовой стали, кг/см²;

J – момент инерции рельса в вертикальной плоскости, см⁴.

В свою очередь прогиб рельсовой нити от заданных нагрузок определяется экспериментальным путем с применением мобильных диагностических комплексов. В настоящее время эксплуатируется два типа таких нагрузочных комплексов СПМ-18 и СМ-460 [56], кроме того существуют нагрузочные устройства ВНИИЖТа [57] и ДИИТа [58]. В работе [59] приведена методика определения упругих характеристик подрельсового основания безбалластного железнодорожного пути экспериментальным путем через кромочные напряжения подошвы рельса.

Кроме того, учеными предложены «расчетные методы определения модуля

упругости подрельсового основания» [60–64]. Особый интерес представляет «методика определения модуля упругости подрельсового основания» железнодорожного пути методом конечных элементов, предложенная учеными СамГУПСа [64]. Методика [64] дает возможность определить модуль упругости подрельсового основания при различных параметрах балластного слоя с использованием различных видов промежуточных рельсовых скреплений, а также учесть характеристики земляного полотна. В данной работе модуль упругости пути со шпалами BF70 и скреплениями Pandrol Fastlip будем определять по методике [64].

На рисунке 2.1 представлена трехмерная модель железнодорожного участка, которая была выполнена в соответствии с данными эксплуатируемого участка, на котором уложены шпалы BF70 со скреплениями Pandrol Fastlip, что дает возможность решить поставленную задачу.

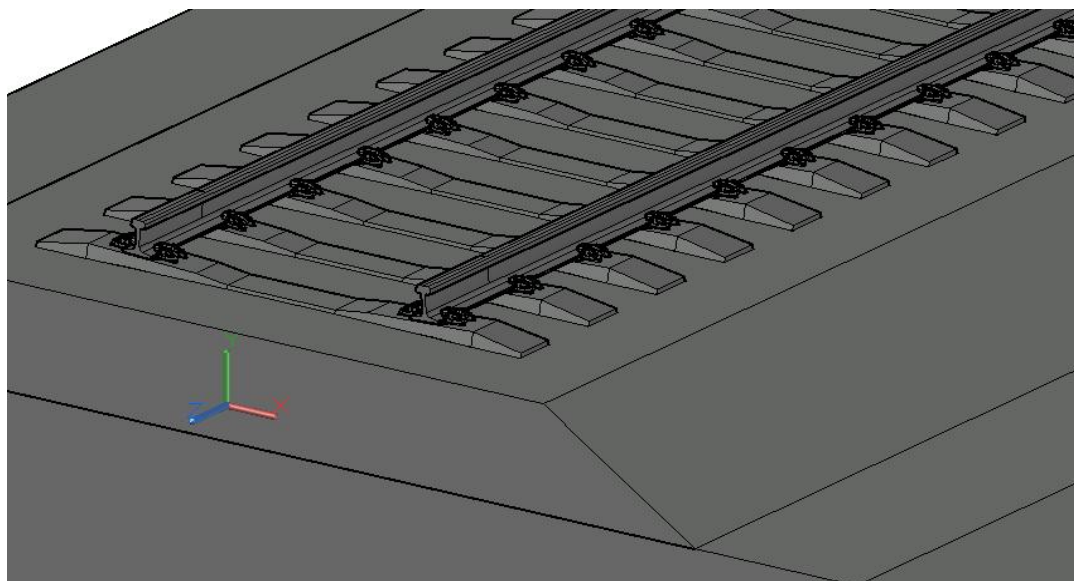


Рисунок 2.1 – Трехмерная модель участка пути со шпалами BF70 и скреплениями Pandrol Fastlip

На основе трехмерных моделей спроектированы конечно-элементные модели мощностью более 1 млн узлов в программном комплексе Femap with NX Nastran. Femap with NX Nastran имеет достаточно широкие возможности для создания геометрической и конечно-элементной модели самых разнообразных конструкций и позволяет выполнять практически любые виды анализа. Конечно-элементная модель с крайевыми условиями и условиями анализа подготавливается

в среде Femap. Затем требуемый анализ выполняется в NX Nastran, а результаты визуализируются и документируются в среде Femap [65, 66]. На рисунке 2.2 показан пример конечно-элементной модели пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip.

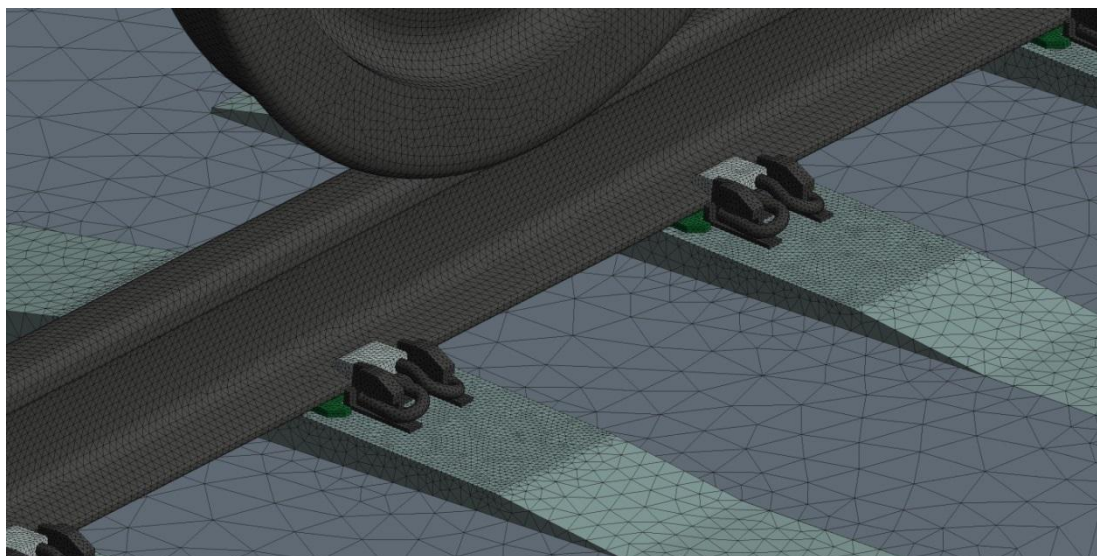


Рисунок 2.2 – Конечно-элементная модель участка пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip

При моделировании взяты следующие исходные данные:

- 1) усилие, передаваемое от колеса 5, 10 и 15 тонн;
- 2) прижимное усилие клемм креплений – нормативное;
- 3) нагружение происходит в несколько этапов: учет собственного веса элементов пути, затем приложение нагрузки от подвижного состава;
- 4) учитываются свойства материалов грунта [67–70].

В таблице 2.1 показаны физико-механические характеристики грунта и балластного слоя.

Таблица 2.1 – Характеристики грунта земляного полотна и балластного слоя

Параметр	Грунт	Балласт
Плотность, кг/м ³	2150	1650
Модуль упругости, МПа	85	230
Коэффициент Пуассона	0,35	0,275
Угол внутреннего трения, град.	30	41,5
Сцепление, кПа	16,3	16,5
Угол дилатансии, град	5	5

В результате моделирования были получены величины деформации конструкции железнодорожного пути в зависимости от нагрузки подвижного состава.

На рисунке 2.3 показан пример контура деформации при осевой нагрузке 30 тонн для конструкции верхнего строения пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip.

В соответствии с результатами моделирования рассчитан модуль упругости подрельсового основания, определяемый по формуле (2.3). В таблице 2.2 даны значения полученных средних величин вертикального модуля упругости рельсового основания в зависимости от характеристик земляного полотна и балластного слоя.

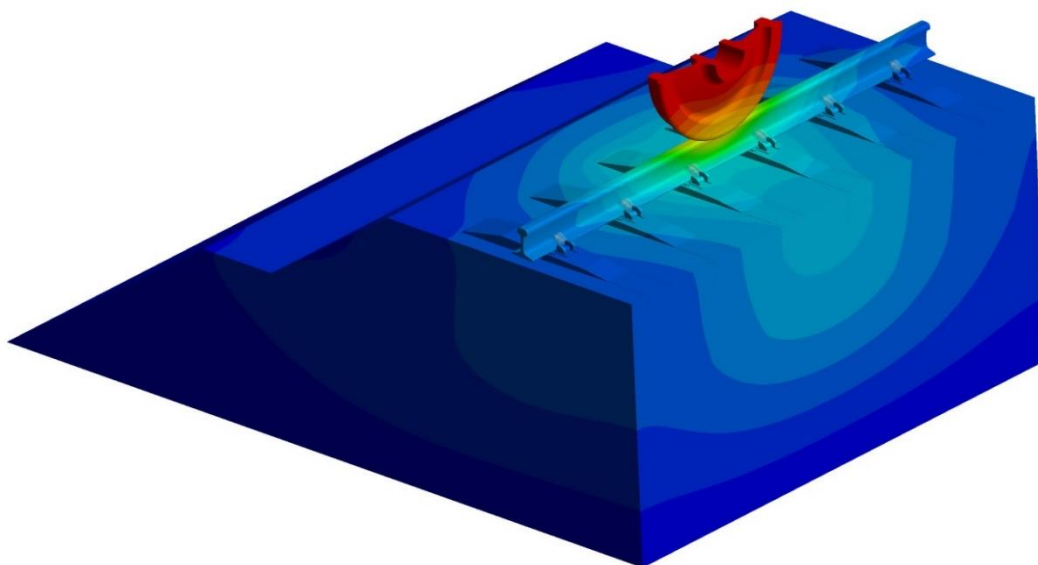


Рисунок 2.3 – Деформации при осевой нагрузке 30 тонн для участка пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip

Таблица 2.2 – Величины вертикального модуля упругости рельсового основания

Эпюра шпал, шт./км	Толщина балласта, см	Модуль упругости подрельсового основания, МПа
1840	40	710,2
2000	40	987,6
1720	40	541,7
1600	40	404,5
1840	25	537,1
2000	25	747,1
1720	25	409,7
1600	25	306,38

Необходимо отметить полное совпадение полученных значений модулей упругости подрельсового основания и параметров «методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности» [55].

2.3 Расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций пути и оценка изменения интенсивности расстройств пути

Для проведения расчетов были разработаны конструкции пути за счет уменьшения эпюры шпал и толщины балластного слоя. Исходные расчетные характеристики типовой и облегченной конструкций бесстыкового пути с рельсами Р65 на шпалах типа ВF70 со скреплениями Pandrol Fastlip на щебеночном балласте представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расчетные характеристики пути

№	Характеристика конструкции пути		U , кг/см ²	k , см ⁻¹	$l_{ш}$, см	ω , см ²	W , см ³	Ω_{σ} , см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТК ¹	Эпюра шпал	1840	710,2	0,0124	54,3	268,3	417	3582
	Толщина балласта	40 см						
1	Эпюра шпал	2000	987,6	0,0135	50	268,3	417	3582
	Толщина балласта	40 см						
2	Эпюра шпал	1720	541,7	0,0116	58,1	268,3	417	3582
	Толщина балласта	40 см						
3	Эпюра шпал	1600	404,5	0,0108	62,5	268,3	417	3582
	Толщина балласта	40 см						
4	Эпюра шпал	1840	537,1	0,0116	54,3	268,3	417	3582
	Толщина балласта	25 см						
5	Эпюра шпал	2000	747,1	0,01259	50	268,3	417	3582
	Толщина балласта	25 см						
6	Эпюра шпал	1720	409,7	0,0108	58,1	268,3	417	3582
	Толщина балласта	25 см						
7	Эпюра шпал	1600	306,38	0,0100	62,5	268,3	417	3582
	Толщина балласта	25 см						

Примечание: ТК¹ – типовая конструкция

Напряжения определялись для следующих типов подвижного состава:

- Пассажирский вагон (тип ЦВМ, для скорости 120 км/ч);
- Грузовой вагон (четырёхосный на тележках ЦНИИ-ХЗ, 23,5 т/ось, для

скорости 80 км/ч);

- Пассажирский локомотив (серия 2ТЭ10, для скорости 120 км/ч);
- Грузовой локомотив (серия 2ТЭ10М, для скорости 80 км/ч).

Расчеты были выполнены для прямого участка пути и кривой радиусом 300 м.

Основные расчетные характеристики воздействия на путь для вышеперечисленных подвижных единиц в соответствии с [55] приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Расчетные характеристики подвижного состава

Тип подвижного состава, скорость	$P_{ст}$, кг	$P_{ср}$, кг	l_i , см	f		γ_i
				прямая	кривая R=300 м	
Пассажирский вагон, 120 км/ч	8100	9572	185	1,09	1,3	0,15
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	11000	14252	185	1,18	1,65	0,8
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	10750	13559	230	1,1	1,75	0,01
Грузовой локомотив, 80 км/ч	11500	13286	300	1,1	1,75	0,04

Результаты расчетов для каждого варианта конструкции верхнего строения пути представлены в таблицах 2.5–2.12.

Таблица 2.5 – Напряжения в элементах типового варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_k	$S_{ш}$	$S_{б}$	$S_{зн}$	S_k	$S_{ш}$	$S_{б}$	$S_{зн}$
Пассажирский вагон, 120 км/ч	577,101	13,567	1,016	0,366	688,286	17,637	1,016	0,366
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	811,335	20,548	1,539	0,574	1134,494	33,903	1,539	0,574
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	779,074	20,958	1,570	0,572	1239,435	36,676	1,570	0,572
Грузовой локомотив, 80 км/ч	639,180	20,121	1,507	0,556	1016,877	35,212	1,507	0,556
$S_j^{прив}$	768,99	19,487	1,460	0,542	1063,908	31,543	1,460	0,542
$[\sigma]$, кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

Примечание – $[\sigma]$ – допускаемые напряжения (в скобках – для вагонов, без скобок – для локомотивов) [71].

Таблица 2.6 – Напряжения в элементах 1-го варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_{κ}	$S_{ш}$	$S_{\bar{\sigma}}$	$S_{зн}$	S_{κ}	$S_{ш}$	$S_{\bar{\sigma}}$	$S_{зн}$
Пассажирский вагон, 120 км/ч	542,98	13,806	1,034	0,386	647,591	17,948	1,034	0,386
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	770,523	20,267	1,518	0,587	1077,426	33,440	1,518	0,587
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	760,935	20,802	1,558	0,589	1210,579	36,404	1,558	0,589
Грузовой локомотив, 80 км/ч	628,359	19,483	1,459	0,560	999,662	34,094	1,459	0,560
$S_j^{прив}$	730,61	19,27	1,444	0,556	1011,171	31,172	1,444	0,556
$[\sigma]$, кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

Таблица 2.7 – Напряжения в элементах 2-го варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_{κ}	$S_{ш}$	$S_{\bar{\sigma}}$	$S_{зн}$	S_{κ}	$S_{ш}$	$S_{\bar{\sigma}}$	$S_{зн}$
Пассажирский вагон, 120 км/ч	603,119	13,476	1,009	0,353	719,316	17,519	1,009	0,353
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	845,560	20,948	1,569	0,568	1182,351	34,564	1,569	0,568
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	790,682	21,348	1,599	0,566	1257,903	37,359	1,599	0,566
Грузовой локомотив, 80 км/ч	648,286	20,881	1,564	0,559	1031,365	36,542	1,564	0,559
$S_j^{прив}$	800,754	19,828	1,485	0,536	1107,612	32,114	1,485	0,536
$[\sigma]$, кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

Таблица 2.8 – Напряжения в элементах 3-го варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_k	$S_{ш}$	S_b	$S_{зп}$	S_k	$S_{ш}$	S_b	$S_{зп}$
Пассажирский вагон, 120 км/ч	631,823	13,426	1,006	0,343	753,551	17,454	1,006	0,343
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	887,676	21,470	1,608	0,565	1241,242	35,426	1,608	0,565
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	803,755	21,971	1,646	0,565	1278,702	38,449	1,646	0,565
Грузовой локомотив, 80 км/ч	661,810	21,883	1,639	0,568	1052,879	38,295	1,639	0,568
$S_j^{прив}$	839,42	20,28	1,520	0,532	1160,928	32,875	1,520	0,532
[σ], кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

Таблица 2.9 – Напряжения в элементах 4-го варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_k	$S_{ш}$	S_b	$S_{зп}$	S_k	$S_{ш}$	S_b	$S_{зп}$
Пассажирский вагон, 120 км/ч	598,932	12,470	0,934	0,432	714,322	16,210	0,934	0,432
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	840,623	19,441	1,456	0,676	1175,448	32,078	1,456	0,676
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	778,054	19,662	1,473	0,678	1237,812	34,408	1,473	0,678
Грузовой локомотив, 80 км/ч	640,002	19,325	1,448	0,669	1018,186	33,819	1,448	0,669
$S_j^{прив}$	795,719	18,393	1,378	0,640	1100,612	29,791	1,378	0,640
[σ], кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

Таблица 2.10 – Напряжения в элементах 5-го варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_{κ}	S_{μ}	S_{β}	S_{ε}	S_{κ}	S_{μ}	S_{β}	S_{ε}
Пассажирский вагон, 120 км/ч	566,208	12,605	0,944	0,445	675,294	16,387	0,944	0,445
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	797,927	19,021	1,425	0,676	1115,746	31,385	1,425	0,676
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	763,324	19,253	1,442	0,678	1214,379	33,693	1,442	0,678
Грузовой локомотив, 80 км/ч	628,763	18,488	1,385	0,654	1000,305	32,354	1,385	0,654
$S_j^{\text{прив}}$	756,057	18,040	1,351	0,640	1046,047	29,19	1,351	0,640
[σ], кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

Таблица 2.11 – Напряжения в элементах 6-го варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_{κ}	S_{μ}	S_{β}	S_{ε}	S_{κ}	S_{μ}	S_{β}	S_{ε}
Пассажирский вагон, 120 км/ч	625,710	12,419	0,930	0,425	746,259	16,145	0,930	0,425
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	879,963	19,887	1,490	0,682	1230,457	32,813	1,490	0,682
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	789,991	20,200	1,513	0,687	1256,803	35,350	1,513	0,687
Грузовой локомотив, 80 км/ч	652,432	20,191	1,512	0,688	1037,960	35,335	1,512	0,688
$S_j^{\text{прив}}$	831,82	18,782	1,407	0,644	1150,391	30,439	1,407	0,644
[σ], кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

Таблица 2.12 – Напряжения в элементах 7-го варианта конструкции верхнего строения пути

Параметры	Напряжения, кг/см ²							
	прямая				кривая			
	S_k	$S_{ш}$	$S_{б}$	$S_{зн}$	S_k	$S_{ш}$	$S_{б}$	$S_{зн}$
Пассажирский вагон, 120 км/ч	656,602	12,399	0,929	0,420	783,104	16,118	0,929	0,420
Грузовой вагон (23,5 т/ось), 80 км/ч	931,279	20,421	1,530	0,690	1302,212	33,694	1,530	0,690
Пассажирский локомотив, 120 км/ч	806,628	20,961	1,570	0,703	1283,272	36,682	1,570	0,703
Грузовой локомотив, 80 км/ч	673,179	21,276	1,594	0,715	1070,967	37,234	1,594	0,715
$S_j^{прив}$	878,507	19,257	1,442	0,651	1214,906	31,229	1,442	0,651
$[\sigma]$, кг/см ²	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)	2400	-	4,5 (3,5)	1,1 (0,9)

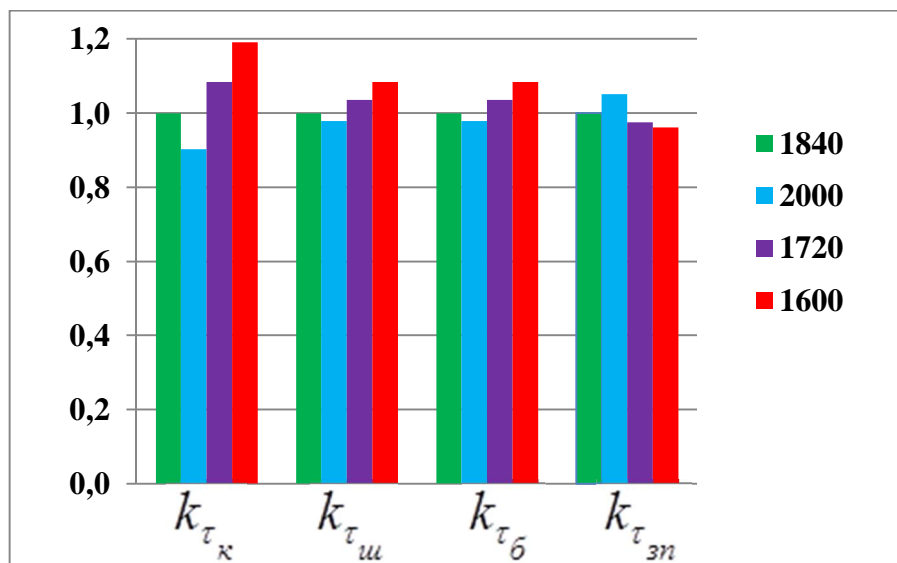
Анализ таблиц 2.5–2.12 показывает, что полученные напряжения во всех элементах по всем конструкциям не превышают допустимых при обращении всех типов подвижного состава, что свидетельствует о гарантированной безопасности при эксплуатации этих конструкций. По значениям приведенных напряжений были рассчитаны коэффициенты изменения интенсивности расстройств элемента пути по формуле (1.2). Результаты расчета представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Коэффициенты изменения интенсивности расстройств элемента пути

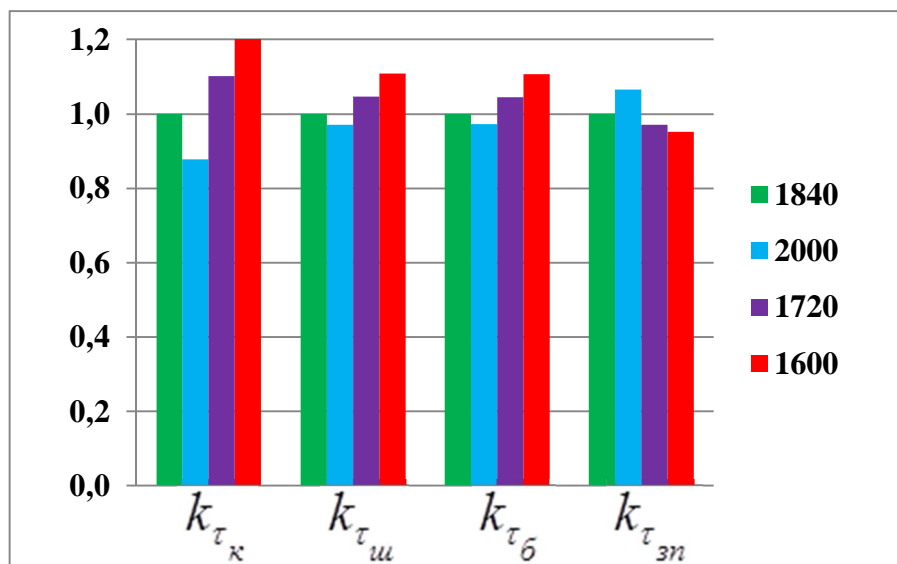
№ варианта	Коэффициенты							
	Прямая				Кривая R=300 м			
	k_{t_k}	$k_{t_{ш}}$	$k_{t_{б}}$	$k_{t_{зн}}$	k_{t_k}	$k_{t_{ш}}$	$k_{t_{б}}$	$k_{t_{зн}}$
Типовая конструкция	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,903	0,978	0,978	1,052	0,878	0,971	0,973	1,065
2	1,084	1,035	1,035	0,976	1,102	1,046	1,044	0,970
3	1,192	1,084	1,084	0,962	1,240	1,109	1,106	0,952
4	1,071	0,891	0,891	1,391	1,085	0,867	0,865	1,510
5	0,967	0,857	0,857	1,395	0,955	0,824	0,825	1,516
6	1,170	0,929	0,929	1,408	1,212	0,915	0,912	1,534
7	1,305	0,976	0,976	1,440	1,389	0,975	0,971	1,578

По данным таблицы 2.13 построена гистограмма распределения коэффициента оценки изменения интенсивности расстройств элемента пути, рисунки 2.4 и 2.5.

а)



б)

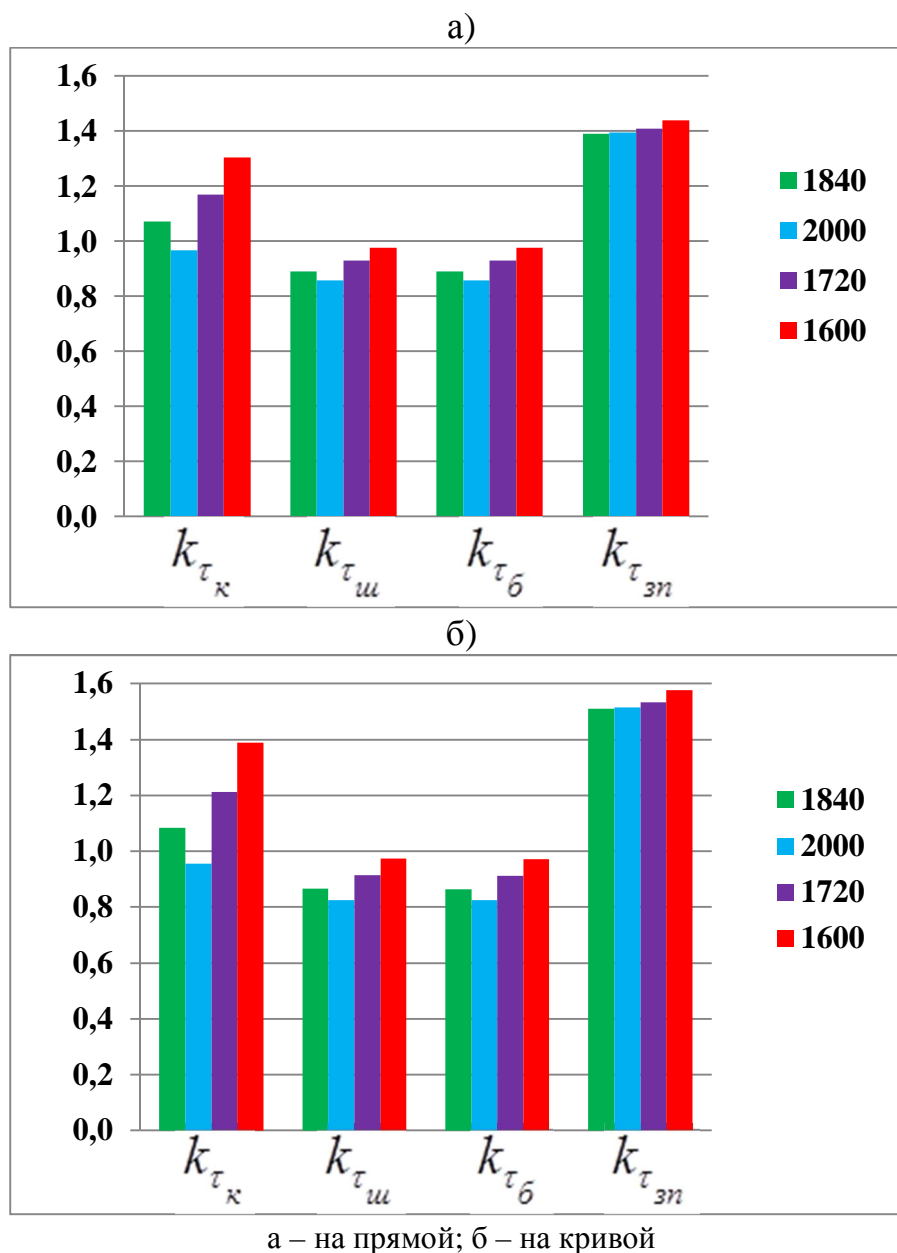


а – на прямой; б – на кривой

Рисунок 2.4 – Гистограмма распределения коэффициента оценки изменения интенсивности расстройств элемента пути при толщине балласта 40 см

При анализе результатов расчета, полученных для прямого участка пути, было выявлено, что наиболее надежной конструкцией является конструкция пути варианта №1, анализ результатов этой конструкции показывает, что значения приведенных напряжений только на основной площадке превышают значения приведенных напряжений на основной площадке типовой конструкции. Значения коэффициента k_{t_j} в других вариантах почти во всех случаях превосходят значения в типовой конструкции верхнего строения пути, что свидетельствует о

том, что интенсивность расстройств элементов других вариантов будет превышать значения интенсивности расстройств элементов пути в типовой конструкции.



а – на прямой; б – на кривой

Рисунок 2.5 – Гистограмма распределения коэффициента оценки изменения интенсивности расстройств элемента пути при толщине балласта 25 см

С уменьшением эпюры шпал до 1720 шт./км (вариант №2) интенсивность накопления расстройств в элементах пути повышается на 3–8% в зависимости от элемента: в рельсах $k_{тк} = 1,08$, в шпалах $k_{ту} = 1,03$, в балласте $k_{тб} = 1,03$, а с уменьшением эпюры до 1600 шт./км (вариант №3) эти значения соответственно равны 1,19; 1,08 и 1,08.

При изменении толщины балластного слоя до 25 см, что характерно для варианта №4, напряжения на основной площадке земляного полотна увеличиваются, а также увеличивается коэффициент $k_{t_{зн}}$ с 1,00 до 1,39.

Одновременное снижение толщины балласта и уменьшение эпюры шпал (вариант №6) сказывается отрицательно на работе пути, т.к. интенсивность накопления расстройств основания земляного полотна на 41% выше по сравнению с типовой конструкцией. По элементам конструкции ВСП: в рельсах $k_{t_k} = 1,17$, в шпалах $k_{t_{ш}} = 0,93$, в балласте $k_{t_{б}} = 0,93$.

Наихудшие показатели по коэффициентам изменения интенсивности расстройств в элементах наблюдаются в конструкции пути варианта №7, так как интенсивность расстройств в рельсах увеличивается на 31%, а расстройств на основной площадке земляного полотна увеличиваются на 44% по сравнению с типовой конструкцией.

Анализируя результаты расчета, полученные для кривого участка пути, можно сказать, что максимальные значения коэффициента расстройств по рельсам и основной площадке получены для варианта №7, эти значения соответственно равны 1,39 и 1,58. По сравнению со значениями, полученными для прямого участка пути того же варианта, разница по рельсам составила 6% а по основной площадке земляного полотна 10%. Разница между коэффициентами расстройств для кривого и прямого участка по шпалам и балласту того же варианта не превышает 4%.

В качестве облегченной конструкции для укладки в путь можно рекомендовать конструкцию варианта №2. Этот вариант облегченного верхнего строения пути обеспечивает все требования безопасности по критерию непревышения допустимых напряжений и оказывает наименьшее воздействие на основную площадку земляного полотна по сравнению с типовым исполнением.

Для принятия окончательного решения о применении данной конструкции на действующих путях АО «УТЙ» необходимо провести расчеты по устойчивости конструкции бесстыкового пути.

2.4 Расчеты прочности и устойчивости конструкции бесстыкового пути

Возможность укладки бесстыкового пути в конкретных условиях устанавливается сравнением допускаемой температурной амплитуды $[T]$ для данных условий с фактически наблюдавшейся в данной местности амплитудой колебаний температуры T_A [72, 73].

Если $T_A \leq [T]$, то бесстыковой путь можно укладывать.

Амплитуда допускаемых изменений температур рельсов:

$$[T] = [Dt_y] + [Dt_p] - [Dt_s], \quad (2.8)$$

где $[Dt_y]$ - допускаемое повышение температуры рельсов по сравнению с температурой их закрепления, определяемое устойчивостью пути против выброса при действии сжимающих продольных сил;

$[Dt_p]$ - допускаемое понижение температуры рельсовых плетей по сравнению с температурой закрепления, определяемое их прочностью при действии растягивающих продольных сил;

$[Dt_s]$ - минимальный интервал температур, в котором окончательно закрепляются плети (5 °C).

Наибольшее допускаемое по условию прочности рельса понижение температуры рельсовой плети по сравнению с ее температурой при закреплении:

$$Dt_p = \frac{[\sigma] - K_{II} \cdot \sigma_k}{a \cdot E} = \frac{[\sigma] - K_{II} \cdot \sigma_k}{2,5}, \quad (2.9)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение, в соответствии с [73] $[\sigma] = 350$ МПа;

K_{II} – коэффициент запаса прочности ($K_{II} = 1,4$).

В таблице 2.14 представлены допускаемые по условию устойчивости рельса повышения температуры рельсовой плети по сравнению с её температурой закрепления.

Значения допускаемой расчетной амплитуды рельсовой плети представлены в таблицах 2.15–2.22.

Таблица 2.14 – Допускаемые повышения температуры в прямой и кривых для рельса типа Р65 [74]

Эпюра шпал	Повышение температуры рельсовой плети [Δt_y], °С, допускаемое по условию устойчивости пути					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
2000	58	43	41	40	33	26
1840	47	41	39	38	32	24
1720	46	40	38	37	31	23
1600	44	38	36	35	29	22

Таблица 2.15 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по типовому варианту

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °С					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	150	142	138	136	129	120
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	137	127	125	122	107	95
Пассажирский локомотив	138	130	123	116	100	90
Грузовой локомотив	146	138	132	126	112	102
По приведенным напряжениям	139	130	127	124	111	99

Таблица 2.16 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по варианту №1

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °С					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	163	146	143	140	132	125
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	150	132	129	126	111	101
Пассажирский локомотив	150	133	126	120	102	93
Грузовой локомотив	158	141	135	129	114	105
По приведенным напряжениям	152	134	131	129	114	104

Таблица 2.17 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по варианту №2

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °C					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	147	139	136	134	126	118
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	134	124	122	119	104	92
Пассажирский локомотив	137	128	121	114	98	88
Грузовой локомотив	145	137	131	125	110	100
По приведенным напряжениям	136	127	124	121	108	96

Таблица 2.18 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по варианту №3

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °C					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	144	136	132	130	122	115
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	129	120	117	114	99	87
Пассажирский локомотив	134	126	119	111	94	85
Грузовой локомотив	142	134	128	122	107	98
По приведенным напряжениям	132	123	120	117	102	92

Таблица 2.19 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по варианту №4

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °C					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	148	141	137	135	127	119
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	135	126	123	120	105	93
Пассажирский локомотив	138	130	123	116	100	90
Грузовой локомотив	146	138	132	126	112	102
По приведенным напряжениям	137	129	125	122	109	97

Таблица 2.20 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по варианту №5

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °C					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	161	145	141	139	130	123
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	148	130	128	125	109	99
Пассажирский локомотив	150	133	126	119	102	93
Грузовой локомотив	158	141	135	89	114	105
По приведенным напряжениям	151	133	130	127	113	102

Таблица 2.21 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по варианту №6

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °C					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	146	138	134	132	125	116
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	132	122	120	116	101	89
Пассажирский локомотив	137	128	122	114	98	88
Грузовой локомотив	144	136	130	125	110	100
По приведенным напряжениям	134	125	122	119	105	94

Таблица 2.22 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов для различного типа подвижного состава по варианту №7

Тип подвижного состава	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °C					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Пассажирский вагон	142	134	131	128	120	113
Грузовой вагон (23,5 т/ось)	127	117	114	111	95	84
Пассажирский локомотив	134	125	118	111	94	85
Грузовой локомотив	141	133	127	121	106	97
По приведенным напряжениям	130	121	117	114	100	89

Допускаемая температурная амплитуда рельсов, рассчитанная по значениям приведенных напряжений для каждого варианта, представлена в таблице 2.23.

Таблица 2.23 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов по приведенным напряжениям для каждого варианта

№ варианта	Допускаемая температурная амплитуда рельсов $[T]$, °С					
	в прямой	в кривых радиусом, м				
		1000	800	600	350	300
Типовая конструкция	139	130	127	124	111	99
1	152	134	131	129	114	104
2	136	127	124	121	108	96
3	132	123	120	117	102	92
4	137	129	125	122	109	97
5	151	133	130	127	113	102
6	134	125	122	119	105	94
7	130	121	117	114	100	89

Не имея конкретных данных по региону, в котором планируется укладка, примем $T_A = 108^\circ\text{C}$ [75], как максимальную температурную амплитуду на всей сети железных дорог Узбекистана.

Как видно из расчетов устойчивости, при радиусе кривых 350 м конструкции пути с вариантами № 3, № 6 и № 7 не целесообразно применять, так как допускаемые изменения температуры меньше, чем амплитуда колебаний температуры рельсов.

Как показали расчеты, безопасно эксплуатировать путь в кривых радиусом 350 м с типовой конструкцией и с конструкцией вариантов №1, №2, №4 и №5, при укладке тех же конструкций пути в кривых радиусом 300 м, на период действия пониженных температур, необходимо ограничивать скорости движения поездов, чтобы не допустить излома рельсов.

2.5 Выводы по главе 2

С учетом анализа всех полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Применение конструкции пути с рельсами Р65, с эпюрой шпал 1600 шт./км, толщиной балласта 40 см и 25 см и с эпюрой шпал 1720 шт./км, толщиной балласта 25 см не целесообразно по условиям обеспечения безопасности движения (допускаемые изменения температуры меньше, чем амплитуда колебаний температуры рельсов) и по экономической эффективности (интенсивность накопления расстройств по отдельным элементам увеличивается почти в 1,3 и 1,44 раз по сравнению с типовой), что исключает варианты №3, №6 и №7.

2. Уменьшение эпюры шпал и толщины балласта по сравнению с типовой конструкцией приводит к увеличению напряжений и росту интенсивности накопления расстройств в элементах пути.

3. С уменьшением эпюры шпал до 1720 шт./км (вариант №2) интенсивность накопления расстройств по отдельным элементам пути повышается на 3–8% в зависимости от элемента: в рельсах $k_{t_k} = 1,08$, в шпалах $k_{t_{ш}} = 1,03$, в балласте $k_{t_b} = 1,03$. Этот вариант облегченного верхнего строения пути обеспечивает все требования безопасности по критерию непревышения допустимых напряжений и оказывает наименьшее воздействие на основную площадку земляного полотна по сравнению с типовым исполнением.

4. Уменьшение толщины балласта у типовой конструкции с 40 см до 25 см увеличивает коэффициент накопления расстройств на основной площадке земляного полотна в 1,39 раза для прямых участков и в 1,51 раза для кривых участков пути.

5. Исходя из вышесказанного, в качестве облегченной, для дальнейших исследований, была принята следующая конструкция – бесстыковой путь, рельсы

P65, крепления Pandrol Fastclip, шпалы железобетонные с эпюрой 1720 шт./км, балласт щебеночный толщиной 40 см, что соответствует варианту №2.

6. Для дальнейших расчетов технико-экономических показателей и полного анализа работы конструкции пути в соответствии с методикой п.1.3 необходимо проведение детальных расчетов сил взаимодействия пути и подвижного состава для выбранных вариантов облегченной конструкции пути.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ЕГО ОБРАЩЕНИИ ПО ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

3.1 Общие положения

Условия эксплуатации на разных железных дорогах могут иметь существенные отличия. Это касается, в частности, плана и профиля пути, осевых нагрузок и массы поездов, ширины колеи, климата, геологических характеристик, структуры перевозок и их интенсивности. Любой из перечисленных факторов способен оказывать заметное влияние на выбор конструкционных решений для системы колесо-рельс и стратегий содержания пути и подвижного состава. Для того чтобы избежать конфликтных ситуаций при выборе технических средств и стратегий и сделать этот выбор осознанным, необходимо глубокое понимание основных механизмов взаимодействия в системах колесо-рельс и подвижной состав-путь [76].

Задачей настоящей главы является определение значений вертикальных и горизонтальных сил, действующих на путь от подвижного состава при обращении его по облегченной конструкции.

Задачам, связанным с определением воздействия на путь подвижного состава, посвящены работы ученых Е. М. Бромберга [77], М. Ф. Вериги [78–82], Г. М. Шахунянца [83, 84], В. Ф. Яковлева [85, 86], А. Я. Когана [87–92], М. А. Чернышева [93], Ю. С. Ромена [94–98], О. П. Ершкова [99, 100, 101], З. Л. Крейниса [102] и др.

В соответствии с ГОСТ Р 55050-2012 и по методу «РЖД-2016» в настоящее время проводится экспериментальное определение силового воздействия на путь от подвижного состава.

«Современные информационно-вычислительные технологии позволяют решить эту задачу с помощью компьютерного моделирования с высокой степенью достоверности. Оно не требует изготовления опытного образца, может

включать в себя любое необходимое количество численных экспериментов, а также позволяет получать зависимости состояния динамической системы от различных факторов» [103].

«В настоящее время решение этой задачи упрощается применением современных программных комплексов, предназначенных для исследования динамических систем. Рассматриваемый объект представляется в виде совокупности абсолютно твердых тел, связанных между собой шарнирными, упругими или диссипативными элементами. Процесс вывода уравнений движения автоматизирован и сведен к заданию пользователем массовых, геометрических, кинематических параметров, а также силовых взаимодействий элементов системы» [104]. Для изучения динамического взаимодействия сложных систем наибольшую популярность приобрел российский программный комплекс «Универсальный механизм» (УМ) [105–113]. В настоящее время интерес к программе проявляется и за пределами России [114–117]. С применением программного комплекса УМ решены ряд задач, связанных с инфраструктурой путевого хозяйства [118–122]. Кроме того, «в исследованиях динамики подвижного состава во взаимодействии его с железнодорожным путем широко применяется численное моделирование движения поезда по рельсошпальной основе, реализованное в программных комплексах Adams, Matlab» [123], Medyna [124], DYNRAIL [125, 126], Gensys, Nucars, Simpack [127], Vampire, VI-Rail, «Дионис» [128, 129] и др.

Значения вертикальных и горизонтальных сил, действующих на путь от подвижного состава при обращении его по облегченной конструкции, будем определять расчетным путем на моделях, построенных на основе программного комплекса УМ версии 9.1.3.6.

3.2 Основные принципы моделирования вписывания экипажей в железнодорожный путь

Автоматизация процессов исследования механических объектов, таких как система упругих, а также твердых тел, которые связаны кинетическими и

силовыми элементами, такими как вагон, электровоз и тепловоз, возможно рассчитать с помощью программных комплексов, одним из которых является ПК УМ [108–113].

Необходимо отметить, что механическая система по своей структуре может быть плоской или пространственной, тогда как для комплексных систем анализ уравнений, подведение итогов, а также представление самой структуры объекта является сложным.

В целях упрощения вышеизложенного процесса, при анализе технической системы применен метод подсистем УМ, включающий в себя несколько типов подсистем. Таким образом, составляющие подвижного состава можно разделить на определенные подсистемы, после из одинаковых подсистем выбирается одна, которая будет в последствии описана в целях экономии и избежания большого числа погрешностей при расчете.

Программный комплекс УМ позволяет использование современных методов компьютерной графики для графически-анимационного описания процесса движения в процессе численного решения задачи и при обработке полученных результатов.

Уравнения движения объекта выводятся специальным модулем программы в символьной или численной форме.

Моделирование объекта требует внесение данных и описание ключевых взаимодействующих расчетных систем, одной из которых является железнодорожный путь и подвижной состав.

3.2.1 Железнодорожный путь

В программном комплексе УМ железнодорожный путь квалифицируется следующими параметрами, приведенными в [108]:

- макрогеометрия пути (план и продольный профиль пути);

- микрогеометрия рельсовых нитей (неровности рельсовых нитей в вертикальной и горизонтальной плоскостях);
- упруго-диссипативные и инерционные свойства пути.

3.2.2 Геометрия пути

«Геометрия пути включает в себя следующие компоненты:

- геометрию рельсов в идеальной прямой (ширина колеи, подуклонка, профили);
- макрогеометрию кривых и стрелочных переводов;
- неровности рельсовых нитей» [108].

3.2.3 Геометрия рельсов в идеальной прямой

«Геометрия рельсов в идеальной кривой включает в себя следующие компоненты:

- профили рельсов;
- расстояние между центрами головок рельсов;
- подуклонку» [108].

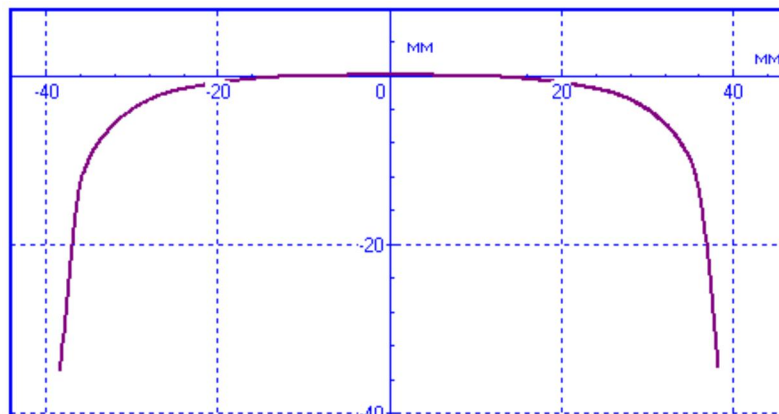


Рисунок 3.1 – Система координат профиля рельса

На рисунке 3.1 показана специальная система координат рельса (СКР), задаваемая в профиле рельса в программном комплексе УМ. «Начало СКР расположено на центральной оси сечения рельса, на его поверхности (то есть кривая профиля проходит через начало координат). Ось абсцисс (y) перпендикулярна оси сечения рельса и направлена внутрь колеи. Ось ординат (z) направлена вверх. Профиль задается в мм» [108].

Положение рельса в поперечном направлении в идеальной прямой в УМ задается (рисунок 3.2) параметром уширения колеи в прямой, для расчета которого используется формула (3.1)

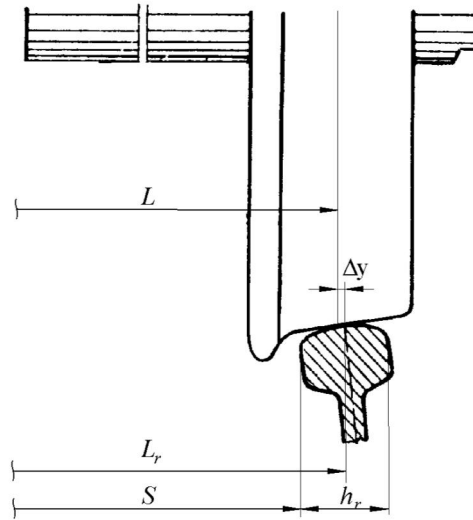


Рисунок 3.2 – Уширение колеи в прямой

$$\Delta y = \frac{L_r - L}{2}, \quad (3.1)$$

где L_r - расстояние между центрами головок рельсов;

L – расстояние между кругами катания колесной пары.

Другими словами, уширение колеи в прямой это поперечное расстояние от нижней точки на круге катания колеса до центральной точки головки рельса при их идеальном положении.

Для расчета точного значения ширины колеи может быть также использована формула (3.2):

$$Dy = \frac{S + h_r - L}{2}, \quad (3.2)$$

где S – ширина колеи;

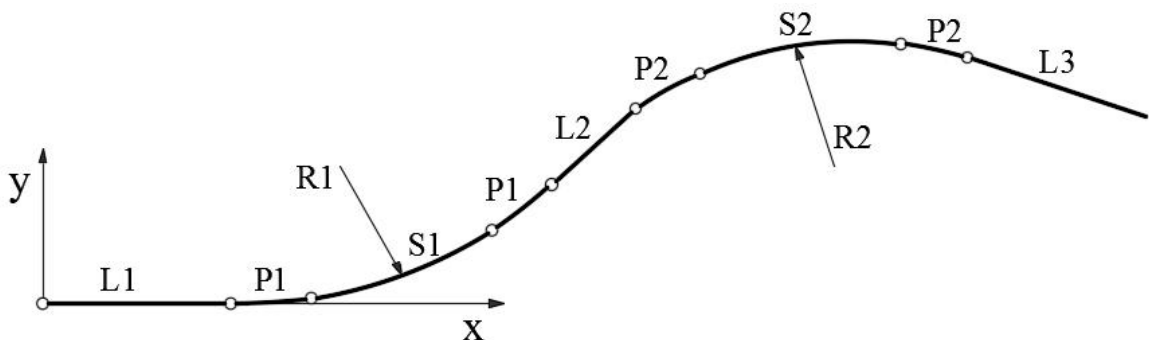
h_r – ширина головки рельса.

По умолчанию задается значение $\Delta y = 0,003$ м.

«Подуклонка a_{r0} – угол между осью симметрии сечения рельса и вертикалью в идеальной прямой. Угол измеряется в радианах. Значение угла положительно, когда рельсы наклонены внутрь колеи» [108]. По умолчанию задается значение $a_{r0} = 0,05$ рад.

3.2.4 Макрогеометрия кривой

Программный комплекс УМ дает возможность реализовать движение (S-образной пример приведен на рисунке 3.1) правой, а также левой кривых. Задание простой кривой, состоящей из двух переходных кривых, т.е. входа и выхода и участка постоянного радиуса также является возможным. Остальные параметры для S-образной кривой имеют аналогичное значение.



Примечание – L1 – длина прямолинейного участка перед входом в кривую;

P1 – длина переходной кривой для первого участка – заезда в кривую;

S1 – длина кривой постоянного радиуса;

R1, R2 – радиус первой и второй кривой;

L2 – длина прямой вставки;

H1 – возвышение наружного рельса

P2 – длина переходной кривой при выезде;

dy – дополнительное уширение колеи в кривой;

L2, L3 – длины прямолинейных вставок (для S-образной кривой).

Рисунок 3.3 – Параметры кривой

«Переходные кривые заданы кубической параболой или клотоидой. Кривизна кривой на переходных участках изменяется примерно по линейному закону» [108]. «При наличии возвышения наружного рельса его подъем (опускание) на переходных кривых задается линейным законом. При задании макрогеометрии типа Кривая и *S*-кривая возвышение может быть задано поточечно. Возможно сглаживание стыков в начале и конце переходной кривой дугой окружности» [108]. Для кривых также следует учитывать дополнительное уширение du колеи:

- уширение $du = 0,015$ м при радиусе кривизны меньше 300 м;
- уширение $du = 0,01$ м при радиусе кривизны от 300 до 350 м.

За счет симметричного смещения обоих рельсов на половину уширения. происходит реализация уширения. Линейный закон описывает изменение уширения на переходных участках.

Введем обозначения для переменных, используемых программой для расчета движения в кривых:

- $X(s), Y(s)$ – уравнение кривой в осях X, Y , s – дуговая координата;
- $\gamma_b(s)$ – угол между касательной к кривой и осью X в зависимости от натурального параметра (длины кривой);
- $\rho(s)$ – зависимость радиуса кривизны пути от натуральной координаты;
- s_o – пройденный путь.

3.2.5 Система координат пути

«Для каждого тела с номером i вводится система координат пути (СКП), начало W_i которой лежит на идеальной оси пути и является проекцией на эту ось центра масс тела. Ось абсцисс данной системы координат направлена по касательной к идеальной центральной линии пути, ось ординат – влево по ходу движения экипажа в плоскости рельсовых нитей» [108], как показано на рисунке 3.4.

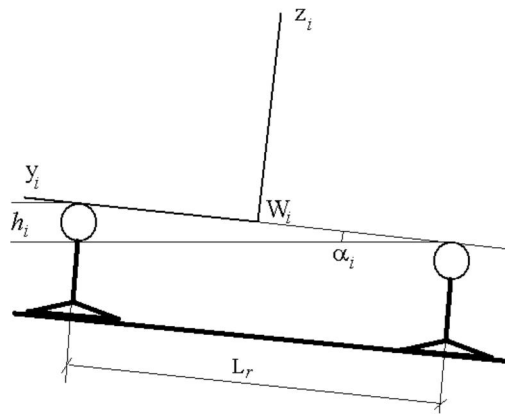


Рисунок 3.4 – Оси системы координат пути при наличии возвышения наружного рельса

Угол поворота плоскости рельсовых нитей вокруг продольной оси за счет возвышения наружного рельса рассчитывается по формуле:

$$\alpha_i = \arcsin \frac{h_i}{L_r}. \quad (3.3)$$

3.2.6 Неровности рельсовых нитей

Вертикальные и горизонтальные неровности рельсовых нитей хранятся в файлах с расширением *way* и назначаются перед моделированием каждому из рельсов. Неровности в файле задаются с постоянным шагом 0,1 м.

При чрезмерном заужении колеи в случае неудачного задания горизонтальных неровностей, когда гребни обоих колес одной колесной пары приходят в контакт с рельсом, подается сообщение об ошибке и расчет динамики прерывается.

Пологие и длинные подъемы и спуски путевой структуры также моделируются неровностями.

Возможно также задание неровностей программным путем через файл управления.

3.2.7 Упруго-диссипативные и инерционные свойства пути

За счет введения линейной упругости и линейной диссипации каждого из рельсов в вертикальном и горизонтальном направлениях учитываются упруго-диссипативные свойства пути.

Модель железнодорожного пути в УМ представлена на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Модель железнодорожного пути в УМ

3.3 Железнодорожный подвижной состав

Согласно главе 2, на основе моделирования движения подвижного состава по облегченной конструкции пути, для расчета включены следующие подвижные единицы: пассажирский вагон (тип ЦВМ), грузовой вагон (четырёхосный на тележках ЦНИИ-ХЗ), пассажирский локомотив (серия 2ТЭ10).

Далее приведены описания моделей для вагонных и тяговых подвижных единиц на примере грузового и пассажирского вагонов, локомотива согласно [105].

3.3.1 Описание модели грузового вагона

Компьютерная модель 4-осного грузового вагона с 2-осными тележками моделей 18–100 и их модификаций с центральным рессорным подвешиванием,

созданная с использованием программного комплекса УМ, представлена на рисунке 3.6.

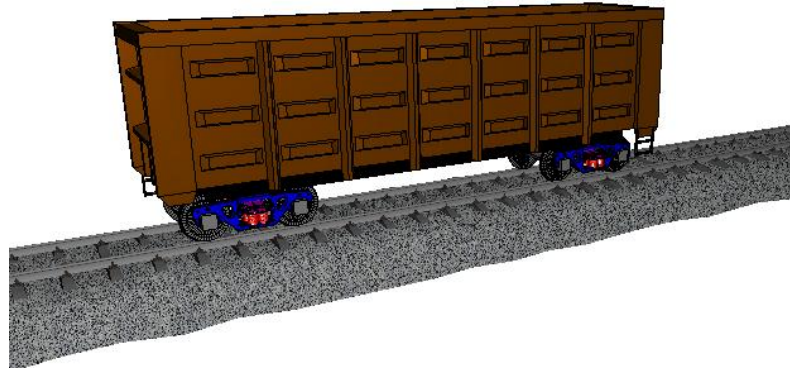


Рисунок 3.6 – Общий вид компьютерной модели

«Модель дает возможность:

- исследовать основные динамические характеристики вагона (коэффициенты запаса устойчивости, коэффициенты динамики рессорных комплектов, рамные и боковые силы, ускорения отдельных точек кузова) при движении в прямых, кривых участках пути и на стрелочных переводах, с учетом детерминированных и случайных неровностей путей интегрирования дифференциальных уравнений движения (уравнения автоматически генерируются программным комплексом УМ);
- варьировать основные геометрические и инерционные параметры, параметры пружин подвески, коэффициенты трения фрикционных клиновых гасителей, а также параметры, характеризующие износ элементов ходовой части (фрикционных клиновых гасителей, пятниковых и буксовых узлов) на базе полной параметризации модели;
- исследовать движение вагона при различных профилях колес и рельсов, жесткостных характеристиках пути с использованием различных моделей сил кривизны, при различных значениях коэффициента трения в контакте;
- исследовать процессы вкатывания колеса на рельс, отрыва поверхности катания колеса от рельса, а также процесс схода колесной пары с рельса» [108];

- планировать многовариантные расчеты с целью оценивания наихудших сочетаний неровностей и значений параметров модели в отношении схода вагона;
- исследовать динамику грузовых вагонов основных типов в груженом и порожнем состояниях;
- моделировать тележки разных типов: с жестким и упругим опиранием в скользунах и в буксовом узле, с линейным или билинейным центральным подвешиванием.

3.3.2 Модель пассажирского вагона с тележками типа КВЗ

Общий вид модели пассажирского вагона в анимационном окне программы представлен на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Общий вид модели вагона

3.3.3 Модель грузового магистрального тепловоза 2ТЭ10

Внешний вид модели представлен на рисунке 3.8.

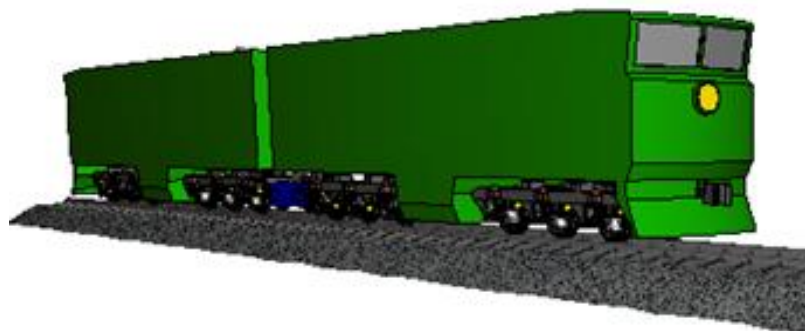


Рисунок 3.8 – Внешний вид модели тепловоза 2ТЭ10

Модель состоит из двух секций, каждая из которых представлена внешней подсистемой. Исходная модель секции тепловоза ТЭ10 содержит 50 расчетных объектов и шарниров, 88 силовых элементов и имеет 92 степени свободы.

3.4 Расчет параметров взаимодействия пути и подвижного состава с использованием программного комплекса УМ

Расчеты выполнялись для локомотива, пассажирского вагона и для грузового вагона в порожнем и груженом режимах при скоростях движения 8, 14, 20 и 25 м/с.

Значения параметров плана участка пути, рисунок 3.3, представлены в таблице 3.1.

Расчеты по конструкциям пути выполнялись:

- по типовому варианту при обращении подвижной ПЕ на прямом участке;
- по варианту №1 при обращении ПЕ на кривом участке радиусом 650 м;
- по варианту №2 и №6 при обращении ПЕ по всему участку, соответствующему рисунку 3.3.

Расчетные характеристики конструкций пути принимались согласно главе 2.

Таблица 3.1 – Значения параметров плана пути

№	Параметры	Количество, м
1	Длина первой прямой, L1	500
2	Длина переходных кривых первой кривой, P1	70
3	Длина первой кривой, S1	560
4	Радиус первой кривой, R1	650
5	Возвышения первой кривой, H1	0,07
6	Длина второй прямой, L2	300
7	Длина переходных кривых второй кривой, P2	120
8	Длина второй кривой, S2	460
9	Радиус второй кривой, R2	350
10	Возвышения второй кривой, H2	0,12
11	Длина третьей прямой, L3	500

Результаты расчетов представлены в графическом и текстовом виде. На рисунках 3.9–3.12 приведены осциллограммы суммарных вертикальных и боковых сил при движении подвижных единиц со скоростью 25 м/с по конструкции пути с эпюрой шпал 1720 шт./км, толщиной балласта 40 см (фиолетовая и красная – правая нить, зеленая и синяя – левая нить).

В таблице 3.2 представлены средние значения суммарных вертикальных и боковых сил и значения среднеквадратических отклонений к ним по левым и правым нитям, а также напряжения в кромке подошвы рельса и на основной площадке земляного полотна, определенные согласно [55].

Сторонность нити соответствует ходу движения подвижного состава. В кривом участке пути радиусом 650 м левая нить считается внутренней, а правая наружной. В кривом участке пути радиусом 350 м правая нить считается внутренней, а левая наружной.

По данным Таблицы 3.2 построены графики средних кромочных напряжений в подошве рельса, напряжений на ОПЗП и среднеквадратических отклонений, рисунки 3.13–3.20.

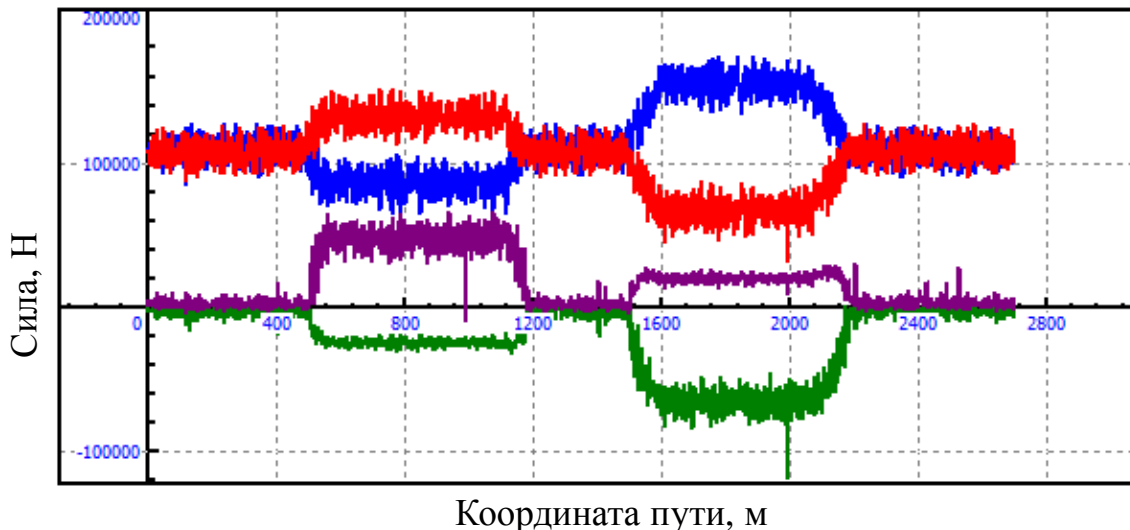


Рисунок 3.9 – Осциллограмма суммарных вертикальных и боковых сил при движении локомотива со скоростью 25 м/с.

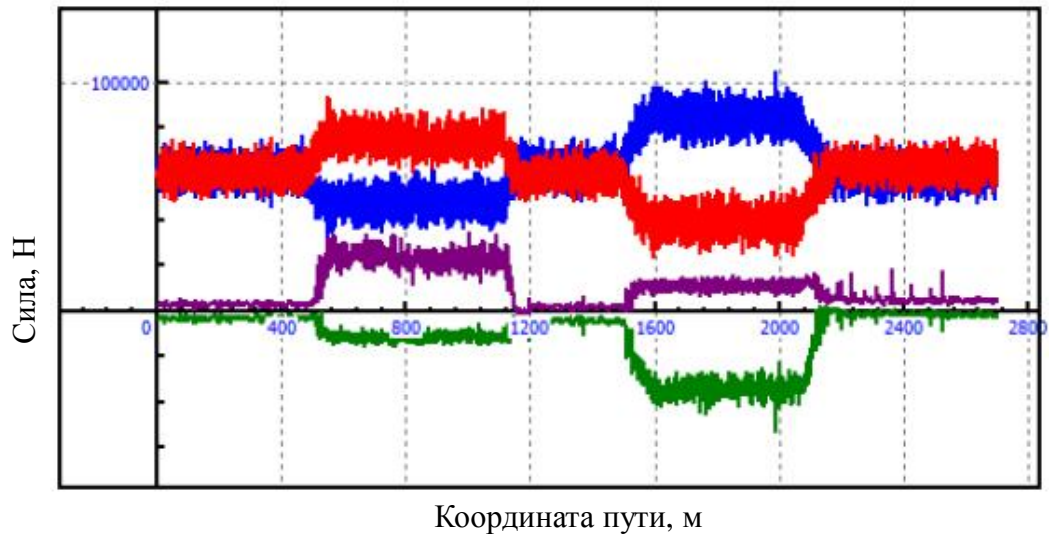


Рисунок 3.10 – Осциллограмма суммарных вертикальных и горизонтальных сил при движении пассажирского вагона со скоростью 25 м/с.

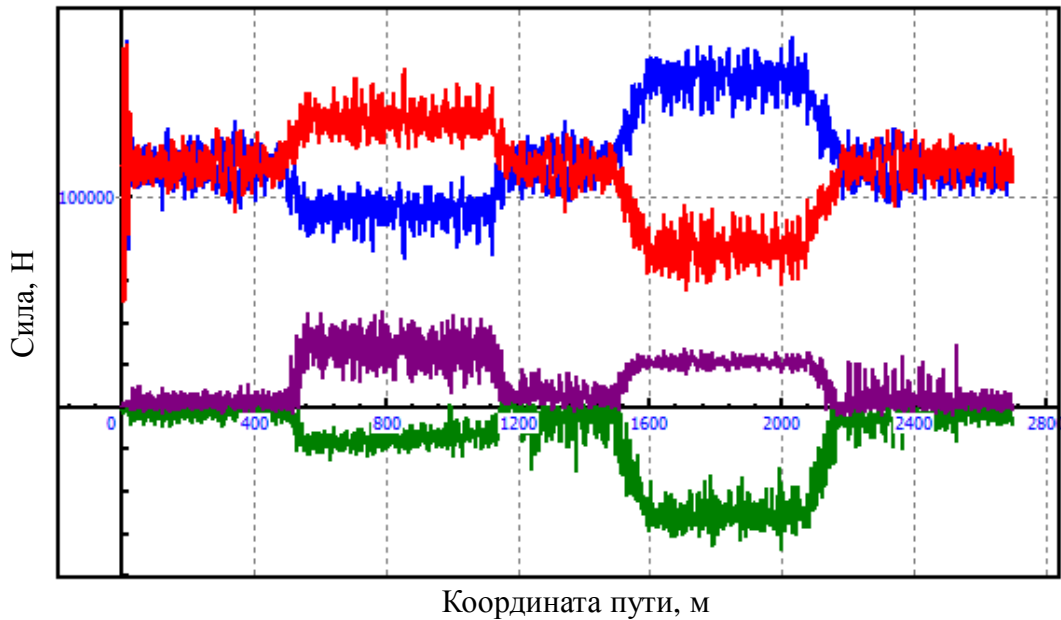


Рисунок 3.11 – Осциллограмма суммарных вертикальных и горизонтальных сил при движении груженого грузового вагона со скоростью 25 м/с.

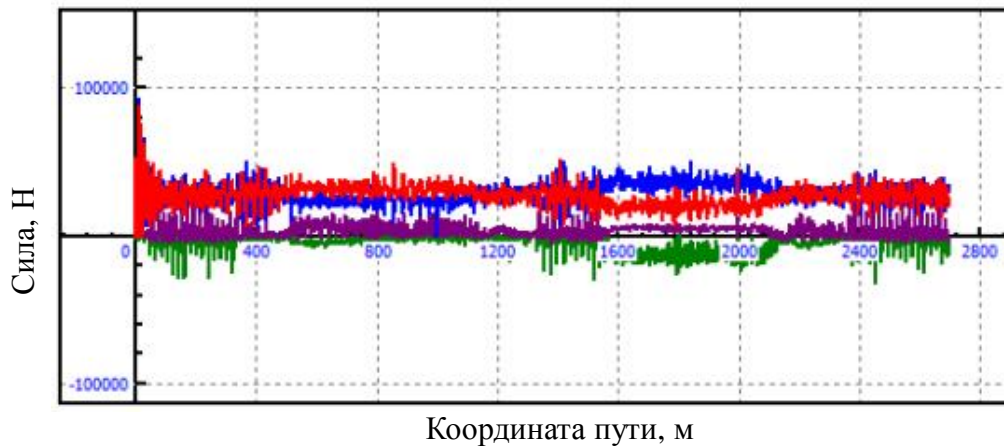


Рисунок 3.12 – Осциллограмма суммарных вертикальных и горизонтальных сил при движении порожнего грузового вагона со скоростью 25 м/с.

Таблица 3.2 – Средние значения суммарных вертикальных и боковых сил, напряжений в кромке подошвы и на ОПЗП и среднеквадратических отклонений

ПЕ	Конструкция пути	Скорость, км/ч	Левая нить								Правая нить								Напряжения на ОПЗП, кПа	
			Вертикальная сила, кН		Боковая сила, кН		Напряжения в кромке подошвы рельса, МПа				Вертикальная сила, кН		Боковая сила, кН		Напряжения в кромке подошвы рельса, МПа					
							НР		ВН						НР		ВН			
			сред.	СКО	сред.	СКО	сред.	СКО	сред.	СКО	сред.	СКО	сред.	СКО	сред.	СКО	сред.	СКО		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Грузовой вагон с осевой нагрузкой 23,5 тс	1840 / 40 прямой	≤ 40	115,08	5,03	-2,06	1,77	65,65	2,87	47,15	2,06	115,42	4,72	2,42	1,86	65,85	2,69	47,29	1,93	41,14	1,76
		41-60	114,90	5,59	-1,76	1,91	65,55	3,19	47,08	2,29	115,53	5,28	3,07	2,23	65,91	3,01	47,34	2,16	41,13	1,96
		61-80	115,09	7,12	-2,06	2,20	65,66	4,06	47,16	2,92	115,47	6,81	2,74	2,43	65,88	3,89	47,31	2,79	41,15	2,51
		80 <	115,08	7,96	-2,04	2,61	65,65	4,54	47,15	3,26	115,35	7,26	3,28	2,79	65,81	4,14	47,26	2,97	41,13	2,74
	2000 / 40 кривая 650 м	≤ 40	123,86	4,81	-23,3	4,22	72,33	2,81	41,83	1,62	106,69	4,85	16,30	5,13	62,30	2,83	36,03	1,64	44,75	1,76
		41-60	116,60	4,66	-21,0	4,14	68,09	2,72	39,38	1,57	114,05	4,74	19,44	5,95	66,60	2,77	38,52	1,60	42,15	1,70
		61-80	106,01	5,29	-15,9	4,16	61,91	3,09	35,80	1,79	125,03	5,42	21,85	6,95	73,01	3,17	42,22	1,83	45,17	1,98
		80 <	93,77	6,39	-13,9	3,89	54,76	3,73	31,67	2,16	137,60	6,89	28,33	7,29	80,36	4,02	46,47	2,33	49,67	2,51
	2000 / 40 кривая 350 м	≤ 40	99,75	4,66	-28,4	2,57	73,09	3,41	26,85	1,25	130,48	4,58	38,98	1,44	95,61	3,36	35,12	1,23	47,12	1,67
		41-60	113,40	4,48	-33,6	3,85	83,09	3,28	30,52	1,21	117,56	4,61	34,69	1,55	86,14	3,38	31,64	1,24	42,49	1,68
		61-80	135,12	5,16	-42,7	4,87	99,01	3,78	36,37	1,39	97,11	5,41	28,60	1,66	71,16	3,96	26,14	1,46	48,78	1,88
		80 <	157,39	7,35	-50,6	5,56	115,33	5,39	42,36	1,98	75,94	7,83	21,62	2,26	55,64	5,74	20,44	2,11	56,74	2,68
	1720 / 40 прямой	≤ 40	115,07	5,02	-1,91	1,79	70,12	3,06	50,36	2,20	115,53	4,83	2,81	2,04	70,40	2,94	50,56	2,11	41,03	1,77
		41-60	115,17	5,64	-1,98	1,93	70,18	3,44	50,40	2,47	115,32	5,44	2,59	2,13	70,27	3,31	50,47	2,38	41,01	1,99
		61-80	114,87	7,02	-1,89	2,10	69,99	4,28	50,27	3,07	115,39	6,68	2,98	2,40	70,31	4,07	50,50	2,92	40,97	2,46
		80 <	115,03	7,95	-2,16	2,44	70,09	4,84	50,34	3,48	115,38	7,54	2,69	2,60	70,30	4,59	50,49	3,30	41,00	2,79

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Грузовой вагон с осевой нагрузкой 23,5 тс	1720 / 40 кривая 650 м	≤ 40	124,14	4,82	-24,4	3,84	84,30	3,27	48,75	1,89	106,39	4,85	16,75	4,91	72,24	3,29	41,78	1,90	44,14	1,73
		41-60	116,85	4,49	-22,7	3,71	79,35	3,05	45,89	1,76	113,84	4,65	20,56	5,65	77,30	3,16	44,70	1,83	41,57	1,61
		61-80	105,81	5,12	-18,7	3,91	71,85	3,48	41,55	2,01	125,16	5,21	24,52	6,58	84,99	3,54	49,15	2,05	44,50	1,87
		80 <	93,76	6,16	-14,7	3,55	63,67	4,18	36,82	2,42	137,53	6,62	28,75	7,10	93,39	4,50	54,01	2,60	48,86	2,38
	1720 / 40 кривая 350 м	≤ 40	99,69	4,54	-28,4	2,53	84,94	3,87	31,20	1,42	130,56	4,61	39,04	1,42	111,24	3,93	40,86	1,44	44,14	1,73
		41-60	113,73	4,28	-32,2	3,70	96,90	3,65	35,59	1,34	117,21	4,50	34,47	1,59	99,87	3,83	36,68	1,41	41,57	1,61
		61-80	135,22	5,00	-42,9	4,94	115,21	4,26	42,32	1,56	97,01	5,28	28,38	1,62	82,66	4,50	30,36	1,65	44,50	1,87
		80 <	157,51	6,92	-50,8	5,33	134,20	5,90	49,29	2,17	75,81	7,49	21,82	2,17	64,59	6,38	23,73	2,34	48,86	2,38
	1720 / 25 прямой	≤ 40	115,06	4,99	-2,12	1,79	75,16	3,26	53,98	2,34	115,39	4,84	2,33	1,85	75,37	3,16	54,13	2,27	49,84	2,19
		41-60	115,16	5,55	-2,04	1,93	75,22	3,63	54,03	2,60	115,26	5,10	2,59	2,10	75,29	3,33	54,07	2,39	49,83	2,37
		61-80	115,05	7,05	-2,01	2,15	75,15	4,61	53,97	3,31	115,27	6,50	2,60	2,32	75,30	4,25	54,08	3,05	49,81	3,01
		80 <	115,04	7,77	-2,09	2,48	75,15	5,08	53,97	3,65	115,34	7,32	2,78	2,64	75,34	4,78	54,11	3,43	49,82	3,35
	1720 / 25 кривая 650 м	≤ 40	124,11	4,86	-25,4	3,78	90,35	3,54	52,25	2,05	106,35	4,91	17,92	4,96	77,42	3,57	44,77	2,07	53,59	2,16
		41-60	116,82	4,49	-22,7	3,54	85,04	3,27	49,18	1,89	113,90	4,59	20,86	5,54	82,91	3,34	47,95	1,93	50,51	1,99
		61-80	105,83	5,05	-17,4	3,76	77,04	3,68	44,55	2,13	125,19	5,11	23,34	6,57	91,13	3,72	52,70	2,15	54,04	2,27
		80 <	93,85	6,15	-13,9	3,65	68,32	4,48	39,51	2,59	137,60	6,58	28,01	7,06	100,17	4,79	57,93	2,77	59,26	2,92
	1720 / 25 кривая 350 м	≤ 40	99,77	4,58	-28,4	2,56	91,13	4,18	33,47	1,54	130,51	4,63	38,97	1,43	119,21	4,23	43,79	1,55	56,28	2,06
		41-60	113,98	4,17	-34,7	3,52	104,11	3,81	38,24	1,40	117,05	4,26	34,43	1,41	106,91	3,89	39,27	1,43	50,61	1,89
		61-80	135,04	4,85	-42,6	4,66	123,35	4,43	45,31	1,63	97,10	5,16	28,60	1,58	88,69	4,71	32,58	1,73	58,19	2,15
		80 <	157,75	6,72	-51,3	5,01	144,09	6,14	52,93	2,25	75,55	7,24	21,95	2,09	69,01	6,61	25,35	2,43	67,70	2,98

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Грузовой порожний вагон	1840 / 40 прямой	≤ 40	28,14	2,52	-0,89	1,27	14,97	1,34	12,37	1,11	28,23	2,49	0,81	1,11	15,01	1,32	12,41	1,09	10,14	0,91
		41-60	28,17	2,70	-1,04	1,74	14,98	1,44	12,38	1,19	28,17	2,72	0,97	1,45	14,98	1,45	12,38	1,20	10,13	0,98
		61-80	28,28	4,14	-2,06	3,91	15,04	2,20	12,43	1,82	28,06	3,97	2,05	3,45	14,92	2,11	12,33	1,74	10,13	1,46
		80 <	28,39	7,09	-3,31	6,08	15,10	3,77	12,48	3,12	27,91	7,45	3,15	5,52	14,84	3,96	12,27	3,27	10,12	2,62
	2000 / 40 кривая 650 м	≤ 40	29,16	2,57	-5,87	1,41	18,78	1,65	8,93	0,79	27,17	2,58	4,25	2,00	17,50	1,66	8,32	0,79	10,62	0,94
		41-60	28,05	2,52	-3,88	1,77	18,06	1,62	8,59	0,77	28,39	2,46	3,54	2,84	18,28	1,58	8,69	0,75	10,34	0,90
		61-80	26,17	2,88	-1,88	1,70	16,85	1,85	8,02	0,88	30,24	2,80	3,17	3,30	19,47	1,80	9,26	0,86	11,01	1,02
		80 <	24,27	4,14	-1,12	1,74	15,63	2,67	7,43	1,27	32,25	4,12	4,08	3,71	20,77	2,65	9,88	1,26	11,74	1,50
	2000 / 40 кривая 350 м	≤ 40	26,15	2,46	-6,97	1,08	20,32	1,91	6,64	0,62	30,19	2,48	9,07	0,83	23,46	1,93	7,66	0,63	10,99	0,91
		41-60	28,49	2,43	-8,38	2,28	22,14	1,89	7,23	0,62	28,05	2,54	8,41	0,79	21,80	1,97	7,12	0,64	10,37	0,89
		61-80	32,16	3,45	-10,6	2,88	24,99	2,68	8,16	0,88	24,67	3,51	7,28	1,06	19,17	2,73	6,26	0,89	11,71	1,26
		80 <	36,30	4,87	-12,6	4,14	28,21	3,78	9,21	1,24	20,79	5,05	5,56	1,53	16,16	3,92	5,28	1,28	13,21	1,78
	1720 / 40 прямой	≤ 40	28,10	2,49	-0,81	1,13	15,96	1,41	13,19	1,17	28,17	2,40	0,76	0,91	16,00	1,36	13,22	1,13	10,09	0,88
		41-60	28,16	2,70	-1,00	1,63	16,00	1,53	13,22	1,27	28,19	2,68	0,97	1,47	16,01	1,52	13,23	1,26	10,11	0,97
		61-80	28,28	4,08	-1,96	3,62	16,06	2,32	13,28	1,92	28,03	3,88	2,07	3,53	15,92	2,20	13,16	1,82	10,10	1,43
		80 <	28,38	7,00	-3,43	6,17	16,12	3,98	13,32	3,29	27,95	7,29	3,10	5,45	15,88	4,14	13,12	3,42	10,10	2,57
	1720 / 40 кривая 650 м	≤ 40	29,18	2,58	-5,41	1,50	21,85	1,93	10,39	0,92	27,15	2,59	3,82	2,07	20,33	1,94	9,67	0,92	10,47	0,93
		41-60	28,01	2,35	-3,49	1,75	20,97	1,76	9,98	0,84	28,37	2,43	3,18	2,82	21,24	1,82	10,10	0,87	10,18	0,87
		61-80	26,27	2,85	-1,55	2,05	19,67	2,13	9,36	1,01	30,15	2,76	3,13	3,19	22,57	2,07	10,74	0,98	10,81	0,99
		80 <	24,28	3,96	-1,74	2,09	18,18	2,97	8,65	1,41	32,26	3,96	4,79	4,02	24,15	2,97	11,49	1,41	11,57	1,42

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Грузовой порожний вагон	1720 / 40 кривая 350 м	≤ 40	26,15	2,44	-7,00	0,99	23,63	2,20	7,72	0,72	30,20	2,46	9,08	0,77	27,29	2,22	8,91	0,73	10,83	0,89
		41-60	28,45	2,36	-8,35	2,23	25,71	2,13	8,39	0,70	28,07	2,49	8,42	0,78	25,37	2,25	8,28	0,73	9,60	0,85
		61-80	32,18	3,31	-10,6	2,71	29,08	2,99	9,50	0,98	24,60	3,41	7,29	1,02	22,23	3,08	7,26	1,01	10,85	1,19
		80 <	36,33	4,32	-12,4	4,35	32,83	3,90	10,72	1,27	20,78	4,26	5,49	1,36	18,78	3,85	6,13	1,26	12,35	1,55
	1720 / 25 прямой	≤ 40	28,11	2,48	-0,82	1,19	17,12	1,51	14,15	1,25	28,23	2,44	0,82	1,04	17,19	1,49	14,21	1,23	12,43	1,09
		41-60	28,15	2,69	-0,98	1,63	17,14	1,64	14,17	1,35	28,16	2,70	0,96	1,40	17,15	1,64	14,17	1,36	12,43	1,20
		61-80	28,28	4,23	-2,12	3,84	17,22	2,58	14,23	2,13	28,02	4,13	2,28	4,04	17,06	2,51	14,10	2,08	12,42	1,86
		80 <	28,19	6,90	-3,07	5,21	17,17	4,20	14,19	3,47	28,07	7,17	3,23	5,49	17,09	4,37	14,13	3,61	12,41	3,12
	1720 / 25 кривая 650 м	≤ 40	29,16	2,58	-5,56	1,46	23,41	2,07	11,13	0,98	27,17	2,59	3,99	2,05	21,81	2,08	10,37	0,99	12,86	1,15
		41-60	28,01	2,34	-3,85	1,70	22,48	1,88	10,69	0,89	28,37	2,41	3,51	2,83	22,77	1,93	10,83	0,92	12,52	1,07
		61-80	26,25	2,75	-1,62	1,94	21,07	2,21	10,02	1,05	30,17	2,72	3,14	3,20	24,22	2,18	11,52	1,04	13,31	1,21
		80 <	24,26	3,62	-1,14	1,82	19,47	2,91	9,26	1,38	32,29	3,72	4,24	3,94	25,92	2,99	12,33	1,42	14,23	1,65
	1720 / 25 кривая 350 м	≤ 40	26,15	2,45	-7,01	1,00	25,33	2,37	8,27	0,78	30,19	2,46	9,09	0,75	29,25	2,38	9,55	0,78	13,31	1,09
		41-60	28,44	2,33	-8,36	2,22	27,55	2,26	9,00	0,74	28,09	2,46	8,43	0,77	27,21	2,38	8,89	0,78	12,55	1,04
		61-80	32,15	2,96	-10,6	2,67	31,15	2,87	10,17	0,94	24,63	2,95	7,25	0,89	23,86	2,86	7,79	0,93	14,17	1,32
		80 <	36,31	4,52	-12,6	4,07	35,18	4,38	11,49	1,43	20,80	4,47	5,57	1,37	20,15	4,33	6,58	1,41	15,99	2,01

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Пассажирский вагон	1840 / 40 прямой	≤ 40	61,38	6,66	-3,06	0,67	32,64	3,54	26,98	2,93	61,56	6,63	3,07	0,64	32,74	3,53	27,06	2,91	20,01	2,18
		41-60	61,53	6,46	-3,04	0,76	32,72	3,44	27,04	2,84	61,34	6,56	3,07	0,75	32,62	3,49	26,96	2,88	20,00	2,13
		61-80	61,69	6,16	-3,08	0,94	32,81	3,28	27,11	2,71	61,26	6,25	3,05	0,93	32,58	3,32	26,93	2,75	20,01	2,03
		80 <	61,67	6,31	-3,10	0,85	32,80	3,36	27,11	2,77	61,28	6,03	3,03	0,85	32,59	3,21	26,93	2,65	20,01	2,02
	2000 / 40 кривая 650 м	≤ 40	63,96	7,05	-15,9	1,66	40,48	4,46	19,93	2,20	58,86	7,12	18,50	2,14	37,25	4,51	18,34	2,22	21,79	2,41
		41-60	60,91	6,76	-14,5	1,74	38,55	4,28	18,98	2,11	62,05	6,78	17,35	2,32	39,27	4,29	19,34	2,11	21,14	2,32
		61-80	54,28	6,63	-12,8	1,67	34,35	4,20	16,92	2,07	68,92	6,79	19,56	2,62	43,61	4,30	21,48	2,12	23,46	2,33
		80 <	48,29	6,76	-11,1	1,73	30,56	4,28	15,05	2,11	75,11	6,87	21,88	3,82	47,53	4,35	23,41	2,14	25,56	2,35
	2000 / 40 кривая 350 м	≤ 40	56,96	7,12	-22,8	2,02	44,27	5,53	14,45	1,81	66,00	7,25	19,10	1,92	51,29	5,63	16,75	1,84	22,48	2,48
		41-60	63,41	7,04	-24,4	2,88	49,28	5,47	16,09	1,79	59,94	6,86	17,32	1,94	46,58	5,33	15,21	1,74	21,60	2,41
		61-80	75,88	7,09	-28,6	2,98	58,97	5,51	19,26	1,80	48,20	6,84	13,88	1,89	37,46	5,32	12,23	1,74	25,82	2,43
		80 <	85,17	7,36	-33,6	4,02	66,19	5,72	21,61	1,87	39,59	7,42	11,20	2,11	30,77	5,77	10,05	1,88	28,96	2,52
	1720 / 40 прямой	≤ 40	61,35	6,55	-3,06	0,64	34,85	3,72	28,80	3,07	61,60	6,43	3,06	0,62	34,99	3,65	28,92	3,02	19,49	2,07
		41-60	61,46	6,29	-3,05	0,75	34,91	3,57	28,85	2,95	61,37	6,41	3,07	0,74	34,86	3,64	28,81	3,01	19,47	2,02
		61-80	61,65	5,96	-3,07	0,93	35,02	3,39	28,94	2,80	61,29	6,08	3,06	0,93	34,81	3,45	28,77	2,85	19,48	1,92
		80 <	61,64	6,27	-3,08	0,84	35,01	3,56	28,94	2,94	61,32	5,91	3,04	0,84	34,83	3,36	28,79	2,77	19,49	1,94
	1720 / 40 кривая 650 м	≤ 40	64,17	6,77	-15,9	1,61	47,22	4,98	23,25	2,45	58,63	6,81	18,24	2,14	43,14	5,01	21,25	2,47	20,33	2,16
		41-60	60,62	6,41	-14,6	1,63	44,61	4,72	21,97	2,32	62,28	6,48	18,18	2,26	45,83	4,77	22,57	2,35	19,74	2,07
		61-80	54,08	6,37	-12,9	1,59	39,79	4,69	19,60	2,31	69,08	6,53	20,39	2,42	50,83	4,81	25,03	2,37	21,88	2,08
		80 <	48,07	6,51	-11,2	1,64	35,37	4,79	17,42	2,36	75,42	6,61	22,90	3,76	55,50	4,86	27,33	2,40	23,87	2,11

Продолжение таблицы 3.2

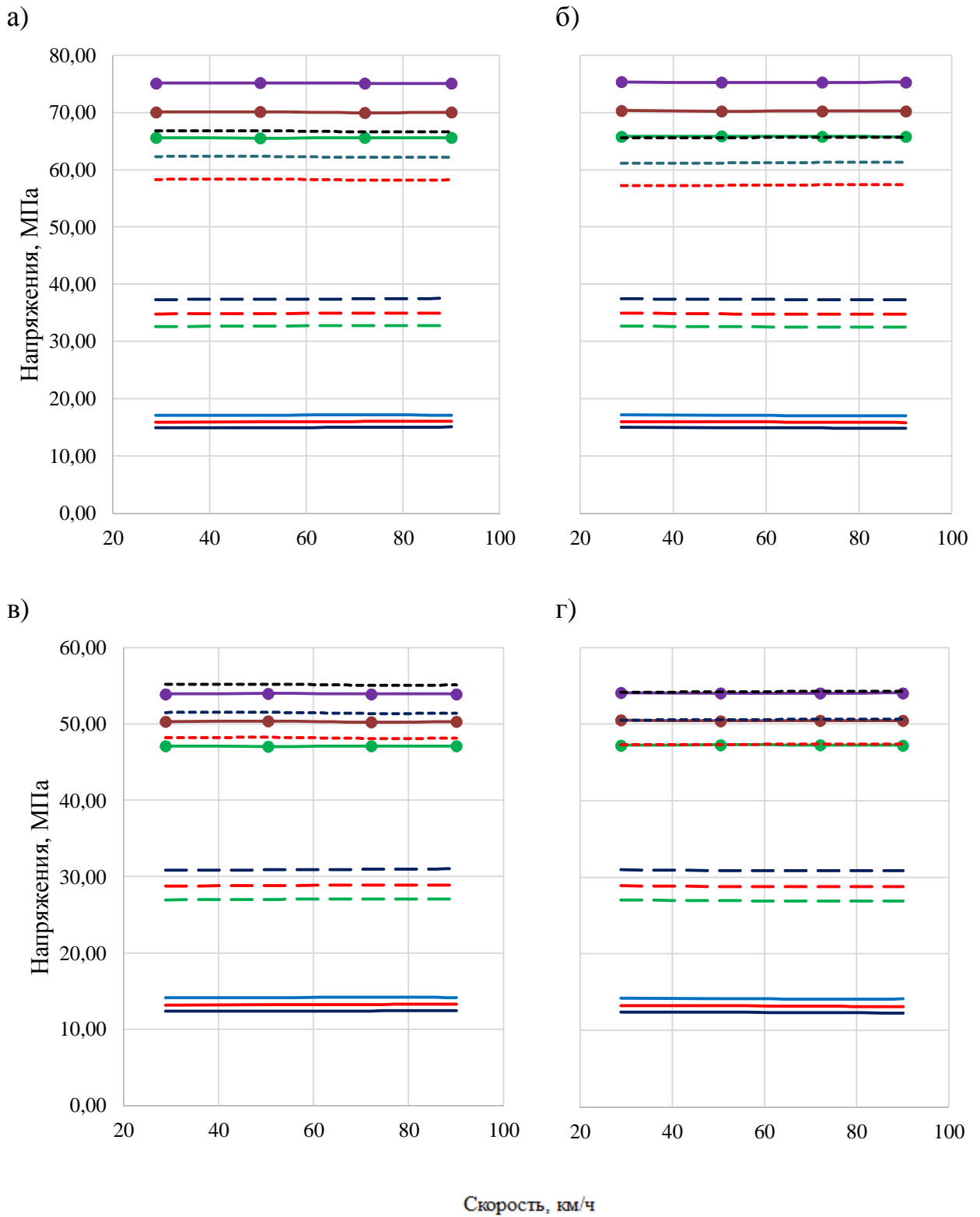
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Пассажирский вагон	1720 / 40 кривая 350 м	≤ 40	56,84	6,81	-23,2	2,00	51,36	6,15	16,77	2,01	66,11	6,93	19,13	1,83	59,74	6,26	19,51	2,04	20,94	2,21
		41-60	63,37	6,69	-25,0	2,71	57,27	6,05	18,70	1,97	59,98	6,53	17,33	1,75	54,20	5,90	17,70	1,93	20,08	2,13
		61-80	75,63	6,83	-28,3	2,97	68,34	6,17	22,32	2,02	48,45	6,58	13,98	1,82	43,78	5,95	14,30	1,94	23,94	2,18
		80 <	85,06	7,08	-33,6	3,88	76,87	6,40	25,10	2,09	39,67	7,19	11,25	2,05	35,85	6,50	11,71	2,12	26,90	2,26
	1720 / 25 прямой	≤ 40	61,37	6,36	-3,06	0,64	37,37	3,87	30,88	3,20	61,57	6,31	3,05	0,61	37,49	3,84	30,99	3,18	22,74	2,37
		41-60	61,42	6,06	-3,04	0,73	37,40	3,69	30,91	3,05	61,41	6,26	3,08	0,73	37,39	3,81	30,90	3,15	22,72	2,31
		61-80	61,56	5,77	-3,08	0,91	37,49	3,51	30,98	2,90	61,37	5,89	3,04	0,91	37,37	3,59	30,88	2,96	22,74	2,18
		80 <	61,69	6,07	-3,07	0,82	37,56	3,70	31,05	3,05	61,32	5,71	3,06	0,82	37,34	3,48	30,86	2,87	22,75	2,21
	1720 / 25 кривая 650 м	≤ 40	64,33	6,54	-15,9	1,58	50,75	5,16	24,99	2,54	58,47	6,63	18,09	2,13	46,12	5,23	22,71	2,58	23,78	2,45
		41-60	60,50	6,21	-14,7	1,59	47,72	4,90	23,50	2,41	62,42	6,28	18,60	2,22	49,24	4,95	24,25	2,44	23,09	2,35
		61-80	53,96	6,25	-13,0	1,55	42,57	4,93	20,96	2,43	69,21	6,35	20,86	2,46	54,60	5,01	26,89	2,47	25,56	2,38
		80 <	48,36	6,36	-11,1	1,68	38,15	5,02	18,79	2,47	75,06	6,47	22,02	3,78	59,21	5,10	29,16	2,51	27,69	2,42
	1720 / 25 кривая 350 м	≤ 40	56,59	6,60	-22,9	2,03	54,82	6,39	17,90	2,09	66,36	6,73	19,20	1,77	64,29	6,52	20,99	2,13	24,52	2,52
		41-60	63,28	6,45	-25,0	2,68	61,30	6,25	20,02	2,04	60,09	6,34	17,37	1,69	58,21	6,14	19,01	2,01	23,40	2,42
		61-80	75,59	6,71	-28,3	2,83	73,23	6,50	23,91	2,12	48,52	6,49	14,01	1,79	47,00	6,29	15,35	2,05	27,88	2,51
		80 <	85,10	6,96	-33,8	3,80	82,44	6,74	26,92	2,20	39,63	7,05	11,24	2,01	38,39	6,83	12,54	2,23	31,33	2,61

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Локомотив	1840 / 40 прямой	≤ 40	109,71	6,63	-3,02	1,93	58,35	3,53	48,22	2,91	107,76	6,65	2,26	1,83	57,31	3,54	47,36	2,92	36,07	2,22
		41-60	109,84	7,39	-2,97	2,44	58,42	3,93	48,28	3,25	107,76	7,34	2,48	2,38	57,31	3,90	47,36	3,23	36,09	2,47
		61-80	109,50	7,55	-2,93	2,64	58,24	4,02	48,13	3,32	107,94	7,75	2,56	2,47	57,41	4,12	47,44	3,41	36,06	2,56
		80 <	109,57	7,86	-2,97	3,05	58,27	4,18	48,16	3,45	107,93	8,36	2,68	2,78	57,40	4,45	47,44	3,67	36,07	2,71
	2000 / 40 кривая 650 м	≤ 40	114,27	6,95	-33,7	1,97	73,58	4,48	35,00	2,13	103,65	6,77	33,52	3,32	66,74	4,36	31,74	2,07	38,39	2,36
		41-60	107,65	7,10	-31,4	2,11	69,32	4,57	32,97	2,17	110,49	7,24	37,01	4,63	71,15	4,66	33,84	2,22	37,13	2,45
		61-80	97,52	7,64	-28,0	2,20	62,80	4,92	29,87	2,34	120,92	7,79	42,32	6,32	77,86	5,02	37,03	2,39	40,61	2,64
		80 <	86,76	8,41	-24,4	2,36	55,87	5,42	26,57	2,58	132,05	8,52	47,58	7,64	85,03	5,49	40,44	2,61	44,31	2,89
	2000 / 40 кривая 350 м	≤ 40	103,91	6,76	-39,4	2,99	80,75	5,25	26,37	1,72	115,77	6,69	34,93	2,02	89,97	5,20	29,38	1,70	38,89	2,27
		41-60	115,26	7,81	-44,0	4,80	89,58	6,07	29,25	1,98	105,02	7,48	31,66	2,27	81,62	5,81	26,65	1,90	38,72	2,65
		61-80	134,37	7,79	-54,9	6,54	104,43	6,05	34,10	1,98	86,60	8,21	25,98	2,49	67,30	6,38	21,98	2,08	45,08	2,64
		80 <	155,35	8,44	-64,7	7,72	120,73	6,56	39,42	2,14	66,69	9,13	19,87	2,74	51,83	7,10	16,92	2,32	52,05	2,86
	1720 / 40 прямой	≤ 40	109,78	6,49	-3,00	1,88	62,36	3,69	51,53	3,05	107,73	6,55	2,26	1,80	61,19	3,72	50,57	3,07	36,19	2,19
		41-60	109,81	7,26	-2,95	2,38	62,37	4,12	51,55	3,41	107,79	7,25	2,44	2,32	61,23	4,12	50,60	3,40	36,20	2,44
		61-80	109,49	7,45	-2,93	2,58	62,19	4,23	51,40	3,50	107,95	7,63	2,54	2,44	61,32	4,33	50,68	3,58	36,18	2,53
		80 <	109,57	7,72	-2,96	2,96	62,24	4,39	51,44	3,62	107,95	8,21	2,69	2,72	61,32	4,66	50,68	3,85	36,19	2,68
	1720 / 40 кривая 650 м	≤ 40	114,39	6,65	-33,7	1,98	85,65	4,98	40,74	2,37	103,57	6,53	33,43	3,26	77,55	4,89	36,88	2,33	38,05	2,23
		41-60	107,75	6,87	-31,5	2,09	80,68	5,14	38,37	2,45	110,41	7,06	36,97	4,50	82,67	5,29	39,32	2,51	36,74	2,37
		61-80	97,63	7,41	-28,1	2,14	73,10	5,55	34,77	2,64	120,80	7,53	42,45	6,05	90,45	5,64	43,02	2,68	40,16	2,53
		80 <	86,71	8,02	-24,4	2,24	64,92	6,01	30,88	2,86	132,08	8,07	47,68	7,30	98,90	6,04	47,04	2,87	43,87	2,71

Продолжение таблицы 3.2

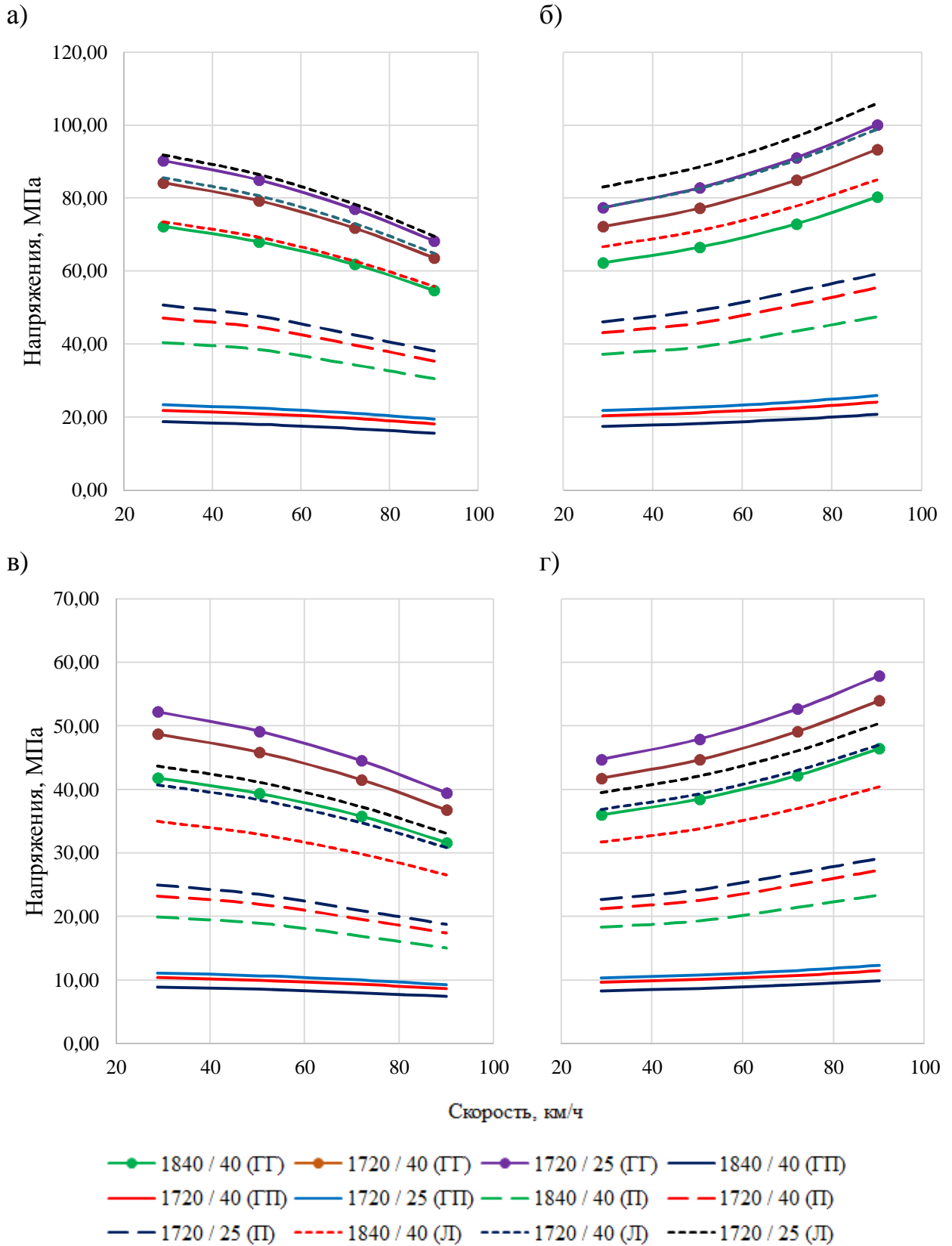
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Локомотив	1720 / 40 кривая 350 м	≤ 40	103,66	6,57	-39,4	2,89	93,67	5,94	30,59	1,94	116,05	6,55	35,00	1,98	104,87	5,92	34,24	1,93	38,60	2,20
		41-60	115,05	7,47	-44,0	4,74	103,97	6,75	33,95	2,20	105,23	7,28	31,73	2,21	95,09	6,58	31,05	2,15	38,27	2,51
		61-80	134,62	7,53	-54,8	6,19	121,65	6,80	39,72	2,22	86,38	7,67	25,96	2,32	78,06	6,93	25,49	2,26	44,71	2,53
		80 <	155,18	8,12	-65,2	7,31	140,23	7,34	45,79	2,40	66,91	8,29	19,98	2,50	60,46	7,49	19,74	2,45	51,46	2,73
	1720 / 25 прямой	≤ 40	109,77	6,34	-3,00	1,84	66,84	3,86	55,24	3,19	107,70	6,44	2,27	1,74	65,58	3,92	54,20	3,24	45,04	2,71
		41-60	109,78	7,12	-2,94	2,34	66,85	4,34	55,25	3,58	107,79	7,12	2,39	2,27	65,64	4,34	54,25	3,58	45,06	3,02
		61-80	109,49	7,35	-2,93	2,51	66,67	4,48	55,10	3,70	107,95	7,52	2,51	2,38	65,73	4,58	54,33	3,78	45,03	3,16
		80 <	109,55	7,61	-2,95	2,87	66,71	4,63	55,13	3,83	107,98	8,07	2,67	2,66	65,75	4,91	54,34	4,06	45,05	3,33
	1720 / 25 кривая 650 м	≤ 40	114,49	6,53	-33,7	1,97	91,90	5,24	43,71	2,49	103,49	6,41	33,42	3,25	83,07	5,15	39,51	2,45	47,37	2,77
		41-60	107,81	6,75	-31,5	2,09	86,54	5,42	41,16	2,58	110,38	6,96	36,96	4,42	88,60	5,59	42,14	2,66	45,71	2,95
		61-80	97,68	7,30	-28,1	2,13	78,41	5,86	37,29	2,79	120,76	7,39	42,47	5,88	96,93	5,93	46,10	2,82	49,91	3,13
		80 <	86,73	7,86	-24,4	2,19	69,62	6,31	33,11	3,00	132,06	7,89	47,82	7,15	106,00	6,33	50,42	3,01	54,46	3,35
	1720 / 25 кривая 350 м	≤ 40	103,62	6,45	-39,2	2,84	100,38	6,25	32,78	2,04	116,15	6,47	35,03	1,95	112,52	6,27	36,74	2,05	48,04	2,75
		41-60	114,96	7,30	-44,0	4,66	111,37	7,07	36,37	2,31	105,31	7,16	31,76	2,17	102,02	6,94	33,31	2,26	47,56	3,10
		61-80	134,57	7,41	-55,0	6,05	130,37	7,18	42,57	2,34	86,44	7,47	25,99	2,26	83,74	7,24	27,34	2,36	55,47	3,14
		80 <	155,25	7,97	-65,3	7,15	150,40	7,72	49,11	2,52	66,83	8,02	19,99	2,42	64,74	7,77	21,14	2,54	63,76	3,38



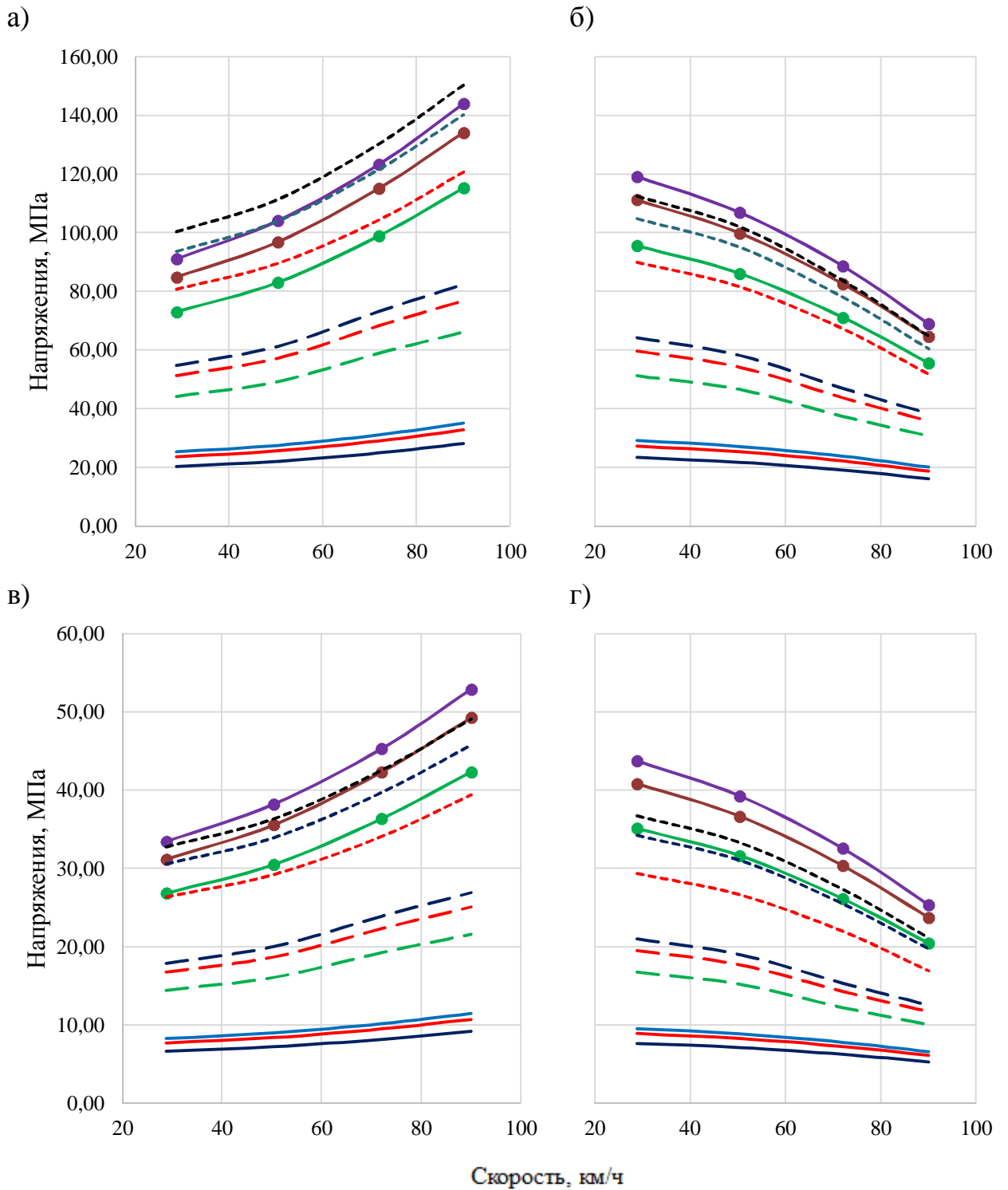
—●— 1840 / 40 (ГП)
 —●— 1720 / 40 (ГП)
 —●— 1720 / 25 (ГП)
 — 1840 / 40 (ГП)
— 1720 / 40 (ГП)
 — 1720 / 25 (ГП)
 - - - 1840 / 40 (П)
 - - - 1720 / 40 (П)
- - - 1720 / 25 (П)
 · · · 1840 / 40 (Л)
 · · · 1720 / 40 (Л)
 · · · 1720 / 25 (Л)

а – левая нить наружная кромка; б – правая нить наружная кромка;
 в – левая нить внутренняя кромка; г – правая нить внутренняя кромка

Рисунок 3.13 – График кромочных напряжений в подошве рельса в прямом участке

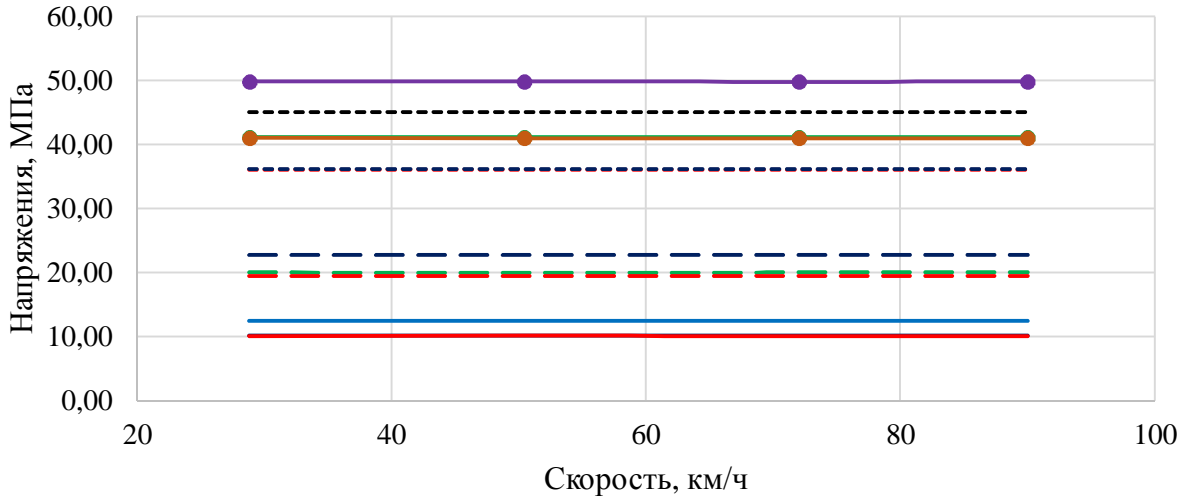


а – внутренняя нить наружная кромка; б – наружная нить наружная кромка;
 в – внутренняя нить внутренняя кромка; г – наружная нить внутренняя кромка;
 Рисунок 3.14 – График кромочных напряжений в подошве рельса в кривом участке радиусом 650 м

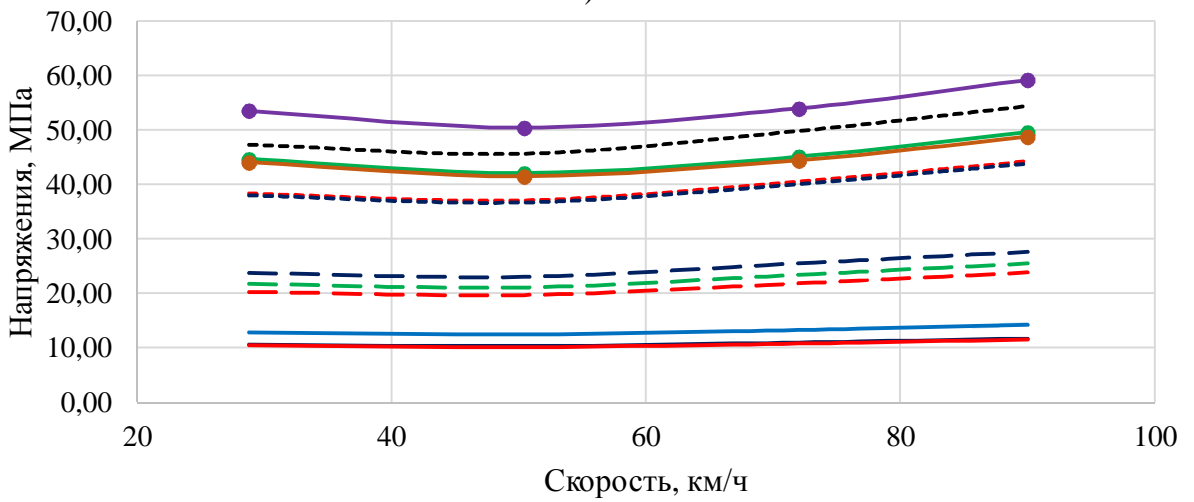


а – внутренняя нить наружная кромка; б – наружная нить наружная кромка;
 в – внутренняя нить внутренняя кромка; г – наружная нить внутренняя кромка;
 Рисунок 3.15 – График кромочных напряжений в подошве рельса в кривом участке радиусом 350 м

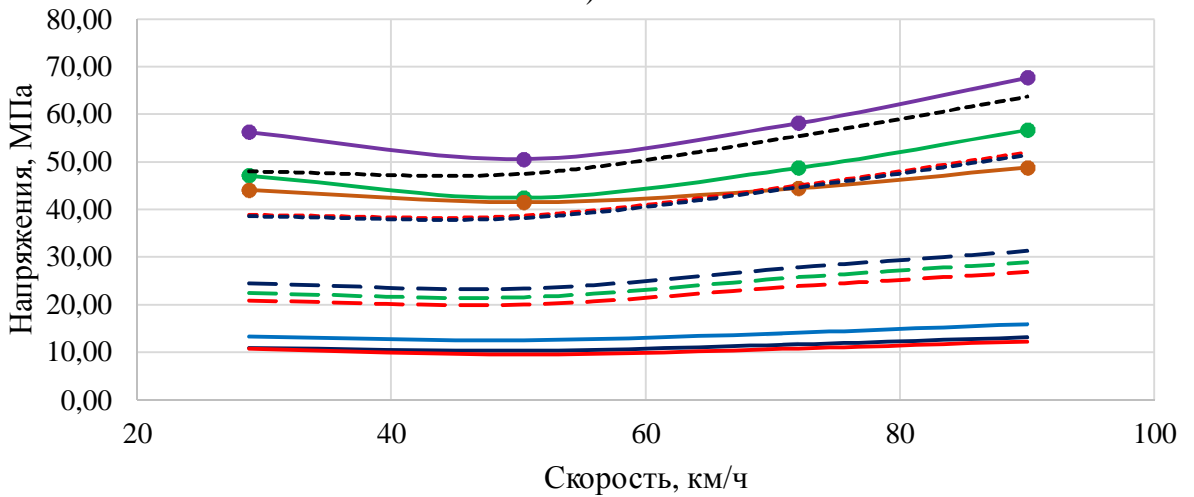
а)



б)



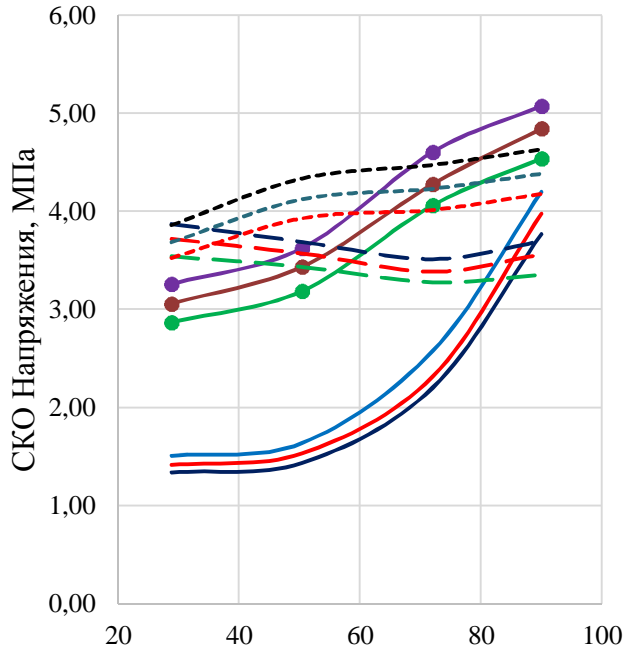
в)



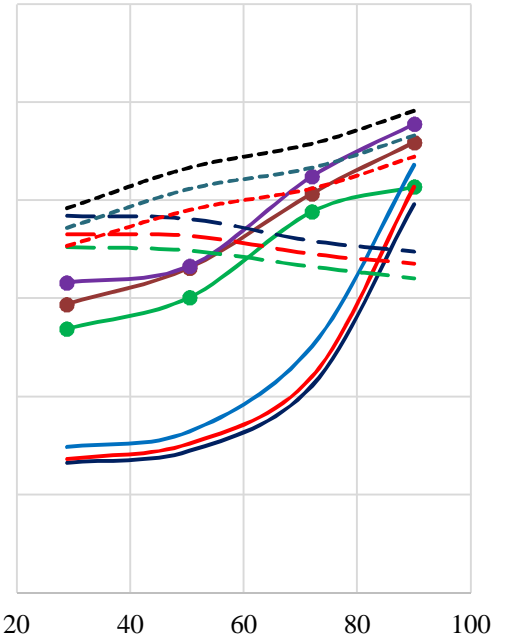
- 2000 / 40 (ГГ) ● 1720 / 40 (ГГ) ● 1720 / 25 (ГГ) — 2000 / 40 (ГП)
- 1720 / 40 (ГП) — 1720 / 25 (ГП) — 2000 / 40 (П) - - 1720 / 40 (П)
- 1720 / 25 (П) - - - 2000 / 40 (Л) - - - 1720 / 40 (Л) - - - 1720 / 25 (Л)

а – прямая; б – кривая 650 м; в – кривая 350 м;
 Рисунок 3.16 – График напряжений на ОПЗП

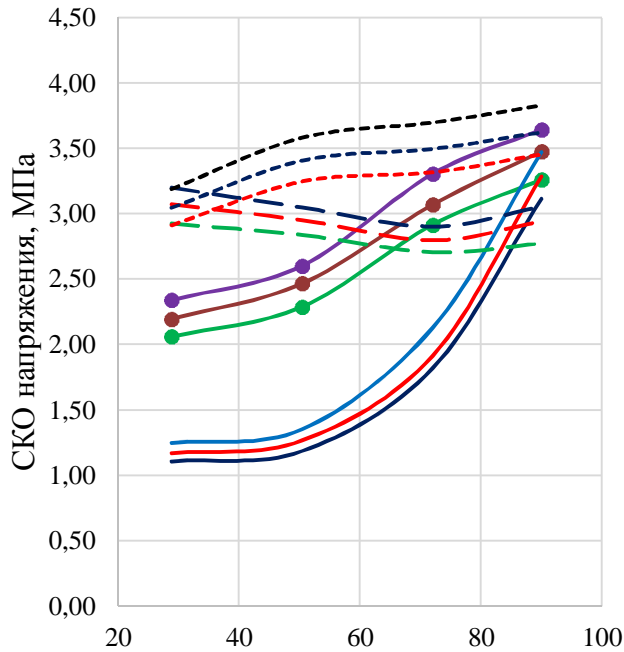
а)



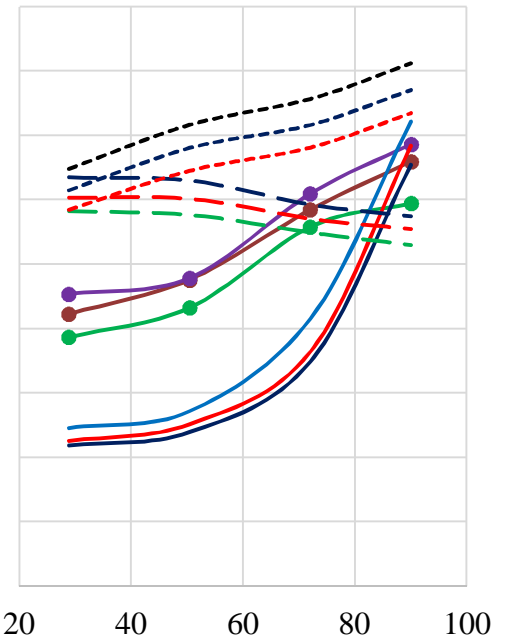
б)



в)



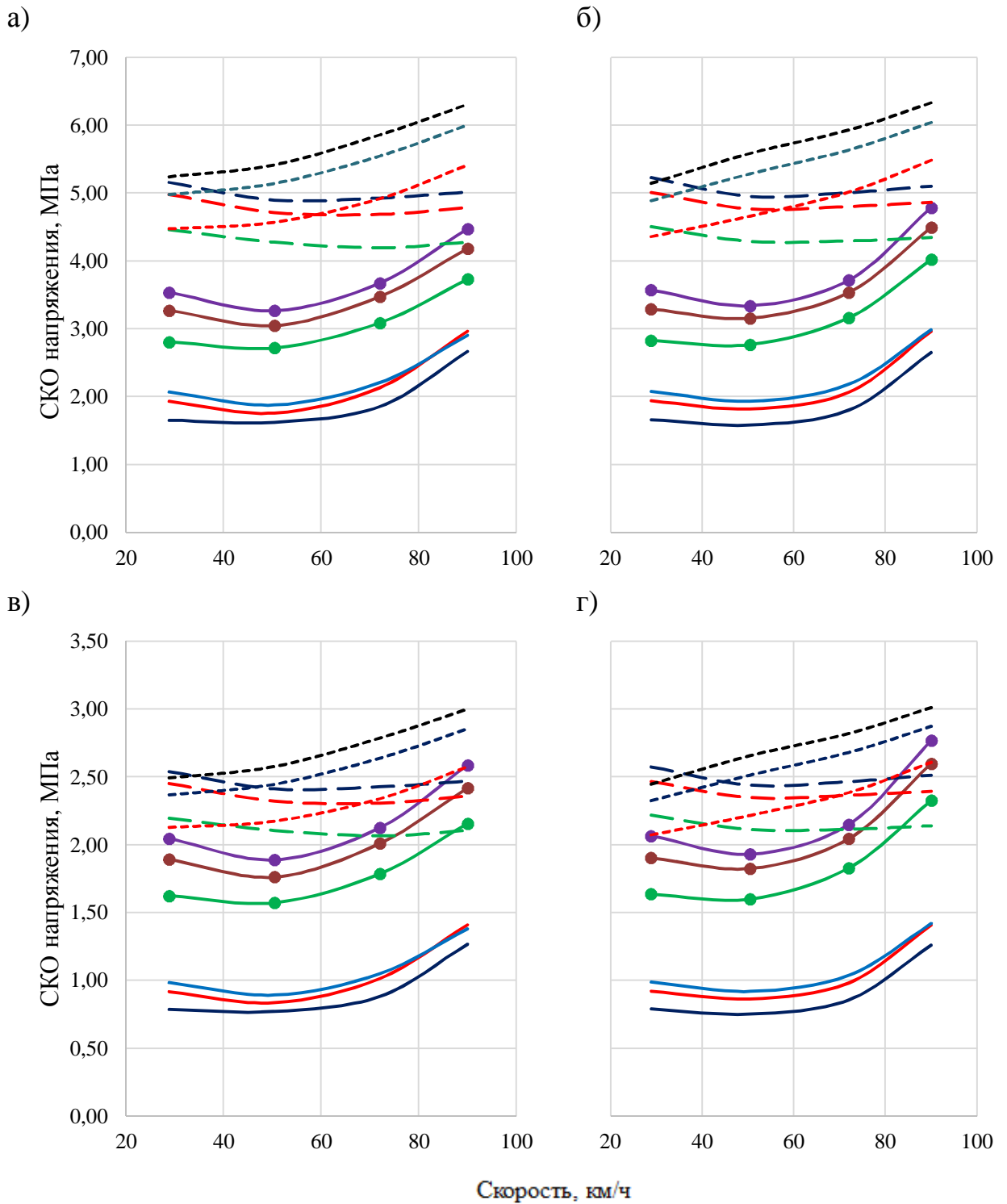
г)



Скорость, км/ч

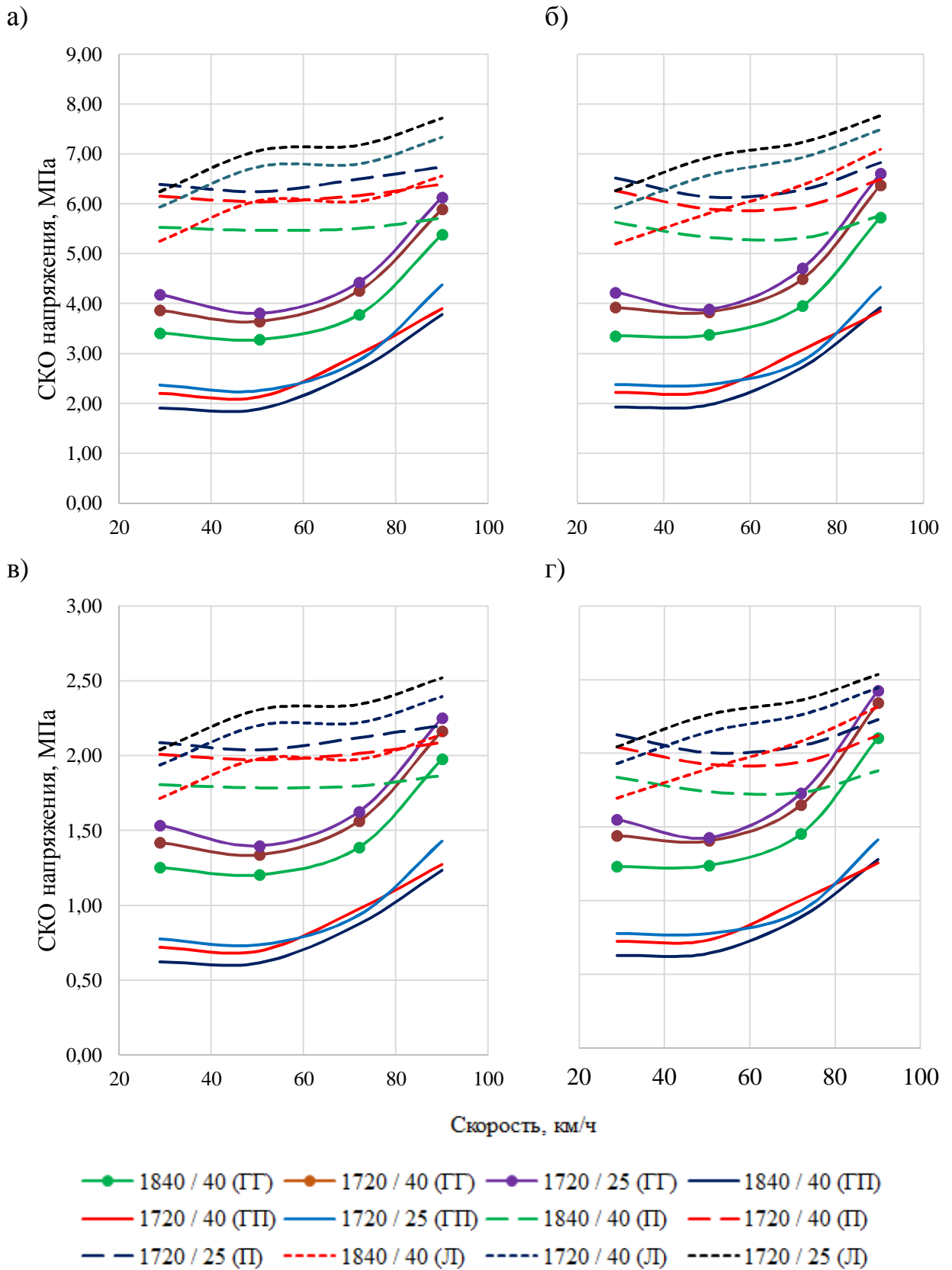
- 1840 / 40 (ГГ) ● 1720 / 40 (ГГ) ● 1720 / 25 (ГГ) — 1840 / 40 (ГП)
- 1720 / 40 (ГП) — 1720 / 25 (ГП) - - 1840 / 40 (П) - - 1720 / 40 (П)
- - 1720 / 25 (П) - - - 1840 / 40 (Л) - - - 1720 / 40 (Л) - - - 1720 / 25 (Л)

а – внутренняя нить наружная кромка; б – наружная нить наружная кромка;
 в – внутренняя нить внутренняя кромка; г – наружная нить внутренняя кромка;
 Рисунок 3.17 – График СКО кромочных напряжений в подошве рельса на прямом участке



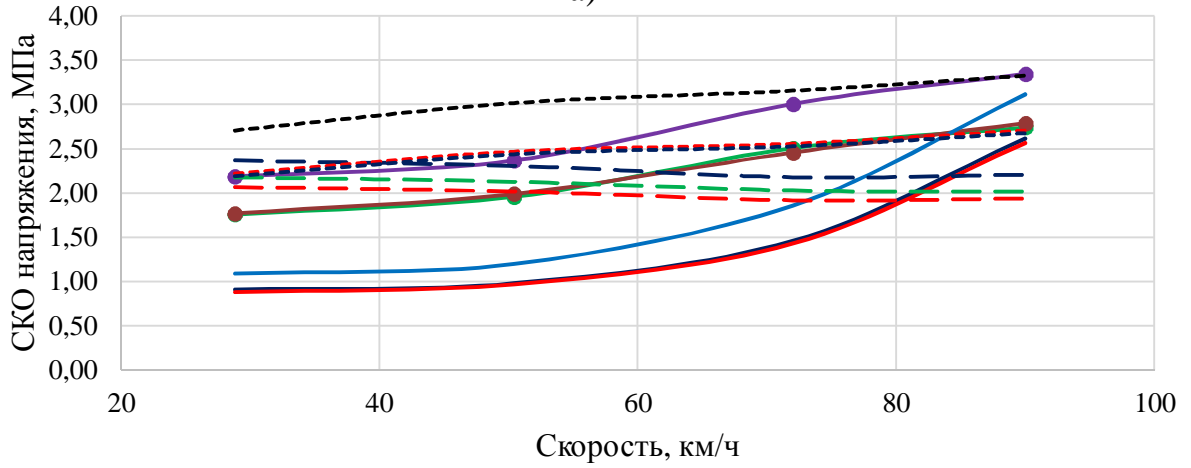
- 1840 / 40 (ГГ) ● 1720 / 40 (ГГ) ● 1720 / 25 (ГГ) — 1840 / 40 (ГП)
- 1720 / 40 (ГП) — 1720 / 25 (ГП) — 1840 / 40 (П) - - 1720 / 40 (П)
- - 1720 / 25 (П) - - - 1840 / 40 (Л) - - - 1720 / 40 (Л) - - - 1720 / 25 (Л)

а – внутренняя нить наружная кромка; б – наружная нить наружная кромка;
 в – внутренняя нить внутренняя кромка; г – наружная нить внутренняя кромка;
 Рисунок 3.18 – График СКО кромочных напряжений в подошве рельса на кривом участке радиусом 650 м.

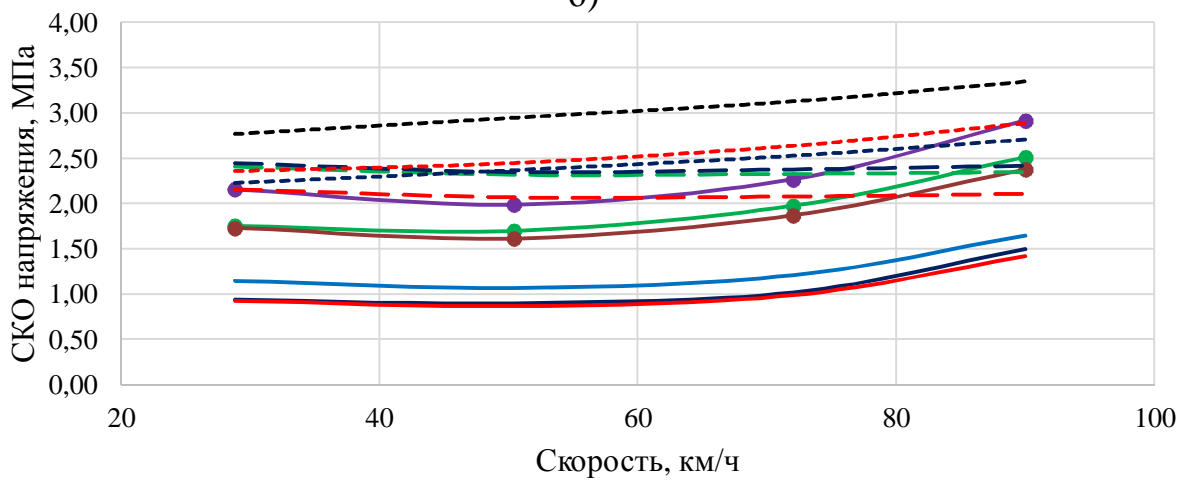


а – внутренняя нить наружная кромка; б – наружная нить наружная кромка;
 в – внутренняя нить внутренняя кромка; г – наружная нить внутренняя кромка;
 Рисунок 3.19 – График СКО кромочных напряжений в подошве рельса на кривом участке радиусом 350 м.

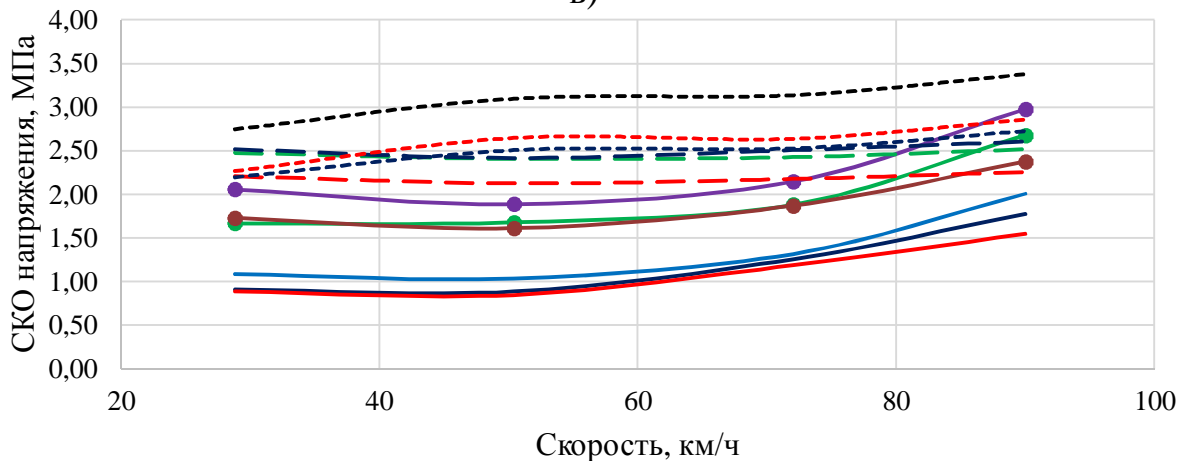
а)



б)



в)



- 2000 / 40 (ГГ) ● 1720 / 40 (ГГ) ● 1720 / 25 (ГГ) — 2000 / 40 (ГП)
- 1720 / 40 (ГП) — 1720 / 25 (ГП) — 2000 / 40 (П) - - 1720 / 40 (П)
- 1720 / 25 (П) - - - 2000 / 40 (Л) - - - 1720 / 40 (Л) - - - 1720 / 25 (Л)

а – прямая; б – кривая 650 м; в – кривая 350 м;

Рисунок 3.20 – График SKO напряжений на ОПЗП

Результаты выполненных расчетов силового воздействия на верхнее строение пути с типовой и облегченной конструкциями показали следующее.

Прямой участок / Локомотив

При движении локомотива со скоростью 28,8 км/ч на прямом участке средние значения вертикальных сил для всех конструкций находятся в пределах 109–110 кН, средние значения боковых сил для всех конструкций – в пределах 2–3 кН. Максимальное значение вертикальных сил равно 126,29 кН, а значение максимальной боковой силы равно 6,83 кН для типовой конструкции, а для облегченной конструкции эти значения соответственно равны 127,96 и 6,76 кН при толщине балласта 40 см и 125,62 и 6,62 кН при толщине балласта 25 см. Среднеквадратическое отклонение сил находится в пределах 6,44–6,63 кН для вертикальных и 1,84–1,93 кН для боковых, при этом значения среднеквадратического отклонения для типовой конструкции больше, чем для облегченной.

Средние значения кромочных напряжений больше на 7–15% для облегченной конструкции по сравнению со значениями для типовой конструкции при движении локомотива со скоростью 28,8 км/ч. Максимальное значение кромочных напряжений для пути с облегченной конструкцией составляет 71,59 МПа при толщине балласта 40 см и 76,49 МПа при толщине балласта 25 см. Это значение для типовой конструкции равно 67,18 МПа. Среднеквадратическое отклонение кромочных напряжений равно 3,53 МПа для типовой конструкции и 3,69 МПа для облегченной при толщине балласта 40 см и 3,86 МПа для облегченной конструкции при толщине балласта 25 см.

Максимальные значения напряжений на ОПЗП при обращении локомотива со скоростью 28,8 км/ч достигается в облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см и это значения равно 51,82 кПа, для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см это значения равно 41,66 кПа, а для типовой конструкции – 41,62 кПа. Значения среднеквадратических

отклонений напряжений на ОПЗП соответственно равны 2,71, 2,19 и 2,22 кПа.

Увеличение скорости движения не влияет на средние значения силовых воздействий. Изменения наблюдаются только в значениях среднеквадратических отклонений, так как с изменением скорости от 28,8 до 90 км/ч среднеквадратические отклонения вертикальных сил и кромочных напряжений увеличиваются на 18–20%, среднеквадратические отклонения боковых сил увеличивается на 51–53%, а среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП на 22–23% для всех конструкций пути.

Прямой участок / Грузенный грузовой вагон

На прямом участке максимальные значения средних вертикальных и средних боковых сил наблюдается при движении грузенного грузового вагона. Среднее значение вертикальных сил при движении грузенного грузового вагона со скоростью 28,8 км/ч по участку с типовой конструкцией равно 115,08 кН, а дисперсия вертикальных сил равна 5,03 кН. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 115,07 и 5,07 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см соответственно – 115,06 и 4,19 кН.

Максимальное значение кромочных напряжений при движении грузенного грузового вагона достигает 72,83 МПа для пути с типовой конструкцией, 77,77 МПа для пути с облегченной конструкцией с толщиной балласта 40 см и 83,31 МПа для пути с облегченной конструкцией с толщиной балласта 25 см.

При движении грузенного грузового вагона на прямом участке максимальное значение напряжений на ОПЗП наблюдается на участке пути с облегченной конструкцией с толщиной балласта 25 см и это значения равно 55,32 кПа, а напряжения на ОПЗП для типовой конструкции и облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см находится в пределах 45–46 кПа.

С увеличением скорости грузенного грузового вагона от 28,8 до 90 км/ч среднеквадратические отклонения по силовым воздействиям

увеличиваются для всех конструкций: среднеквадратические отклонения вертикальных сил и кромочных напряжений на 56–58%, среднеквадратические отклонения боковых сил на 36–50%, среднеквадратические отклонение напряжений на ОПЗП на 53–57%.

Прямой участок / Пассажирский вагон

При движении пассажирского вагона со скоростью 28,8 км/ч на прямом участке пути с типовой конструкцией средние значения вертикальных и боковых сил соответственно равны 61,38 и 3,07 кН, эти значения для облегченной конструкции пути с толщиной балласта 40 см соответственно равны 61,35 и 3,06 кН и для облегченной конструкции пути с толщиной балласта 25 см соответственно 61,37 и 3,05 кН. Среднеквадратические отклонения вертикальных сил по конструкциям пути соответственно равны 6,66, 6,55 и 6,35 кН, и боковых сил – 0,64, 0,62 и 0,61 кН.

При обращении пассажирского вагона по пути с типовой конструкцией максимальные значения кромочных напряжений и напряжений на ОПЗП достигают 41,49 МПа и 25,46 кПа, эти значения для пути с облегченной конструкцией с толщиной балласта 40 см достигают 41,1 МПа и 24,67 кПа, а для пути с облегченной конструкцией с толщиной балласта 25 см – 41,1 МПа и 24,67 кПа.

С увеличением скорости пассажирского вагона от 28,8 до 90 км/ч не наблюдается изменение значений средних вертикальных и боковых сил, а также и значений напряжений. Изменение наблюдается по их дисперсиям, так как среднеквадратические отклонения вертикальных сил и кромочных напряжений уменьшаются на 5–6%, среднеквадратические отклонения боковых сил увеличиваются на 37–42%, а среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП уменьшаются на 7–8% для всех конструкций.

Прямой участок / Порожний грузовой вагон

Наименьшее силовое воздействие на прямой участок пути оказывает порожний грузовой вагон. При обращении порожнего грузового вагона со скоростью 28,8 км/ч по типовой конструкции средние значения

вертикальных и боковых сил соответственно равны 28,14 и 0,81 кН, эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см равны соответственно 28,10 и 0,76 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 28,11 и 0,82 кН. Среднеквадратические отклонения вертикальных и боковых сил равны 2,52 и 1,11 кН для типовой конструкции, 2,49 и 0,91 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см, 2,48 и 1,04 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см.

При обращении порожнего грузового вагона по пути с типовой конструкцией максимальные значения кромочных напряжений и напряжений на ОПЗП достигают 18,32 МПа и 12,42 кПа, эти значения для пути с облегченной конструкцией с толщиной балласта 40 см достигают 19,48 МПа и 12,29 кПа, а для пути с облегченной конструкцией с толщиной балласта 25 см – 20,89 МПа и 15,15 кПа.

С увеличением скорости порожнего грузового вагона от 28,8 до 90 км/ч среднеквадратические отклонения по силовым воздействиям значительно увеличиваются. Среднеквадратические отклонения вертикальных сил, кромочных напряжений и напряжений на ОПЗП увеличиваются в 2,5–3 раза, а среднеквадратические отклонения боковых сил в 5–6 раз для всех конструкций.

Кривой участок радиусом 650 м / Локомотив

На кривом участке пути радиусом 650 м при обращении локомотива по типовой конструкции со скоростью 28,8 км/ч средние значения вертикальных сил, действующих на внутреннюю нить, больше, чем на наружную нить. На внутреннюю нить действует среднее значение вертикальной силы 114,27 кН, а на наружную – 103,65 кН. Эти же значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 114,39 и 103,57 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 114,49 и 103,49 кН. Значения среднеквадратических отклонений вертикальных сил по обеим нитям для всех конструкций пути находятся в пределах 6–7 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на

внутреннюю нить, уменьшаются на 24–25%, вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 27–28%, а среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям с увеличением скорости тоже увеличиваются на 20–26% для всех конструкций.

Среднее значение боковых сил, действующих на наружную нить кривого участка, равно 33,52 кН для типовой конструкции, 33,43 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см, и 33,42 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см. Среднеквадратические отклонения боковых сил соответственно равны 3,32, 3,26 и 3,25 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч боковые силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 42–43%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются значительно, в 2,2–2,4 раза для всех конструкций.

Значения максимальных кромочных напряжений, действующих на внутреннюю нить, при скорости 28,8 км/ч достигают 84,78 МПа, а на наружную нить – 77,64 МПа. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 98,1 и 89,78 МПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 105 и 95,95 МПа. С увеличением скорости до 90 км/ч значения кромочных напряжений по внутренней нити уменьшаются на 24–25%, а значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 24–28% для всех конструкций.

Максимальное значение напряжений, действующих на ОПЗП, при скорости 28,8 км/ч наблюдается при обращении локомотива по облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см и это значение равно 54,29 кПа, на основной площадке земляного полотна облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см значение напряжений составляет 43,63 кПа, наименьшее значение напряжений величиной 44,29 кПа наблюдается на основной площадке типовой конструкции. С увеличением скорости до 90 км/ч значения напряжений на ОПЗП увеличиваются на 15–22% для всех конструкций.

Кривой участок радиусом 650 м / Грузенный грузовой вагон

На кривом участке средние значения вертикальных сил при обращении грузенного грузового вагона по типовой конструкции со скоростью 28,8 км/ч составляют 123,86 кН по внутренней нити и 106,69 кН – по наружной нити. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 124,14 и 106,39 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 124,11 и 106,35 кН. Среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим рельсовым нитям находятся в пределах 4,5–5 кН для всех конструкций. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 24–25%, а вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 28–29%, среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим рельсовым нитям с увеличением скорости тоже увеличиваются на 27–42% для всех конструкций.

Наибольшая средняя боковая сила, действующая на наружную нить, при движении грузенного грузового вагона со скоростью 28,8 км/ч наблюдается на облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см и это значение равно 17,92 кН. Среднее значение боковой силы для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см составляет 16,75 кН, а для типовой конструкции – 16,3 кН. Среднеквадратические отклонения боковых сил для тех же конструкций соответственно равны 4,96, 4,91 и 5,13 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч боковые силы, действующие на наружную нить, значительно увеличиваются на 56–74%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются на 42–45% для всех конструкций.

Среднее значение кромочных напряжений, действующих на внутреннюю нить, при скорости 28,8 км/ч составляет 72,33 МПа и на наружную нить – 62,3 МПа. Эти же значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 84,3 и 72,24 МПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 90,35 и 77,42 МПа. Среднеквадратические отклонения кромочных напряжений для всех

конструкций находятся в пределах 2,8–3,6 МПа. С увеличением скорости до 90 км/ч средние значения кромочных напряжений по внутренней нити уменьшаются на 24–25%, средние значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 28–29%, а среднеквадратические отклонения кромочных напряжений увеличиваются на 27–42% для всех конструкций.

Среднее значение напряжений при скорости 28,8 км/ч, действующих на ОПЗП типовой конструкции, составляет 44,75 кПа, это значение для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см равно 44,14 кПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 53,59 кПа. Среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП для всех конструкций находятся в пределах 1,5–2,5 кПа. С увеличением скорости до 90 км/ч средние значения напряжений на ОПЗП увеличиваются на 11–12%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются на 35–43% для всех конструкций.

Кривой участок радиусом 650 м / Пассажирский вагон

При обращении пассажирского вагона по кривому участку пути с типовой конструкцией со скоростью 28,8 км/ч на внутреннюю нить действует вертикальная сила, среднее значение которой равно 63,96 кН, а на наружную нить – 58,86 кН. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 64,17 и 58,63 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 64,33 и 58,47 кН. Для всех конструкций среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обоим нитям находятся в пределах 6,5–7,5 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 25%, вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 28–29%, а среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обоим нитям уменьшаются на 3–4% для всех конструкций.

Среднее значение боковых сил, действующих на наружную нить кривого участка, равно 18,5 кН для типовой конструкции, для облегченной

конструкции с толщиной балласта 40 см – 18,24 кН и для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 18,09 кН. Среднеквадратические отклонения боковых сил соответственно равны 2,14, 2,14 и 2,13 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч боковые силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 18–26%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются значительно, на 76–79% для всех конструкций.

Значения максимальных кромочных напряжений, действующих на внутреннюю нить при скорости 28,8 км/ч, составляют 51,63 МПа, а на наружную нить – 48,53 МПа. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 59,69 и 55,66 МПа, для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 63,65 и 59,19 МПа. С увеличением скорости до 90 км/ч значения кромочных напряжений по внутренней нити уменьшаются на 25%, а значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 28–29% для всех конструкций. Среднеквадратические отклонения по обеим нитям уменьшается на 3–4%.

Среднее значение напряжений, действующих на ОПЗП типовой конструкции при скорости 28,8 км/ч, составляет 21,79 кПа, это значение для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см равно 20,33 кПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 23,78 кПа. Среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП для всех конструкций находятся в пределах 2,1–2,5 кПа. С увеличением скорости до 90 км/ч средние значения напряжений на ОПЗП увеличиваются на 16–18%, а среднеквадратические отклонения уменьшаются на 1–3% для всех конструкций.

Кривой участок радиусом 650 м / Порожный грузовой вагон

На кривом участке пути среднее значение вертикальных сил при обращении порожнего грузового вагона по типовой конструкции со скоростью 28,8 км/ч составляет 29,16 кН по внутренней нити и 27,17 кН – по наружной нити. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 29,18 и 27,15 кН, а для облегченной

конструкции с толщиной балласта 25 см – 29,16 и 27,17 кН. Среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим рельсовым нитям для всех конструкций находятся в пределах 2,57–2,59 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 17%, вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 19%, среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям увеличиваются на 40–61% для всех конструкций.

Средняя боковая сила, действующая на наружную нить при движении порожнего грузового вагона со скоростью 28,8 км/ч по типовой конструкции, составляет 4,25 кН. Среднее значение боковой силы для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см составляет 3,82 кН, а для конструкции с толщиной балласта 25 см – 3,99 кН. Среднеквадратические отклонения боковых сил по конструкциям соответственно равны 2,0, 2,07 и 2,05 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч боковые силы, действующие на наружную нить типовой конструкции, уменьшаются на 4%, облегченной конструкции увеличивается на 25%, а среднеквадратические отклонения для всех конструкций увеличиваются на 86–94%.

Среднее значение кромочных напряжений, действующих на внутреннюю нить при скорости 28,8 км/ч, составляет 18,78 МПа, а на наружную нить – 17,5 МПа для типовой конструкции пути. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 21,85 и 20,33 МПа, для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 23,41 и 21,81 МПа. Среднеквадратические отклонения кромочных напряжений по конструкциям находятся в пределах 1,65–2,08 МПа. С увеличением скорости до 90 км/ч средние значения кромочных напряжений по внутренней нити уменьшаются на 17%, средние значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 19%, а среднеквадратические отклонения кромочных напряжений по обеим нитям увеличиваются на 41–62% для всех конструкций.

Среднее значение напряжений, действующих на ОПЗП типовой конструкции при скорости 28,8 км/ч, составляет 10,62 кПа, это значение для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см равно 10,47 кПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 12,86 кПа. Среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП для всех конструкций находятся в пределах 0,94–1,15 кПа. С увеличением скорости до 90 км/ч средние значения напряжений на ОПЗП увеличиваются на 11%, а среднеквадратические отклонения увеличивается на 43–60% для всех конструкций.

Кривой участок радиусом 350 м / Локомотив

При обращении локомотива по кривому участку пути с типовой конструкцией со скоростью 28,8 км/ч на наружную нить действует вертикальная сила, среднее значение которой 103,91 кН, а на внутреннюю нить – 115,77 кН. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 103,66 кН и 116,05 кН, а для облегченной конструкции толщиной балласта 25 см – 103,62 кН и 116,15 кН. Для всех конструкций среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям находятся в пределах 6–7 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 49–50%, вертикальные силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 42%, а среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям увеличиваются на 24–36% для всех конструкций.

Среднее значение боковых сил, действующих на внутреннюю нить кривого участка, равно 34,93 кН для типовой конструкции, 35,0 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см и 35,03 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см. Среднеквадратические отклонения боковых сил соответственно равны 2,02; 1,98 и 1,95 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч боковые силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 42%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются значительно, на 24–36% для всех конструкций.

Значение максимального кромочного напряжения, действующего на наружную нить типовой конструкции при скорости 28,8 км/ч, составляет 93,88 МПа и 102,97 МПа – на внутреннюю нить. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны на 108,52 и 119,67 МПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 116,0 и 128,19 МПа. С увеличением скорости до 90 км/ч значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 50%, значения кромочных напряжений по внутренней нити уменьшаются на 42%, а среднеквадратические отклонения по обеим нитям увеличиваются на 24–37% для всех конструкций.

Среднее значение напряжений, действующих на ОПЗП типовой конструкции при скорости 28,8 км/ч, составляет 38,89 кПа, это значение для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см равно 38,60 кПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 48,04 кПа. Среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП для всех конструкций находятся в пределах 2,2–2,8 кПа. С увеличением скорости до 90 км/ч для всех конструкций средние значения напряжений на ОПЗП увеличиваются на 33–34%, а среднеквадратические отклонения на 23–26%.

Кривой участок радиусом 350 м / Грузенный грузовой вагон

На кривом участке радиусом 350 м при обращении грузенного грузового вагона по типовой конструкции со скоростью 28,8 км/ч среднее значение вертикальных сил, действующих на наружную нить, составляет 99,75 кН, а на внутреннюю нить – 130,48 кН. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 99,69 и 130,56 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см 99,77 и 130,51 кН. Значения среднеквадратических отклонений вертикальных сил по обеим нитям для всех конструкций находятся в пределах 4,5–5,0 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 58%, вертикальные силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 42%. Среднеквадратические отклонения вертикальных

сил по обеим нитям с увеличением скорости тоже увеличиваются на 47–71% для всех конструкций.

Среднее значение боковых сил, действующих на внутреннюю нить кривого участка, равно 38,98 кН для типовой конструкции, 39,04 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см, и 38,97 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см. Среднеквадратические отклонения боковых сил соответственно равны 1,44, 1,42 и 1,43 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч боковые силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 44–45%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются значительно, на 46–57% для всех конструкций.

Среднее значение кромочных напряжений при скорости 28,8 км/ч для типовой конструкции составляет по наружной нити 73,09 МПа и по внутренней – 95,61 МПа. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 84,94 и 111,24 МПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 91,13 и 119,21 МПа. Среднеквадратические отклонения кромочных напряжений по обеим нитям находятся в пределах 3,3–4,3 МПа. С увеличением скорости до 90 км/ч значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 58%, по внутренней нити уменьшаются на 42%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются на 47–71% по обеим нитям для всех конструкций.

Максимальное значение напряжений, действующих на ОПЗП при скорости 28,8 км/ч, наблюдается при обращении груженого грузового вагона по облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см и это значение равно 61,43 кПа, на основной площадке земляного полотна типовой конструкции значение напряжений составляет 51,29 кПа, наименьшее напряжение величиной 48,46 кПа наблюдается на основной площадке облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см. С увеличением скорости до 90 км/ч значения напряжений на ОПЗП для всех конструкций увеличиваются на 13–23%.

Кривой участок радиусом 350 м / Пассажирский вагон

На кривом участке пути среднее значение вертикальных сил при обращении пассажирского вагона по типовой конструкции со скоростью 28,8 км/ч составляет 56,96 кН по наружной нити и 66 кН – по внутренней нити. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 56,84 и 66,11 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 56,59 и 66,36 кН. Среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям для всех конструкций находятся в пределах 6,6–7,3 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 50%, вертикальные силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 40%, среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям увеличиваются на 2–5% для всех конструкций.

Средняя боковая сила, действующая на внутреннюю нить при движении пассажирского вагона со скоростью 28,8 км/ч по типовой конструкции, составляет 19,1 кН. Среднее значение боковой силы для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см составляет 19,13 кН, а для конструкции с толщиной балласта 25 см – 19,2 кН. Среднеквадратические отклонения боковых сил для всех конструкций находятся в пределах 1,7–2,0 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч боковые силы, действующие на внутреннюю нить, для всех конструкций уменьшаются на 41%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются на 10–14%.

Среднее значение кромочных напряжений при скорости 28,8 км/ч составляет по наружной нити 44,27 МПа и по внутренней нити 51,29 МПа для типовой конструкции. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 51,36 и 59,74 МПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 54,82 и 64,29 МПа. Среднеквадратические отклонения кромочных напряжений для всех конструкций для обеих нитей находятся в пределах 5,5–6,6 МПа. С

увеличением скорости до 90 км/ч для всех конструкций средние значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 50%, по внутренней нити уменьшаются на 40%, а среднеквадратические отклонения по обеим нитям увеличиваются на 3–5%.

Среднее значение напряжений, действующих на ОПЗП типовой конструкции при скорости 28,8 км/ч, составляет 22,48 кПа, это значение для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см равно 20,94 кПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 24,52 кПа. Среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП для всех конструкций находятся в пределах 2,21–2,52 кПа. С увеличением скорости до 90 км/ч средние значения напряжений на ОПЗП увеличиваются на 28–29%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются на 2–4% для всех конструкций.

Кривой участок радиусом 350 м / Порожный грузовой вагон

При обращении порожнего грузового вагона по кривому участку пути с типовой конструкцией со скоростью 28,8 км/ч средние значения вертикальных сил составляют по наружной нити 26,15 кН, по внутренней нити – 30,19 кН. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 26,15 и 30,2 кН, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 26,15 и 30,19 кН. Для всех конструкций среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям находятся в пределах 2,4–2,5 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч вертикальные силы, действующие на наружную нить, увеличиваются на 39%, вертикальные силы, действующие на внутреннюю нить, уменьшаются на 31%, а среднеквадратические отклонения вертикальных сил по обеим нитям увеличиваются на 73–98% для всех конструкций.

Среднее значение боковых сил, действующих на внутреннюю нить кривого участка, равно 9,07 кН для типовой конструкции, 9,08 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см и 9,09 кН для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см. Среднеквадратические

отклонения боковых сил соответственно равны 0,83; 0,77 и 0,75 кН. С увеличением скорости до 90 км/ч для всех конструкций боковые силы уменьшаются на 39–40%, а среднеквадратические отклонения увеличиваются на 76–84%.

Значения максимальных кромочных напряжений при скорости 28,8 км/ч составляют по наружной нити 25,09 МПа и по внутренней нити 28,28 МПа. Эти значения для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см соответственно равны 29,13 и 32,84 МПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 31,25 и 35,2 МПа. С увеличением скорости до 90 км/ч для всех конструкций значения кромочных напряжений по наружной нити увеличиваются на 39%, по внутренней нити уменьшаются на 31%, а среднеквадратические отклонения по обоим нитям увеличиваются на 73–98%.

Среднее значение напряжений, действующих на ОПЗП типовой конструкции при скорости 28,8 км/ч, составляет 10,99 кПа, это значение для облегченной конструкции с толщиной балласта 40 см равно 10,83 кПа, а для облегченной конструкции с толщиной балласта 25 см – 13,31 кПа. Среднеквадратические отклонения напряжений на ОПЗП для всех конструкций находятся в пределах 0,8–1,1 кПа. С увеличением скорости до 90 км/ч для всех конструкций средние значения напряжений на ОПЗП увеличиваются на 14–20%, а среднеквадратические отклонения на 74–96%.

3.5 Выводы по главе 3

1. В программном комплексе УМ при моделировании был использован метод подсистем и метод параметризации расчетных параметров. Расчетные параметры составляющих подсистем были приняты на основе анализа конструкторской и технической документации на объекты моделирования. С помощью внедрения в модель твердотельных объектов

была реализована методика трехмерного моделирования, позволяющая анимировать процесс расчета.

2. Разработана модель железнодорожного пути, учитывающая геометрические и жесткостные особенности.

3. Выполнены расчеты вертикальных и боковых сил, действующих на путь от подвижного состава при обращении его по разным конструкциям на прямом участке и в кривых участках радиусами 650 и 350 м.

4. По результатам расчетов на модели при обращении подвижного состава на прямом участке пути средние вертикальные и боковые силы на облегченной конструкции по отношению к вертикальным и боковым силам на участке пути с типовой конструкцией составили 16%, соотношение кромочных напряжений находится в пределах 7–15%.

5. При обращении подвижного состава на кривом участке процентное соотношение средних вертикальных и боковых сил на облегченной конструкции по отношению к вертикальным и боковым силам на участке пути типовой конструкции достигает 17%, соотношение кромочных напряжений находится в пределах 17–25%.

6. Полученные результаты сил взаимодействия пути и подвижного состава могут быть использованы для определения значений нагруженности элемента или узла верхнего строения облегченной конструкции пути – d_i , для прогнозирования их выхода из строя.

4 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ

4.1 Расчёт затрат на текущее содержание и ремонты путевой инфраструктуры

Жизненный цикл объекта – совокупность явлений и процессов, повторяющихся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации [130].

Для формирования финансовой модели издержек на протяжении жизненного цикла железнодорожного пути необходимо определить затраты на его содержание. Наряду с этим ресурсные и стоимостные показатели могут использоваться для решения задач выбора оптимального графика технического обслуживания линии. Для определения затрат на текущее содержание и ремонты пути с облегченными конструкциям в данной работе будем использовать комплекс Нейроэксперт [131].

Стоимостная модель базируется на учёте прямых затрат, что не исключает возможности при предоставлении итоговой программы содержания пути учитывать также накладные расходы среднесетевого, регионального, либо линейного уровня. «Итоговой формой представления затрат является модель стоимости жизненного цикла, используемая в процессе экономического анализа с целью оценки суммарных затрат на проектирование, строительство, эксплуатацию, в том числе техническое обслуживание, ремонт и утилизацию объекта» [51].

Структура затрат $C^{СЖЦ}$, образующаяся на протяжении жизненного цикла объекта путевой инфраструктуры, включает в себя стоимость разработки,

приобретения, эксплуатации и утилизации рассматриваемого объекта инфраструктуры:

$$C^{СЖЦ} = C^{\text{разработки}} + C^{\text{приобретения}} + C^{\text{установки}} + C^{\text{владения}} + C^{\text{утилизации}}, \quad (4.1)$$

где $C^{\text{разработки}}$ – затраты, связанные с разработкой нормативной, технической и технологической документации;

$C^{\text{приобретения}}$ – затраты, связанные с приобретением материалов верхнего строения пути, их транспортировкой и заготовительно-складскими расходами;

$C^{\text{владения}}$ – затраты, связанные с текущим содержанием, плановыми и внеплановыми ремонтами в период эксплуатации верхнего строения пути;

$C^{\text{утилизации}}$ – затраты, связанные со снятием после выработки ресурса верхнего строения пути и его частичной утилизацией.

$C^{\text{установки}}$ – затраты, непосредственно связанные с реконструкцией (модернизацией) и ремонтами железнодорожного пути. Они могут быть представлены в виде:

$$C^{\text{установки}} = C^{\text{рем.}} + C^{\text{М}} + C^{\text{пр.п.}} + C^{\text{н.д.}}, \quad (4.2)$$

где $C^{\text{рем.}}$ – сметная стоимость работ по ремонту пути;

$C^{\text{М}}$ – стоимость мероприятий, необходимых для обеспечения пропуска поездов при организации работ (укладка дополнительных съездов, организация временных блокпостов, оборудование участка двухсторонней автоблокировкой, отмена предупреждений об ограничении скорости движения поездов на прилегающих перегонах и соседнем пути и т.д.);

$C^{\text{пр.п.}}$ – стоимость времени остановки движения на участке при организации работ (потери поездо-часов при проведении ремонта пути и ограничения скорости движения поездов после и во время ремонта пути, дополнительные затраты на расход энергоресурсов при разгоне-торможении поездов, а также затраты на пропуск части поездов по обходному маршруту);

$C^{н.д.}$ – размер недополученной прибыли вследствие невозможности пропуска планового количества поездов по обходным маршрутам на однопутных и многопутных линиях и невозможности дополнительного пропуска поездов по неправильному пути в период ремонтно-путевых работ.

Комплекс Нейроэксперт способен выполнять оптимальную схему производства ремонтно–путевых работ по различным стоимостным критериям, связанным с жизненным циклом объекта путевой инфраструктуры [51].

Основой для группировки прямых затрат на текущее содержание по статьям расходов является Классификатор статей бухгалтерского учета затрат АО «УТЙ». Методика дает возможность расчёта следующих статей расходов:

- *«Работы по текущему содержанию верхнего строения пути;*
- *Работы по текущему содержанию земляного полотна и искусственных сооружений;*
- *Работы по планово–предупредительной выправке пути и стрелочных переводов;*
- *Диагностика пути и искусственных сооружений с использованием средств и станций;*
- *Прочие работы по хозяйству пути;*
- *Содержание средств и станций диагностики пути и искусственных сооружений;*
- *Рельсосварочные работы в пути» [51].*

«Определение прямых затрат на текущую эксплуатацию пути осуществляется по следующим элементам расходов:

- затраты на оплату труда с учетом отчислений в социальный фонд, а также взносов по договорам негосударственного пенсионного обеспечения;
- материальные затраты, включающие расходы на материалы, топливо, электроэнергию и прочие материальные затраты;
- прочие затраты» [51].

В системе Нейроэксперт на основе расчётных объёмов и сроков замены элементов пути определяются прямые затраты на текущую эксплуатацию железнодорожного пути, на основе чего формируется модель производства работ. Прямые затраты определяются по сформированной модели ресурсным методом, при этом «часть затрат может быть определена с применением утвержденных нормативов расхода ресурсов, либо по фактическим расходам ресурсов за сопоставимый временной период, предшествующий плановому периоду» [51]. При этом система Нейроэксперт является адаптируемой к конкретному участку сети в сфере задач ценообразования, поскольку делает возможным учёт среднесетевых, региональных и линейных затрат по видам работ текущего содержания пути [51].

Прямые производственные затраты $Z_{\text{п}}$ по элементам по статье «Работы по текущему содержанию верхнего строения пути» рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{пл}} + B_{\text{нп}} + O_{\text{сн}} + M_{\text{тсп}} + T_{\text{тсп}} + \mathcal{E}_{\text{тсп}} + M_{\text{пр}} + Z_{\text{пр}}, \quad (4.3)$$

где $Z_{\text{пл}}$ – затраты на оплату труда работников, занятых на выполнении работ по текущему содержанию верхнего строения пути, тыс. сум;

$B_{\text{нп}}$ – сумма взносов по договорам негосударственного пенсионного обеспечения, заключаемых в пользу работников, тыс. сум;

$O_{\text{сн}}$ – отчисления на социальные нужды, включающие в себя взносы в пенсионный фонд, фонды медицинского и социального страхования и сумму страховых взносов на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, тыс. сум;

$M_{\text{тсп}}$ – затраты на материалы на текущее содержание верхнего строения пути, тыс. сум;

$T_{\text{тсп}}$ – затраты на топливо, тыс. сум;

$\mathcal{E}_{\text{тсп}}$ – расходы на электроэнергию, тыс. сум;

$M_{пр}$ – прочие материальные затраты, включающие расходы на оплату счетов аутсорсинговым компаниям и сторонним организациям, выполняющим по договорам работы по текущему содержанию верхнего строения пути, тыс. сум;

Ресурсный метод в системе Нейроэксперт основан на алгоритмах определения стоимости в текущих (прогнозируемых) ценах и тарифах по элементам затрат, возникающих при прогнозировании выхода из строя элементов пути. Калькулирование ведется на основе выраженных в натуральных измерителях потребностей в материалах (по учтенной номенклатуре), дополнительно вводимых данных о расстояниях и способах доставки материалов на место строительства, расходе энергоносителей, длительности эксплуатации строительных машин и механизмов на основе нормативной машиноемкости, затратах труда рабочих, «определенной (в текущих ценах) заработной плате на основе нормативной трудоемкости, т.е. калькулирование на основе потребных ресурсов» [51]. Инфляционные процессы могут затронуть и затраты, сопровождающие конструкцию. В целях правильного их учета и внесения используется ресурсно-индексный метод. Ключевым преимуществом данного метода над остальными является максимальное использование показателей расходных материалов, а также трудовых ресурсов в настоящем выражении. Тогда как стоимостные показатели повышаются с большей скоростью по отношению к приведенным выше во времени. Данный метод также дает возможность быстро учитывать показатели заработной платы и расходы на ресурсы при преобразовании стоимости строительства [51].

4.2 Моделирование накопления повреждаемости пути и определение стоимости его владения и установки

4.2.1 Алгоритм определения значений d_i

«В качестве основных узлов и элементов, для которых будем вести прогнозирование, принимаются: рельсы, узлы скреплений, шпалы, балластный слой, основная площадка земляного полотна. Основные целевые прогнозы будут определяться для неисправностей и отказов, связанных с исчерпанием ресурса в процессе эксплуатации, т.е. зависящих от циклического воздействия подвижного состава на рассматриваемые элементы и узлы.

Нагруженностью элемента или узла по какому-либо отказу или неисправности является значение d_i , которое определяет меру исчерпания его ресурса по этому отказу или неисправности. Основным фактором, определяющим значение нагруженности – это нагрузка от подвижного состава, передаваемая на рельс, и далее на все остальные элементы и узлы верхнего строения пути, а значение d_i является функцией от нагрузки.

Целевой прогноз будет осуществляться для следующих отказов и неисправностей:

- выход рельсов по дефектам контактно-усталостного происхождения;
- выход из строя узлов скреплений;
- выход шпал из строя;
- накопление неисправностей типа просадка, перекося, уровень;
- накопление неисправностей по ширине колеи;
- накопление неисправностей по рихтовке;
- накопление неисправностей в балластном слое и на основной площадке земляного полотна» [142].

«На сегодняшний день в теории надежности значение $(\sigma)^2$ является показателем повреждаемости, рассчитываемое для металлов и других

материалов со свойствами сплошного тела. Следует отметить, что здесь σ выступает в качестве напряжения в цикле. В свою очередь, напряжения являются функцией от сил, передаваемых на объект, и его размеров. Если рассматривать узлы и элементы одинаковой формы и размера, то значение напряженности будет определять значение силы, действующей на элемент или узел, в степени» [142]

$$d_i = [f(F)^2]^{l/2}, \quad (4.4)$$

где F – вектор сил или напряжений, действующих на элемент или узел в одном цикле нагружения;

l – степенной коэффициент, учитывающий условия работы и физические характеристики элемента.

4.2.2 Определение значений $[D_i]$

«Значения ресурса $[D_i]$ могут быть определены на основе математического моделирования, результатов лабораторных исследований или статистического анализа работы конструкции в реальных условиях эксплуатации.

Общий алгоритм определения величины следующий:

1. Задается значение d_i , характеризующее появление рассматриваемого отказа или неисправности для i -го элемента или узла. При выполнении математического моделирования или лабораторных исследований значение d_i задается в модели или на стенде на основе имеющихся данных о вертикальных или боковых силах и напряжениях. При выполнении статистического анализа фактических отказов нагруженность на анализируемом участке определяется на основе натурных измерений воздействия подвижного состава или по результатам моделирования, учитывающего особенности участка.

2. Определяется число циклов нагружения, при котором наступил отказ или неисправность для i -го узла или элемента. При математическом моделировании или лабораторных экспериментах расчеты или испытания проводятся до наступления состояния, соответствующего отказу; при статическом анализе фактических отказов число циклов определяется на основе данных о пропущенном тоннаже с учетом типов обращающегося подвижного состава, осевых нагрузок и грузонапряженности по следующей формуле» [142]:

$$[n_i] = \frac{T_i}{P_i}, \quad (4.5)$$

где T_i – тоннаж, пропущенный по участку наблюдений, до появления рассматриваемого отказа или неисправности для i -ого элемента;

P_i – средняя осевая нагрузка на участке наблюдений.

$$\bar{P}_i = \sum_{j=1}^m P_j \times g_j, \quad (4.6)$$

где P_j – осевая нагрузка подвижной единицы j -го типа, тс;

g_j – доля подвижных единиц j -го типа в общем поездопотоке.

3. Значение $[D_i]$ рассчитывается на основе полученных значений d_i и $[n_i]$

$$[D_i] = d_i \times [n_i]. \quad (4.7)$$

«По результатам полученных массивов значений $[D_i]$ для различных отступлений и отказов в узлах и элементах верхнего строения пути формируется доверительная статистика значений $[D_i]$ для дальнейшего применения при прогнозировании» [142].

При определении значений ресурса, на основе изменения состояния пути по результатам прохода мобильных путеизмерительных средств и иных методов и средств диагностики, анализ проводится для решения двух задач:

1-й этап – определение фактического значения ресурса $[D_i]$ по рассматриваемому отказу или неисправности для i -го элемента;

2-й этап – определение остаточного ресурса DD_i по рассматриваемому отказу или неисправности для i -го элемента.

Результаты 1-го этапа используются для выполнения дальнейших прогнозных расчетов. Результаты 2-го этапа используются для оценки качества текущего содержания пути.

Порядок выполнения анализа 1-го этапа.

Анализ выполняется на основе ПУ-32, полученного после прохода путеизмерительных средств по опытному участку, и содержит:

- определение повреждаемости d_i на основе положений раздела 4.2.1 и базы паспортных данных;

- определение n_i для каждой даты измерений по формуле (4.5);

- определение, по результатам анализа баз данных для каждой даты измерений, количества неисправностей геометрии колеи и элементов верхнего строения пути различной степени t_i , шт./км, в соответствии с существующей оценкой состояния пути (вместо градаций по степеням можно использовать градацию по амплитудам отступлений, что более оптимально, т.к. позволяет в дальнейшем перейти на любые классы линий);

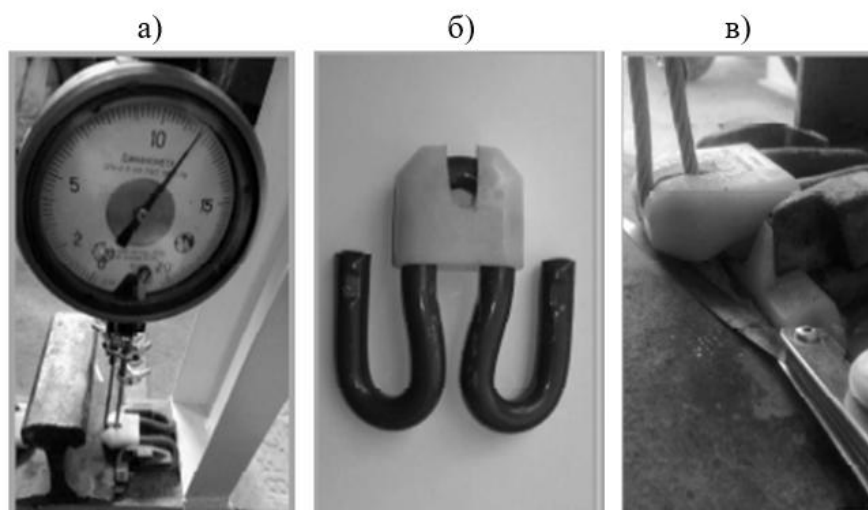
- определение для каждой неисправности и отступления значения D_i .

4.2.3 Анализ работы железнодорожного пути со скреплениями Pandrol

Изучение особенностей промежуточного рельсового скрепления Pandrol Fastclip с оценкой влияния скрепления на эксплуатационные параметры бесстыкового пути в условиях Узбекистана особенно важно. Ряд работ ученых и специалистов ТашИИТа посвящены изучению технических параметров самого скрепления и работы железнодорожного пути со шпалами BF70 и скреплениями Pandrol Fastclip в целом.

А. Н. Овчинников и соавт. «для установления величины прижимного усилия клеммы скрепления Pandrol Fastclip на подошву рельса были

проведены экспериментальные исследования. Методика исследований предполагала установление прижимного усилия путем его измерения динамометром при приложении направленной вверх вертикальной нагрузки, рисунок 4.1. Для возможности приложения этой нагрузки к точке контакта клеммы и подошвы рельса, прижимной изолятор клеммы был насквозь пропилен на ширину 8 мм, рисунок 4.1 б. Величина прижимного усилия фиксировалась в момент отрыва прижимного изолятора клеммы от подошвы рельса. Нагрузка увеличивалась с шагом 0,2 кН. Момент отрыва изолятора от подошвы рельса устанавливался с помощью металлического щупа толщиной 0,1 мм. Измерения, результаты которых приведены в таблице 1.7, были выполнены на 10 клеммах» [132].



Примечание – а) общая схема; б) клемма с пропилом прижимного изолятора; в) измерение зазора между изолятором клеммы и подошвой рельса

Рисунок 4.1 – Измерение прижимного усилия клемм FC 1501 рельсового скрепления Pandrol Fastclip

Таблица 4.1 – Величина прижимного усилия клемм FC 1501 [132]

№№ измерений	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Прижимное усилие, кН	1,16	1,21	1,14	1,2	1,14	1,14	1,2	1,19	1,22	1,12

«На основании полученных результатов в ходе эксперимента авторы сделали вывод, что необходимая сила прижимного усилия клемм скреплений Pandrol Fastclip на подошву рельса обеспечивается, и при соблюдении правил

текущего содержания пути скрепления Pandrol Fastclip обеспечивают надежную работу рельсовых плетей» [132].

Для оценки изменения фактического прижимного усилия скреплений Pandrol Fastclip за период его эксплуатации, специалистами ТашИИТа была разработана конструкция устройства для измерения силы прижатия клеммы скрепления к рельсу [133].

В работе [134] приводятся результаты испытания шпал типа BF70 на трещиностойкость. В таблице 4.2 представлены результаты, полученные в ходе испытания шпал типа BF70 на трещиностойкость.

Таблица 4.2 – Результаты испытания шпал типа BF70 на трещиностойкость [17]

№	Параметр	Значение параметра для шпал					
		1	2	3	4	5	6
1	F_C , кН	54,4	55,6	53,9	-	-	-
2	F_R , кН	-	-		328	291	311

Примечание: F_C и F_R – испытательные нагрузки, при которых появляются трещины соответственно в среднем и подрельсовом сечениях шпалы. Согласно O'zDSt EN 13230–1,2 нормативная величина параметров соответственно равна 28 и 128 кН

В работе [135] были определены сдвигающие усилия одиночных шпал типа BF70 в направлении, перпендикулярном оси пути. Фрагмент испытания представлен на рисунке 4.2.

Исследования выполняли при ширине плеча балластной призмы 25, 35 и 45 см. В итоге получили значения сил сопротивления балласта смещению одиночных шпал в пределах 7,50 – 8,50 кН.



Рисунок 4.2 – Определение сдвигающих усилий одиночных шпал типа BF70 [135]

«Согласно исследованиям, проведенным в ТашИИТе, наиболее подверженным износу элементом крепления Pandrol Fastclip, является прокладка. Долговечность прокладок данного вида конструкции крепления не соответствует заявленной Pandrol и составляет всего 120–130 млн т брутто» [136].

Характерным признаком повреждения прокладок является их интенсивное истирание в виде треугольников по всем сторонам прокладки. Разрушению подвержена вся площадь прокладки по обеим поверхностям.

Кроме местных ученых, поведение креплений Pandrol Fastclip в конструкции пути в разных эксплуатационных условиях изучены российскими и казахскими учеными.

В работе [137] представлены результаты эксплуатационных наблюдений «за опытным участком пути со шпалами Swetrak и креплениями Pandrol Fastclip» и сравнительная оценка состояния опытного и контрольных (со креплениями КБ и АРС-4) участков пути.

Шпалы Swetrak имеют следующие технические характеристики: «длина шпал составляет 270 см; высота в подрельсовом сечении – 22,5 см, в среднем сечении – 18,5 см; вес 300 кг» [137]. Данные, полученные в работе [137], представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Эксплуатационные показатели и результаты обследований сравниваемых участков пути

Характеристика	Единица измерения	Значения характеристик для участков пути со скреплениями		
		Pandrol-Fastclip (опытный)	КБ (контрольный)	АРС-4 (контрольный)
Грузонапряженность	млн т км брутто на 1 км в год	28	28	17,5
Допускаемая скорость поездов	км/ч	160/80	160/80	80/80
Средние осевые нагрузки	т/ось	12,8	12,8	14,6
Пропущенный тоннаж	млн т брутто	80	80	1,5
n	Количество измерений	184	184	184
S_0^{\max}	мм	1528	1529	1523,5
S_0^{\min}	мм	1526	1521,5	1519
DS_0	мм	2	7,5	4,5
S_0^{cp}	мм	1526,7	1524,7	1521,1
S_{S_0}	мм	0,449	1,433	0,986
S_{II}^{\max}	мм	1463	1464	1458,5
S_{II}^{\min}	мм	1460	1458,5	1456
DS_{II}	мм	3	5,5	2,5
S_{II}^{cp}	мм	1461,4	1461,0	1457,4
$S_{S_{II}}$	мм	0,674	1,218	0,479
Π^{\max}	–	0,0415(1/24)	0,0497(1/20)	0,0482(1/21)
Π^{\min}	–	0,0358(1/28)	0,0361(1/28)	0,0361(1/28)
$D\Pi$	–	0,0057	0,0136	0,0121
Π^{cp}	–	0,0386(1/26)	0,0431(1/23)	0,0437(1/23)
S_{Π}	–	0,0012	0,0027	0,0027

Анализируя данные, полученные в ходе наблюдения за опытным и контрольными участками, сделаны следующие выводы:

- «на участке пути со шпалами Swetrak и скреплениями Pandrol Fastclip параметры S_{II} и II имеют примерно в два раза меньший разброс, чем на участке с типовыми шпалами Ш1 со скреплениями КБ. Колебания ширины колеи S_0 на первом участке примерно в 3 – 4 раза меньше, чем на втором. Соответственно и крутизна отводов ширины колеи, как показали измерения на участке со шпалами Swetrak и скреплениями Pandrol Fastclip, в 1,5–2 раза меньше, чем на участке со шпалами Ш1 и скреплениями КБ. Таким образом, на участке со шпалами Swetrak и скреплениями Pandrol Fastclip амплитуда изменения каждого из параметров S_0 , S_{II} и II значительно меньше и качество рельсовой колеи значительно выше, чем на участке с типовыми шпалами Ш1 и скреплениями КБ» [137];

- «качество рельсовой колеи на участке со шпалами Swetrak и скреплениями Pandrol Fastclip также существенно выше, чем на участке со шпалами ШС АРС и скреплениями АРС-4. Расстояние между подошвами рельсов S_{II} на сравниваемых участках пути имеет примерно одинаковый разброс, а колебания средней подуклонки рельсов II на опытном участке примерно вдвое меньше, чем на контрольном. В результате на участке со шпалами Swetrak и скреплениями Pandrol Fastclip колебания ширины колеи S_0 примерно вдвое меньше, чем на участке со шпалами ШС АРС и скреплениями АРС-4» [137].

Козлов И. С. изучал «влияние конструкции промежуточных рельсовых скреплений на несущую способность земляного полотна скоростных железнодорожных линий. Для оценки влияния конструкции промежуточных рельсовых скреплений на несущую способность земляного полотна были проведены эксперименты на действующих путях» [138]. Критерием оценки была результирующая амплитуда колебаний на основной площадке земляного полотна. Данные, полученные в работе [138], представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результирующая амплитуда колебаний на основной площадке земляного полотна

Наименование	Амплитуда колебаний на основной площадке земляного полотна		
	Скрепление КБ	Скрепление АРС	Скрепление Pandrol
Жесткость прокладки	35,3 кН/мм (штатная ЦП-153)	80 кН/мм (штатная ЦП-204М)	Штатная (толщина 5 мм)
Результирующая амплитуда колебаний при V=110 км/ч, пассажирский состав	111 мк	246 мк	300 мк

А. М. Жангабылова [139] в своей работе изучала оценку вибродинамического воздействия на железнодорожной путь с различными видами упругих промежуточных рельсовых креплений. «В качестве критериев качественной и количественной оценки вибродинамического воздействия подвижного состава на путь, с целью сравнения динамической работы пути с различными типами промежуточных рельсовых креплений, были приняты пиковые и среднеквадратические значения виброперемещений подошвы рельса в центре межшпального ящика и в середине шпалы» [139]. Данные, полученные А. М. Жангабыловой, представлены в таблице 4.5.

Анализируя полученные данные, автор делает выводы, что промежуточное рельсовое крепление Pandrol Fastclip, в контексте динамической работы пути под подвижной нагрузкой, имеет лучшие показатели, чем промежуточное рельсовое крепление КПП-5, а в сравнении с промежуточным рельсовым креплением ЖБР-65Ш уступает. Также А. М. Жангабылова провела испытания с различными видами креплений с целью оценки фактического усилия прижатия клемм к рельсу. Величины усилия прижатия к рельсам были определены с помощью прибора «Куш-20кН» (с использованием специальных захватывающих устройств [клипс]), «показания усилия прижатия клеммы через тензодатчик высвечиваются на электронном экране прибора» [139], рисунок 4.3. В таблице 4.6 даны «результаты испытания клемм с разными видами креплений» [139].

Таблица 4.5 – Данные технического состояния железнодорожного пути

Участок		1 участок (УПЧ-30)		2 участок (УПЧ-30)		3 участок (УПЧ-46)		4 участок (УПЧ-46)		5 участок (УПЧ-46)	
Тип скрепления		ЖБР-65Ш (269 км)	Pandrol-Fastklip (270 км)	Pandrol-Fastklip (227 км)	КПП-5 (228 км)	Vossloh W-14 (4035 км)	ЖБР-65Ш (4036 км)	Vossloh W-14 (4035 км)	ЖБР-65Ш (4036 км)	КБ-65 (4041 км)	ЖБР-65Ш (4042 км)
Техническая характеристика пути: класс, группа и категория пути		1В2		1В2		1Б1		1Б1		1Б1	
Пропущенный тоннаж, млн тн.км.бр		207,8		236,4		305,4		305,4		160,9	
Год последнего капитального ремонта пути		2010		2010		2006		2006		2005	
Балловая оценка состояния пути, балл		за июль 2014г.		за август 2014г.		за июль 2015г.		за август 2015г.		за июль 2015г.	
		34	34	39	54	30	42	31	48	57	58
Критерии оценки	n , шт	7	11	13	27	3	8	5	21	18	20
	$v_{шв}$, мм/с	20,15	23,50	52,20	66,60	17,86	25,63	28,50	35,00	48,59	58,87
	v_p , мм/с	61,02	72,58	41,39	51,13	62,65	93,50	58,25	90,00	72,00	92,15
	β	3,09	3,02	1,26	1,30	3,50	3,64	2,04	2,57	1,48	1,56
	A_p , о.ед.	7670	7932	7030	11136	24880	119947	26020	153132	108727	146672
	$A_{ш}$, о.ед.	3930	2572	6807	10641	6554	46985	11796	60506	48757	52903
	$g = \frac{A_p}{A_{ш}}$	1,95	3,08	1,03	1,05	3,80	1,34	2,21	2,51	2,23	2,77



Рисунок 4.3 – Прибор «Күш-20кН» для определения усилия прижатия всех видов упругих клемм

Таблица 4.6 – Фактические усилия прижатия клемм до начала эксплуатации

№ п/п	Тип скрепления	Названия клемм	Диаметр прутка клемм (мм)	Нормативные усилия прижатия (кН)	Фактические усилия прижатия (кН)
1	«Vossloh»	Sk1-14	13	10,0-12,5	11,2
2	«КПП-5»	КП-5.2	16	11,6-13,6	13,2
3	«ЖБР-65»	КП-3	17	10,2-13,4	13,6
4	«Pandrol-Fastclip»	FC 1501	15	10,0-12,5	9,8
5	«KZF-07» и KZF-09	ОП-105	13	10,0-11,0	10,6

Анализируя результаты испытания, автор сделала вывод, что клеммы всех перечисленных скреплений, таблица 4.6, «обеспечивают нормативную величину прижатия рельса 10 кН и, как следствие, отсутствие угона пути. Наименьшую силу прижатия показали клеммы скрепления Pandrol Fastclip» [139].

4.2.4 Результаты наблюдения за опытными участками пути для анализа их работы

Для изучения изменения технического состояния конструкции верхнего строения пути со шпалами ВF70 и скреплениями Pandrol Fastclip на действующих путях АО «УТЙ» был подобран опытный участок. Опытный участок с типовой конструкцией расположен на перегоне ст. Бактрия – ст. Джаркурган Термезской дистанции пути, начало км 4478 ПК0 конец км 4480 ПК10. Опытный участок однопутный, по профилю – спуск 3,5 – 4⁰/₀₀, по плану – прямая. В путь уложены рельсовые плети, сваренные из рельсов типа Р65 категории В, изготовленные в НТМК. На опытном участке верхняя часть балластного слоя – щебень фракцией 25–60 мм. Плечо балластной призмы соответствует требованиям [140], но в отдельных местах наблюдаются пустые шпальные ящики, рисунок 4.4.



Рисунок 4.4 – Опытный участок

По участку грузовые поезда следуют со скоростью 60 км/час, а пассажирские – 140 км/час.

Грузонапряженность участка составляет 11,2 млн т км/ год брутто. По состоянию на 01.01.2021 г. по участку пропущено 32,3 млн т брутто груза.

Результаты анализа работы типовой конструкции пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastclip, полученные в ходе наблюдений на опытном участке, представлены в таблице 4.7.

Наблюдение осуществлялось до пропуска тоннажа 150–200 млн т (больше не могли пропустить по сроку эксплуатации).

По результатам набора статистических данных по участкам получены массивы D_i, T_i, t_i , на основании которых для каждого вида неисправности и отступления построены аппроксимационные зависимости вида $D_i = f(t_i, T_i)$, представленные на рисунках 4.5–4.18, позволяющие осуществлять прогнозирование накоплений неисправностей на любом участке сети.

Таблица 4.7 – Анализ результатов прохода путеизмерительных средств по показателям геометрии рельсовой колеи

Пропущенный тоннаж	Вид отказа													
	Рельсы ДР	Рельсы ОДР	Скрепления	Шпалы	Ш.К. (допустимое ¹)	Ш.К. (нежелательное ²)	Ш.К. (недопустимое ³)	П, Пр, У (допустимое)	П, Пр, У (нежелательное)	П, Пр, У (недопустимое)	Рихтовки (допустимое)	Рихтовки (нежелательное)	Рихтовки (недопустимое)	Загрязнённость (шпалы с выплесками)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,05	0,015	0,06	0,05	0,2	0,1	0,05	0,5	0,25	0,125	0,05	0,025	0,0125	4,01
20	0,09	0,027	0,09	0,1	0,4	0,2	0,1	1	0,5	0,25	0,15	0,075	0,0375	9,82
50	0,05	0,015	0,31	0,2	0,5	0,25	0,125	1,7	0,85	0,425	0,25	0,125	0,0625	12,92
100	0,08	0,024	0,78	0,3	0,52	0,26	0,13	2,21	1,105	0,5525	0,33	0,165	0,0825	15,89
200	0,2	0,06	1,9	0,44	0,5	0,25	0,125	2,84	1,42	0,71	0,55	0,275	0,1375	19,55

Примечание: 1 – данные отступления соответствуют отказам степени: допустимое – 2 ст.; 2 – нежелательное – 3 ст.; 3 – недопустимое – 4 ст. с учетом класса линии и требований, установленных действующими нормативными документами [12, 140]

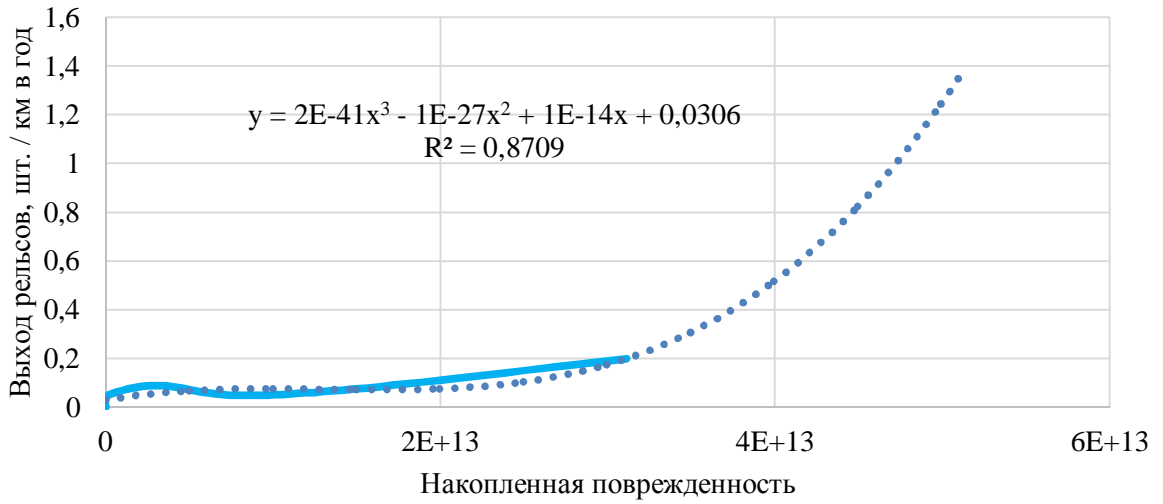


Рисунок 4.5 – График зависимости одиночного выхода рельсов

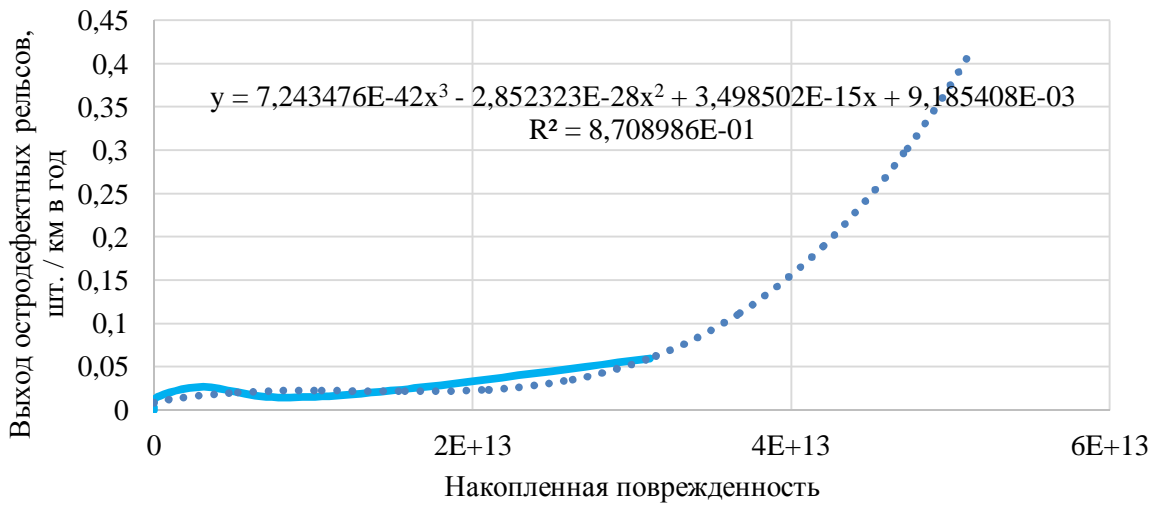


Рисунок 4.6 – График зависимости одиночного выхода остродефектного рельса



Рисунок 4.7 – График зависимости выхода креплений

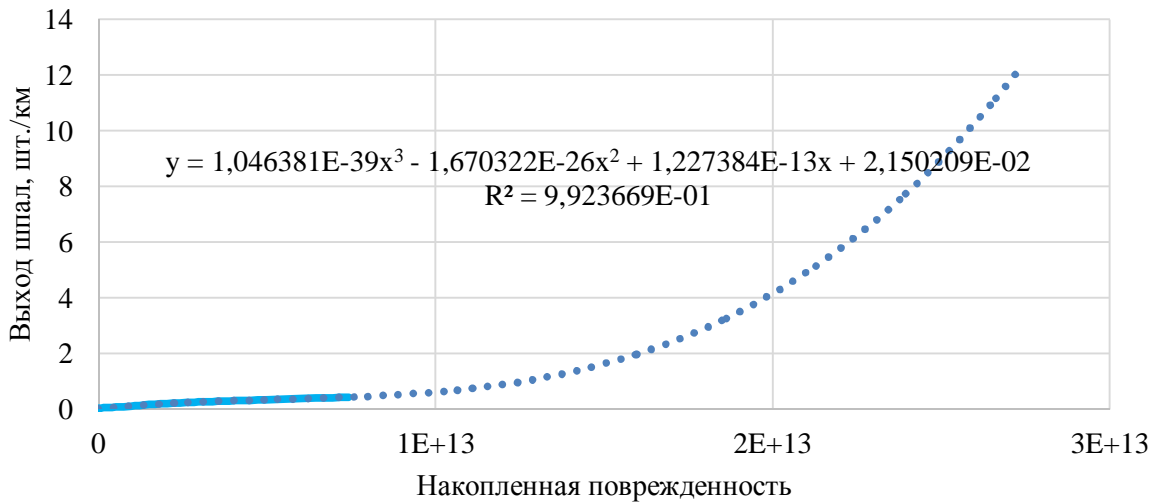


Рисунок 4.8 – График зависимости выхода шпал

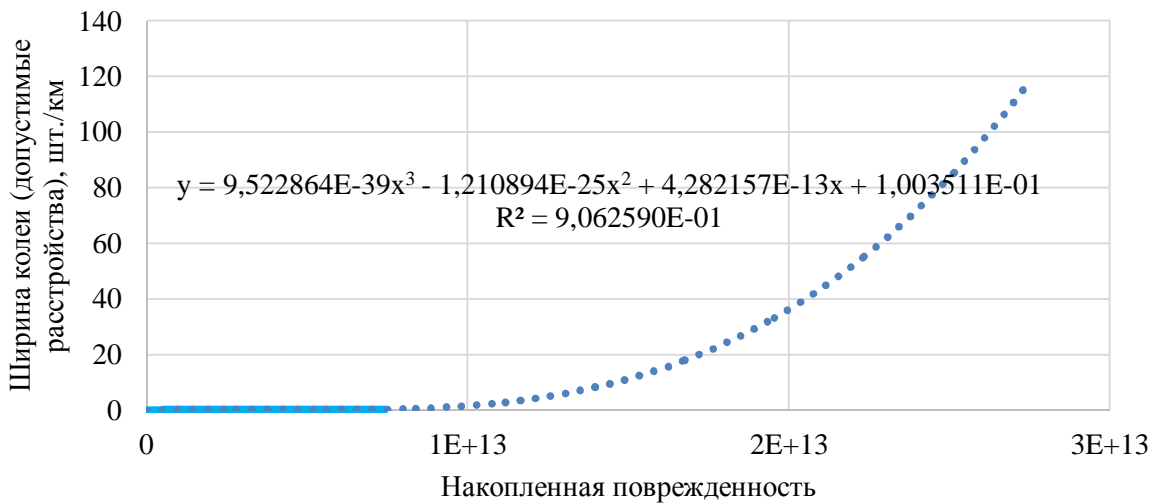


Рисунок 4.9 – График зависимости накопления допустимых расстройств ширины колеи

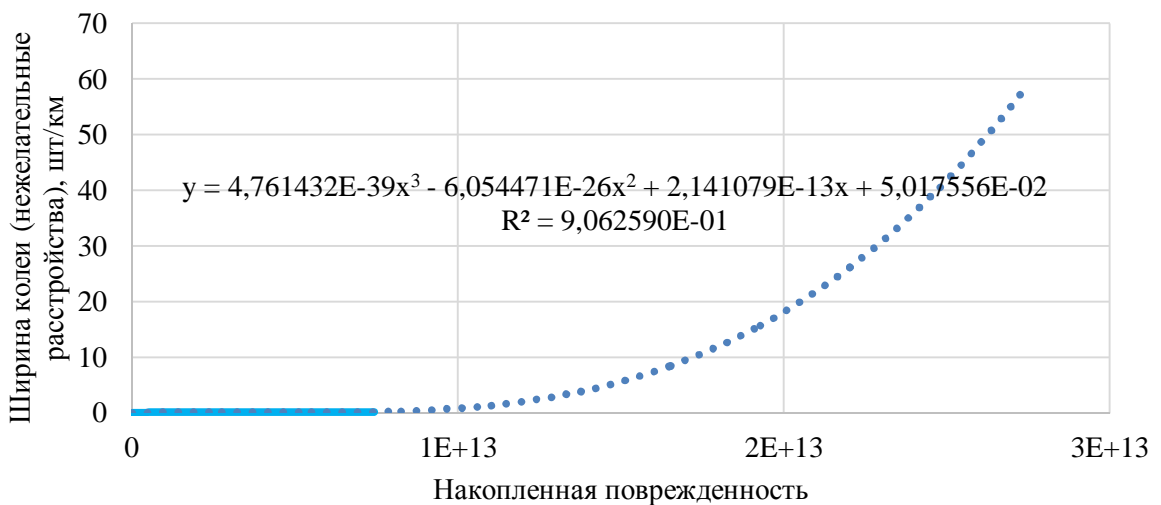


Рисунок 4.10 – График зависимости нежелательного расстройство ширины колеи

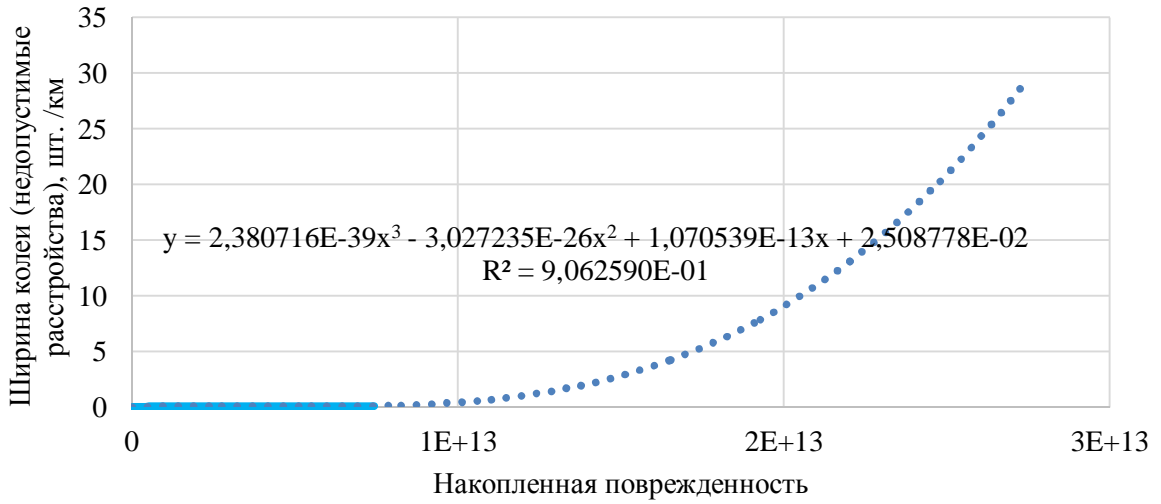


Рисунок 4.11 – График зависимости недопустимого расстройтва ширины колеи

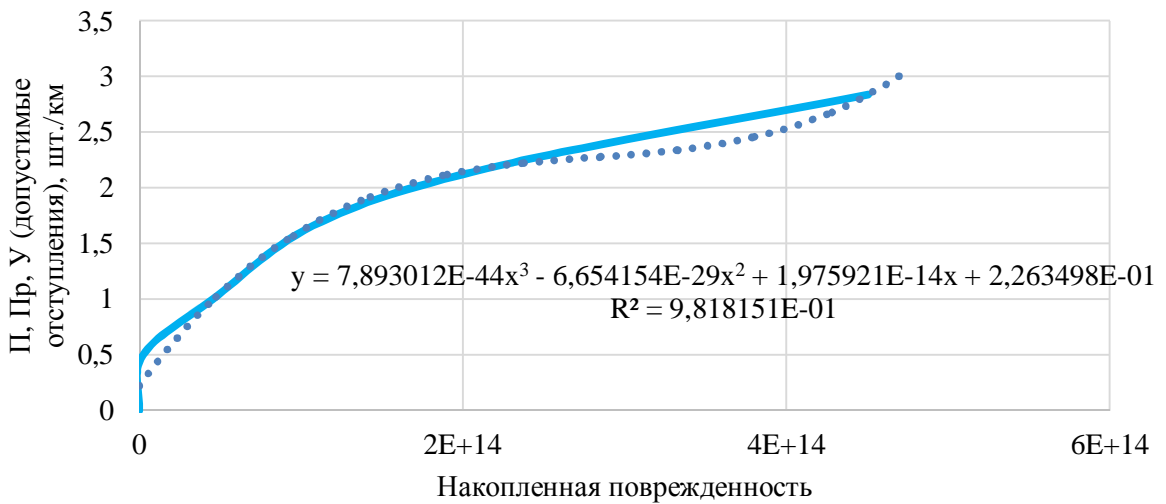


Рисунок 4.12 – График зависимости допустимого отступления по уровню

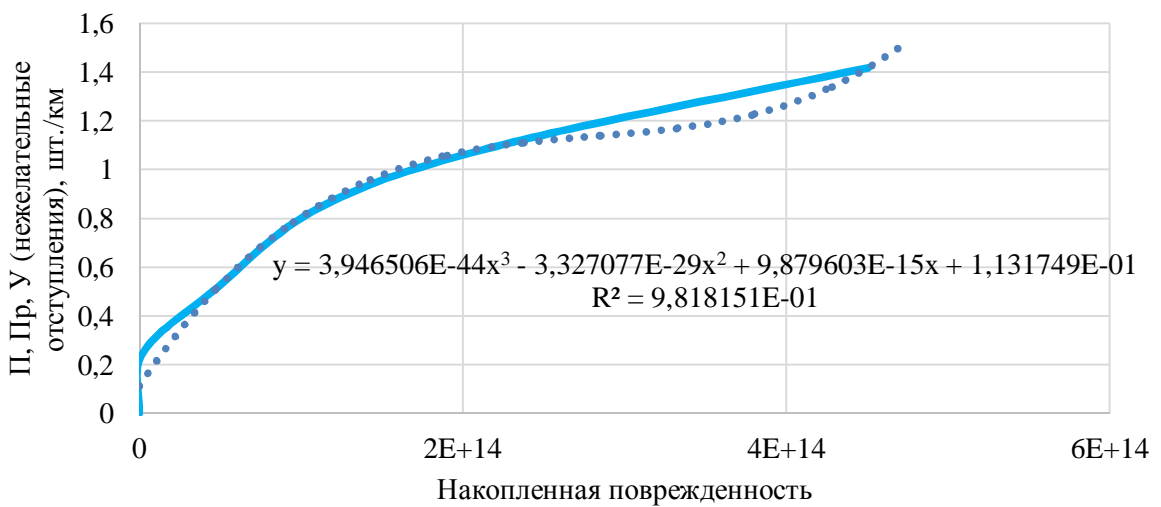


Рисунок 4.13 – График зависимости нежелательного отступления по уровню

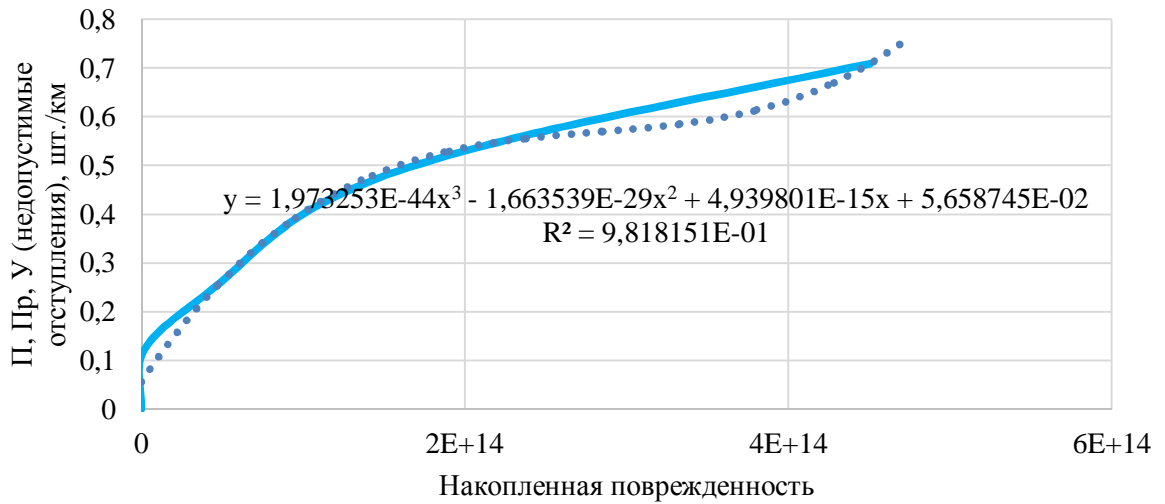


Рисунок 4.14 – График зависимости недопустимого отступления по уровню

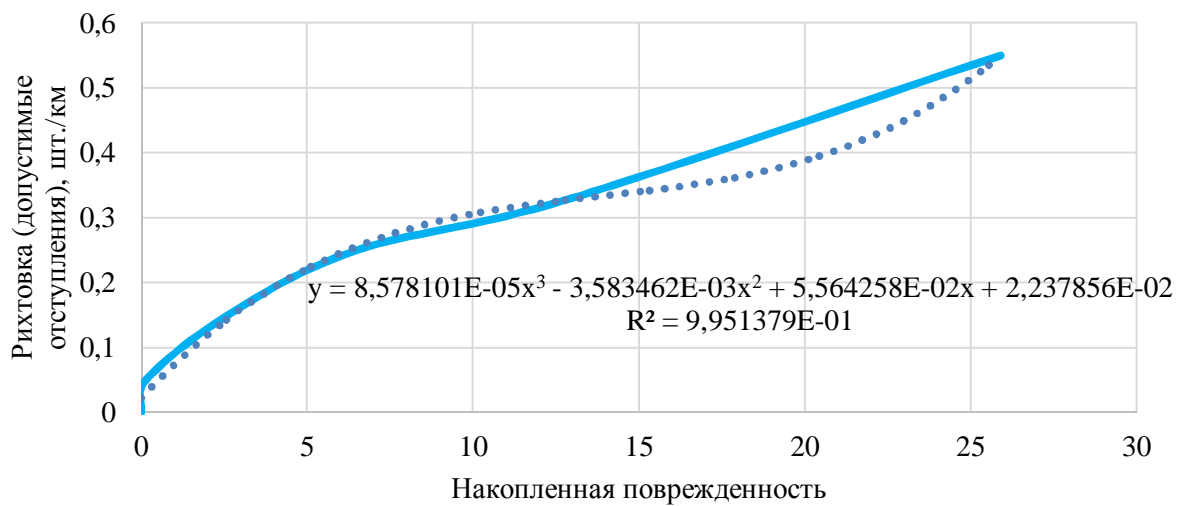


Рисунок 4.15 – График зависимости допустимого отступления в плане

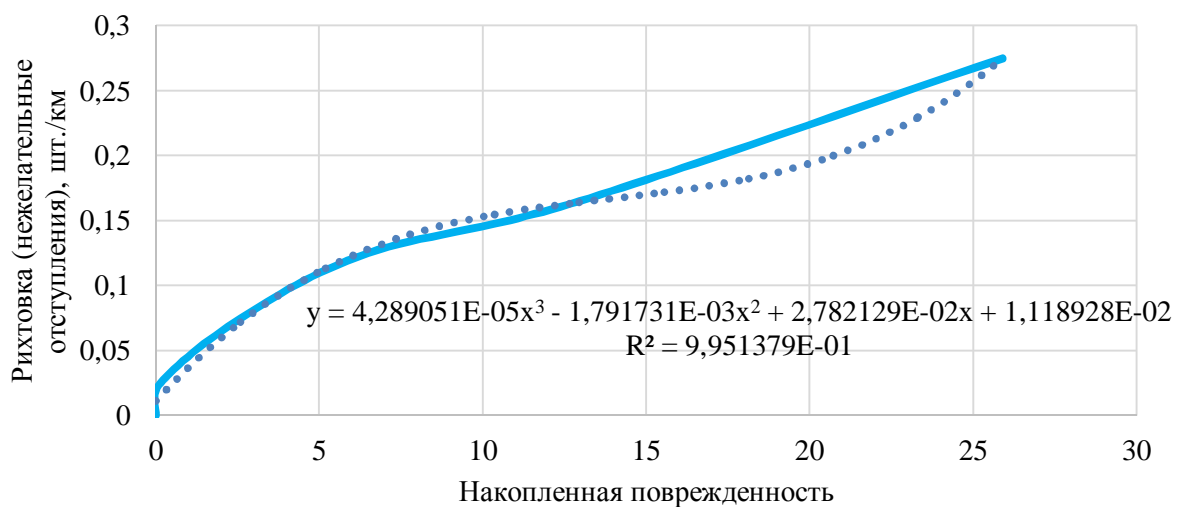


Рисунок 4.16 – График зависимости нежелательного отступления в плане

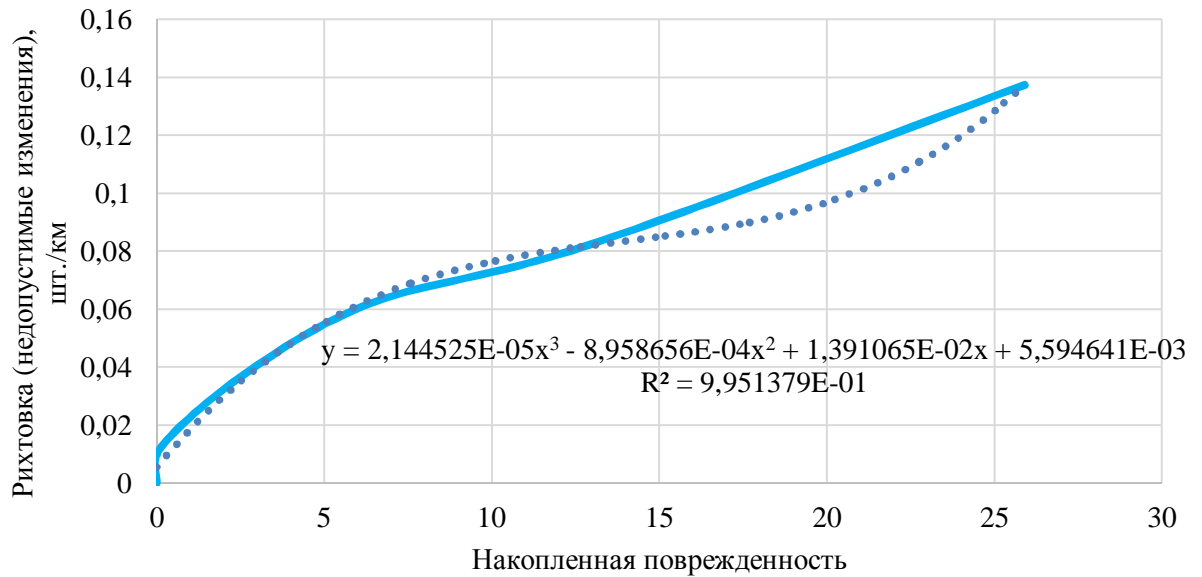


Рисунок 4.17 – График зависимости недопустимого отступления в плане

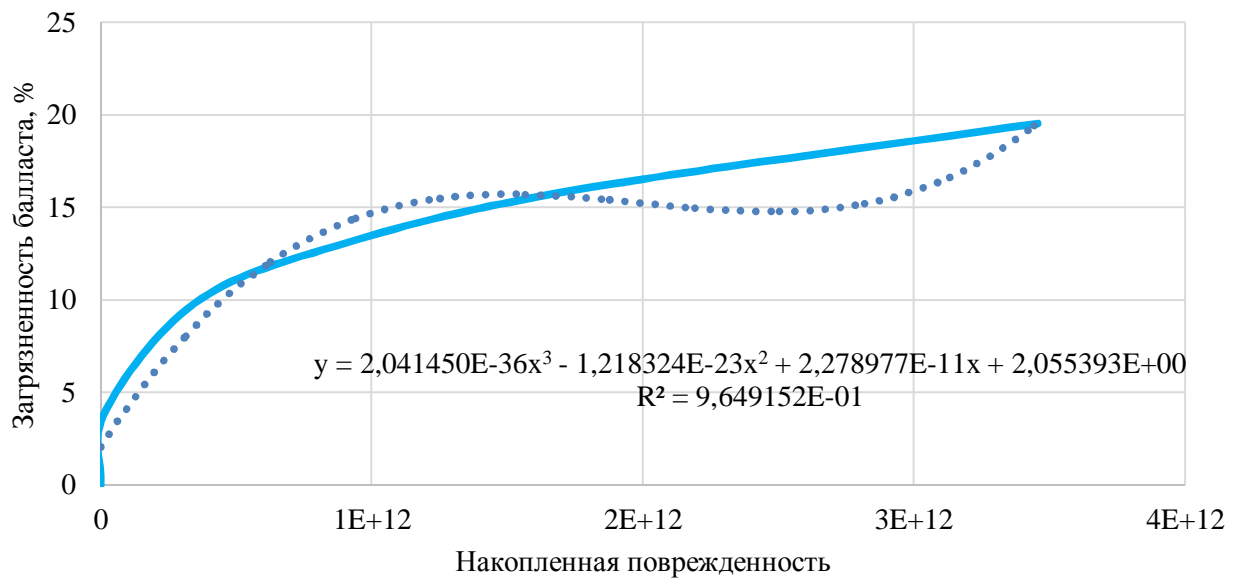


Рисунок 4.18 – График зависимости загрязненности балласта

Степенные коэффициенты к функции аппроксимации кривой надежности для *i-go* вида отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути, собраны в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Степенные коэффициенты к функции аппроксимации кривой надежности для *i*-го вида отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути

Вид отказа	Деградационные кривые = $a \cdot (x^5) + b \cdot (x^4) + c \cdot (x^3) + d \cdot (x^2) + e \cdot (x) + f$					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>s</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Рельсы ДР	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-41	-1,00E-27	1,00E-14	3,06E-02
Рельсы ОДР	0,00E+00	0,00E+00	7,24E-42	-2,85E-28	3,50E-15	9,19E-03
Скрепления	0,00E+00	0,00E+00	-3,00E-39	4,65E-26	7,30E-14	2,51E-02
Шпалы	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-39	-1,67E-26	1,23E-13	2,15E-02
Ш.К. (допустимое ¹)	0,00E+00	0,00E+00	9,52E-39	-1,21E-25	4,28E-13	1,00E-01
Ш.К. (нежелательное ²)	0,00E+00	0,00E+00	4,76E-39	-6,05E-26	2,14E-13	5,02E-02
Ш.К. (недопустимое ³)	0,00E+00	0,00E+00	2,38E-39	-3,03E-26	1,07E-13	2,51E-02
П, Пр, У (допустимое)	0,00E+00	0,00E+00	7,89E-44	-6,65E-29	1,98E-14	2,26E-01
П, Пр, У (нежелательное)	0,00E+00	0,00E+00	3,95E-44	-3,33E-29	9,88E-15	1,13E-01
П, Пр, У (недопустимое)	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-44	-1,66E-29	4,94E-15	5,66E-02
Рихтовки (допустимое)	0,00E+00	0,00E+00	8,58E-05	-3,58E-03	5,56E-02	2,24E-02
Рихтовки (нежелательное)	0,00E+00	0,00E+00	4,29E-05	-1,79E-03	2,78E-02	1,12E-02
Рихтовки (недопустимое)	0,00E+00	0,00E+00	2,14E-05	-8,96E-04	1,39E-02	5,59E-03
Загрязнённость (шпалы с выплесками)	0,00E+00	0,00E+00	2,04E-36	-1,22E-23	2,28E-11	2,06E+00

Примечание: 1 – данные отступления соответствуют отказам степени: допустимое – 2 ст.; 2 – нежелательное – 3 ст.; 3 – недопустимое – 4 ст. с учетом класса линии и требований, установленных действующими нормативными документами [12, 140]

4.2.5 Выполнение прогнозных расчетов

«Основная задача прогнозных расчетов – получение временных или иных оценок длительности эксплуатации пути до появления отказа или неисправности

узла или элемента, необходимого к устранению. Исходными данными для прогнозирования являются значения d_i и $[D_i]$.

Значение d_i характеризует условия эксплуатации конструкции, значение $[D_i]$ характеризует свойства конструкции. Последовательность выполнения прогнозных расчетов следующая:

1) на основе анализа эксплуатационных условий участка методами математического моделирования или натуральных измерений определяются значения боковых, вертикальных сил и напряжений на участке, действующих на путь от подвижного состава. На основе полученных результатов определяются значения повреждаемости d_i для прогнозируемого отказа или появления неисправности в i -м узле или элементе;

2) на основе значений $[D_i]$ и d_i определяется число циклов $n_i = [D_i]/d_i$, которое будет воспринято i -м узлом или элементом до появления в нем рассматриваемого отказа или неисправности пути.

Значения $[n_i]$ переводятся во временные или физические оценки (пропущенный тоннаж), позволяющие выполнить прогнозирование даты проведения работ по устранению неисправностей или отказов.

Срок эксплуатации до появления отказа или неисправности, лет» [142]:

$$t_i = \frac{n_i \cdot P_i}{10^6 \cdot \Gamma_i}, \quad (4.8)$$

где Γ_i – грузонапряженность на рассматриваемом участке, млн т/км в год.

«Тоннаж, пропущенный до появления отказа или неисправности, млн т брутто:

$$T_i = \frac{n_i \cdot P_i}{10^6}. \quad (4.9)$$

Вторая задача прогнозирования – определение количества выхода из строя элементов верхнего строения пути или количества появления отказов пути на заданном этапе эксплуатации – m_i^k , шт./км в год» [142].

$$m_i^k = [a_i(d_i n_i)^5 + b_i(d_i n_i)^4 + c_i(d_i n_i)^3 + s_i(d_i n_i)^2 + e_i(d_i n_i) + f_i] \quad (4.10)$$

где $a_i, b_i, c_i, s_i, e_i, f_i$ – степенные коэффициенты к функции аппроксимации кривой надежности для i -ого вида отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути;

k – расчетный год эксплуатации.

«Коэффициент готовности определяется по формуле» [142]:

$$K_{\text{готов}}^k = 1 - \sum m_i^k \times g_i^m, \quad (4.11)$$

где g_i^m – весовой коэффициент для рассматриваемой неисправности или выхода элементов верхнего строения пути из строя, 1/шт./км в год.

4.3 Выполнение прогнозных расчетов и определение сферы применения облегченной конструкции верхнего строения пути

Для расчета жизненного цикла конструкции и значения ресурса d_i были приняты следующие исходные данные:

- конструкция пути (типовая, облегченная);
- план линии (прямая, кривая R=650 м, кривая R=350 м);
- тип подвижного состава (локомотивы, порожние вагоны, пассажирские вагоны, вагоны с осевой нагрузкой 23,5 тс);
- вертикальная сила, передаваемая от колеса на рельс, кН (сред., СКО);
- боковая сила, передаваемая от колеса на рельс, кН (сред., СКО);
- напряжения в наружной кромке подошвы рельса, МПа (сред., СКО);
- напряжения во внутренней кромке подошвы рельса, МПа (сред., СКО);
- вертикальная жесткость, м^{-1} ;
- горизонтальная жесткость, м^{-1} ;
- площадь опирания полушпалы, см^2 ;
- момент сопротивления изгиба, см^3 .

Значения вертикальных и боковых сил, передающихся от колеса на рельс, и кромочных напряжений в подошве рельса приняты по результатам главы 3 данной работы. Также для расчета жизненного цикла конструкции пути необходимы следующие данные по эксплуатационным условиям:

- тоннаж, пропущенный в год назначения ремонта (принимается в зависимости от специализации линии);
- доля в поездопотоке различных типов поездов и их распределение на сети по скоростям;
- доля прямых и кривых участков пути (приняты среднесетевые значения: доля прямых и кривых $R > 1200 \text{ м} = 0,70$; доля кривых $1200 \text{ м} \geq R > 500 \text{ м} = 0,25$; доля кривых $R < 500 \text{ м} = 0,05$).

Исходные данные по эксплуатационным условиям приведены в таблицах 4.9- 4.11.

Таблица 4.9 – Доля подвижного состава в поездопотоке для IV и V категорий пути

Тип подвижного состава	Доля в поездопотоке, %	Доля в поездопотоке, %, при скоростях			
		40 км/ч и менее	41-60 км/ч	61-80 км/ч	более 80 км/ч
Порожние вагоны	8	5	55	40	-
Вагоны с осевой нагрузкой 23,5 тс	24	20	55	25	-
Пассажирские вагоны	65	0	0	80	20
Локомотивы	3	20	55	15	10

Таблица 4.10 – Доля подвижного состава в поездопотоке для III категории пути

Тип подвижного состава	Доля в поездопотоке, %	Доля в поездопотоке, %, при скоростях			
		40 км/ч и менее	41-60 км/ч	61-80 км/ч	более 80 км/ч
Порожние вагоны	15	5	55	35	5
Вагоны с осевой нагрузкой 23,5 тс	45	20	55	20	5
Пассажирские вагоны	35	0	0	30	70
Локомотивы	5	20	55	15	10

Таблица 4.11 – Доля подвижного состава в поездопотоке для I и II категорий пути

Тип подвижного состава	Доля в поездопотоке, %	Доля в поездопотоке, %, при скоростях			
		40 км/ч и менее	41-60 км/ч	61-80 км/ч	более 80 км/ч
Порожние вагоны	20	5	55	35	5
Вагоны с осевой нагрузкой 23,5 тс	65	20	55	20	5
Пассажирские вагоны	12	0	0	30	70
Локомотивы	3	20	55	15	10

Для прогнозирования приняты следующие «показатели, характеризующие накопление выхода из строя элементов верхнего строения пути и накопление неисправностей геометрии рельсовой колеи» [142]:

- выход рельсов по дефектам контактно-усталостного происхождения (дефектные (ДР) и остродефектные (ОДР)), шт./км;

- выход креплений и шпал, шт./км;

- неисправности по ширине колеи – расстройство ширины колеи (допустимые, нежелательные, недопустимые), шт./км;

- неисправности по отступлению по уровню – перекося (П), просадка (Пр), уровень (У), (допустимые, нежелательные, недопустимые), шт./км;

- неисправности в плане – рихтовка (допустимые, нежелательные, недопустимые), шт./км;

- загрязненность щебня, %;

- количество негодных креплений, %, определяется исходя из заданной эпюры шпал и выхода креплений;

- количество шпал с выплесками, %, составляет 10% от загрязненности щебня;

- количество отступлений 2-й степени, шт./км, определяется как сумма неисправностей П, Пр, У (допустимое), П, Пр, У (нежелательное); рихтовка (допустимое) и рихтовка (нежелательное).

- плановые затраты на текущее содержание, тыс. сум/год (затраты на владение и приобретение) – определяются как «сумма показателей,

характеризующих накопление выхода из строя элементов верхнего строения пути и накопление неисправностей геометрии рельсовой колеи, каждое из которых умножено на стоимость устранения данной неисправности» [142].

«Стоимость устранения i -го вида отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути рассчитаны в соответствии с Типовыми технически обоснованными нормами времени для учета работ по текущему содержанию пути» [141], стоимостью материалов верхнего строения пути, тарифными разрядами на выполнение работ и приведена в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Стоимость устранения одной неисправности

Вид отказа	Стоимость устранения одной неисправности, тыс.сум.
Рельсы ДР	4781,77
Рельсы ОДР	4781,77
Скрепления	470,48
Шпалы	788,49
Загрязнённость (шпалы с выплесками)	232,34
Ш.К. (допустимое)	98,74
Ш.К. (нежелательное)	130,69
Ш.К. (недопустимое)	164,09
П, Пр, У (допустимое)	1077,46
П, Пр, У (нежелательное)	1437,58
П, Пр, У (недопустимое)	1796,25
Рихтовка (допустимое)	123,43
Рихтовка (нежелательное)	165,54
Рихтовка (недопустимое)	206,20

Среднесетевые нормы периодичности ремонта пути для определения потребности путевых работ при перспективном планировании представлены в таблице 4.13.

В таблице 4.14 представлены основные критерии назначения путевых работ при текущем их планировании согласно [13].

Таблица 4.13 – Среднесетевые нормы периодичности обновления и капитального ремонта пути для определения потребности путевых работ при перспективном планировании

Классы путей	Категория	Периодичность обновления и капитального ремонта пути, млн т км на км год	Схемы путевых работ в период между Обновлениями (капитальными ремонтами) пути
1 и 2	A1, A2, A3	1400	ОВПВ(РС)ВПВО*
	A4	1500	то же
	A5	1600	то же
	B1, B2, B3	1400	ОВСВ(РС)ВСВО
	B4	1500	то же
	B5	1600 ¹	то же
	B1, B2, B3	1400 ¹	то же
3	Г1, Г2, Д1	1 раз в 25 лет	ОВВСВВО
	A6	1200	КВПВ(РС)ВПВК
	B5, B6	1200	то же
	B4, B5	700 ²	КВВ(РС)ВПК
4	Г3, Г4, Д2, Д3, Д4	1 раз в 25 лет	КВВСВПК
	B6	1200	КВПВ(РС)ВПВК
	Г5, Г6, Д5, Д6	1 раз в 25 лет	

Примечания: О - обновление верхнего строения пути; (РС) - сплошная замена рельсов (в период между обновлениями пути - на новые; в период между капитальными ремонтами - на старогодные), сопровождаемая средним ремонтом пути (на участках с асбестовым балластом вместо среднего может выполняться подъемочный ремонт или плано-предупредительная выправка); К - капитальный ремонт пути; С - средний ремонт пути; П - подъемочный ремонт пути; В - плано-предупредительная выправка пути с применением комплекса машин; 1 – не реже 1 раза в 30 лет (15 лет между сменой рельсов); 2 – не реже одного раза в 25 лет.

Таблица 4.14 – Основные критерии назначения путевых работ при текущем их планировании

Классы путей	Группа и категория пути	Виды работ		
		Обновление пути	Капитальный ремонт пути	Средний ремонт пути
		Одиночный выход рельсов в сумме за срок их службы, шт./км		Загрязненность призмы (числитель), доля шпал с выплесками (знаменатель), %
1	2	3	4	5
1 и 2	A1, A2; A3; A4; A5	3	–	> 15/3
	B1; B2; B3, B4	4	–	> 15/4
	B1; B2; B3	6	–	> 20/6
	Г1; Г2; Д1	8	–	> 20/8
3 и 4	A6; B5; B6	–	8	> 20/8
	B4; B5; B6	–	5	> 20/8
	Г3; Г4; Г5; Г6; Д2; Д3; Д4; Д5	–	10	> 25/10

При появлении какого-либо критерия (таблица 4.14), характеризующего проведение того или иного ремонта, на следующий год эксплуатации назначается ремонт, после которого соответствующий тоннаж для элементов верхнего строения пути или неисправностей геометрии рельсовой колеи приводится в соответствие первому году эксплуатации. После назначения капитального ремонта на новых материалах жизненный цикл пути заканчивается.

По итогам прогнозирования рассчитывается стоимость жизненного цикла, которая включает в себя сумму затрат на владение и установку пути и стоимость проведения какого-либо ремонта. Стоимость ремонтов для типовой и облегченной конструкций принимается в соответствии с таблицей 4.15.

Таблица 4.15 – Стоимость ремонтов для типовой и облегченной конструкций пути

Вид ремонта	Стоимость проведения ремонта, тыс.сум/км	
	Типовая конструкция	Облегченная конструкция
В	363025	344873,75
П	726050	689747,50
С	618484,095	587559,89
Р	1415474,117	743673,06
КРН	5082350	4828232,50
КС	3557645	3379762,75
РС	1244735,10	1182498,34

«Прогнозные показатели, характеризующие накопление выхода из строя элементов верхнего строения пути и накопление неисправностей геометрии рельсовой колеи» [142], а также матрица проведения ремонтов для типовой и облегченной конструкций пути в зависимости от грузонапряженности, стоимость жизненного цикла конструкций, срок ее эксплуатации и чистый дисконтированный поток приведены в таблицах А.1–А.16. Итогом моделирования и технико-экономических расчетов является таблица 4.16, в которую сведены все результаты прогнозирования затрат на владение и установку пути и технико-экономические показатели каждой из конструкций, в том числе:

- межремонтный тоннаж, пропущенный по участку, млн т;

- показатель полной стоимости жизненного цикла конструкции, тыс. сум/км, характеризующий необходимые планируемые затраты на техническое обслуживание пути в течение всего срока эксплуатации;
- удельный показатель стоимости жизненного цикла конструкции, тыс. сум/км в год, характеризующий необходимые планируемые затраты на техническое обслуживание пути в год;
- затраты на текущее содержание, тыс. сум/км;
- удельные затраты на текущее содержание, тыс. сум/км в год;
- количество ремонтов, шт.;
- схема проведения ремонтов на участке: вид ремонта/год проведения;
- максимальное и среднее количество доли затрат текущего содержания от уровня амортизации;
- максимальные и средние коэффициенты прямых расходов;
- максимальное и среднее количество отказов, шт./км.

Из таблицы 4.16 видно, что с увеличением грузонапряженности линии увеличиваются затраты на текущее содержание.

Анализируя таблицу, облегченную конструкцию пути можно рекомендовать к применению на II, III, IV и V категориях пути, о чем свидетельствует разница в стоимости жизненного цикла между типовой и облегченной конструкцией на категории пути:

- V, грузонапряженность 5 млн ткм брутто/км в год и менее – разница составляет 253054,48 тыс. сум/км;
- IV, грузонапряженность 6÷10 млн ткм брутто/км в год – разница составляет 249453,933 тыс. сум./км;
- III, грузонапряженность 11÷25 млн ткм брутто/км в год – разница составляет 232906,47 тыс. сум./км;
- II, грузонапряженность 26÷50 млн ткм брутто/км в год – разница составляет 308230,02 тыс. сум./км.

Максимальное количество отказов на облегченной конструкции пути с увеличением грузонапряженности более 11 млн ткм брутто/км в год составляет больше единицы.

Таблица 4.16 – Сравнительная технико-экономическая оценка типовой и облегченной конструкций пути в различных эксплуатационных условиях

Технико-экономические показатели	Категория пути при грузонапряженности, млн ткм брутто/км в год, для конструкций пути									
	I (более 50)		II (26-50)		III (11-25)		IV (5-10)		V (5 и менее)	
	типовая	облегченная	типовая	облегченная	типовая	облегченная	типовая	облегченная	типовая	облегченная
Межремонтный тоннаж, пропущенный по участку, млн т	1470	1470	980	980	441	441	196	196	98	98
Срок эксплуатации участка, лет	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Грузонапряженность участка, млн ткм брутто/км	58,8	58,8	39,2	39,2	17,64	17,64	7,84	7,84	7,84	7,84
Средняя осевая нагрузка на участке, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	16,87	16,87	14,86	14,86	14,86	14,86
СЖЦ, тыс.сум/км	10236560,12	10714782,03	8585463,24	8277233,22	5659941,47	5427035,00	5248389,43	4998935,50	5197179,81	4944125,33
Затраты на текущее содержание, тыс.сум/км	1443305,52	1766251,73	1029176,86	1098761,16	577591,47	598802,50	166039,43	170703,00	114829,81	115892,83
Уд. СЖЦ, тыс.сум/км в год	409462,40	428591,28	343418,53	331089,33	226397,66	217081,40	209935,58	199957,42	207887,19	197765,01
Уд, затраты на текущее содержание, тыс.сум/км в год	57732,22	70650,07	41167,07	43950,45	23103,66	23952,10	6641,58	6828,12	4593,19	4635,71
Количество ремонтов, шт.	7	7	5	5	1	1	1	1	1	1
Схема проведения ремонтов на участке: вид ремонта/год проведения	КРН/1-С/4-С/8-С/12-С/16-С/20-С/24-КРН/25	КРН/1-С/4-С/8-С/12-С/16-С/20-РС/24-КРН/25	КРН/1-С/6-С/11-С/16-С/21-КРН/25	КРН/1-С/6-С/11-С/16-С/21-КРН/25	КРН/1-КРН/25	КРН/1-КРН/25	КРН/1-КРН/25	КРН/1-КРН/25	КРН/1-КРН/25	КРН/1-КРН/25
Индекс предотказа (макс)	0,141	0,383	0,114	0,138	0,079	0,087	0,052	0,053	0,038	0,038
Индекс предотказа (сред)	0,099	0,135	0,084	0,093	0,062	0,065	0,036	0,036	0,026	0,026

Продолжение таблицы 4.16

Количество отказов, шт./км (макс)	2,086	6,621	1,685	2,128	1,182	1,329	0,965	0,984	0,715	0,712
Количество отказов, шт./км (сред)	1,435	2,115	1,202	1,368	0,965	1,019	0,672	0,671	0,485	0,471
Доля затрат текущего содержания от уровня амортизации (макс)	0,217	0,717	0,164	0,222	0,097	0,118	0,050	0,055	0,034	0,036
Доля затрат текущего содержания от уровня амортизации (сред)	0,138	0,219	0,110	0,135	0,067	0,078	0,033	0,035	0,023	0,024
Коэффициент прямых расходов - Кр (макс)	0,009	0,029	0,007	0,009	0,004	0,005	0,002	0,002	0,001	0,001
Коэффициент прямых расходов - Кр (сред)	0,006	0,009	0,004	0,005	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001

4.4 Выводы по главе 4

1. С помощью методики расчета накопления повреждаемости пути и определения стоимости его владения и установки выполнены прогнозные расчеты показателей, характеризующих накопление выхода из строя элементов верхнего строения пути и накопление неисправностей геометрии рельсовой колеи.

2. В зависимости от категории пути и грузонапряженности определена матрица проведения ремонтов для типовой и облегченной конструкций пути, стоимость жизненного цикла конструкций, срок ее эксплуатации и чистый дисконтированный поток.

3. По результатам моделирования определена сфера рационального применения облегченной конструкции. Принята следующая конструкция – бесстыковой путь, рельсы Р65, скрепления Pandrol Fastclip, шпалы железобетонные с эпюрой 1720 шт./км, балласт щебеночный толщиной 40 см. К укладке рассматриваемой конструкции рекомендованы II, III, IV и V категории пути.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведен анализ существующего состояния путевого хозяйства АО «УТЙ». Стратегическим направлением развития путевого хозяйства АО «УТЙ» является комплексное решение вопросов по совершенствованию конструкции железнодорожного пути и максимальному продлению сроков службы отдельных элементов и деталей верхнего строения пути

2. Выявлены отдельные участки, где эксплуатационная нагруженность не столь значительна, такие как малодейственные участки и участки с пониженным воздействием на путь (линии преимущественно пассажирского движения и пассажирские линии), на которых применение типовых эпюр шпал 1840 и 2000 шт./км может привести к недоиспользованию их мощности, что экономически нецелесообразно, на основе анализа мощности верхнего строения и эксплуатационных условий путевого хозяйства АО «УТЙ».

3. Разработаны на основе типовых элементов и узлов верхнего строения варианты облегченной конструкции пути, проведены расчеты по их прочности и устойчивости, а также по изменению затрат на текущее содержание пути для выявления наиболее перспективного варианта облегченной конструкции – бесстыковой путь, рельсы Р65, скрепления Pandrol Fastclip, шпалы железобетонные с эпюрой 1720 шт./км, балласт щебеночный толщиной 40 см.

4. Определено силовое воздействие от подвижных единиц при обращении их по облегченным конструкциям, на основе моделирования в ПК «УМ» взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути.

5. Выполнены прогнозные расчеты показателей, характеризующих накопление выхода из строя элементов верхнего строения пути и накопление неисправностей геометрии рельсовой колеи на основании силового взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути.

6. Определены схемы проведения ремонтов для типовой и облегченной конструкций пути, стоимость жизненного цикла конструкций и срок их эксплуатации в зависимости от категории линии и грузонапряженности.

7. Рекомендованы сфера рационального применения облегченной конструкции пути. Эффективность эксплуатации облегченной конструкции пути обеспечивается на железнодорожных линии II, III, IV и V категории.

8. Перспективой дальнейшей разработки темы является проведение на основе разработанного подхода анализа соответствия эксплуатационных условий и мощности ранжирование конструкция пути для различных классов линий с целью выбора рациональной конструкции верхнего строения пути, отвечающей сложившимся и перспективным эксплуатационным условиям.

СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие обозначения и сокращения:

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

АО «УТЙ» – Акционерное общество «Узбекистон темир йуллари»

ТашИИТ – Ташкентский институт железнодорожного транспорта

ВСП – верхнее строение пути

ДИИТ – Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта

СамГУПС – Самарский университет путей сообщения

УМ – «Универсальный механизм»

ПЕ – подвижная единица

ОПЗП – основной площадке земляного полотна

СКО – среднее квадратическое отклонение

Ш.К. – ширина колеи

ДР – дефектные рельс

ОДР – остродефектные рельс

П – перекося

Пр – просадка

У – уровень

В – планово-предупредительная выправка пути с применением комплекта машин

П – подъемный ремонт пути

С – средний ремонт пути

КРН – капитальный ремонт пути

РС – сплошная замена рельсов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 07.02.2017 г. №УП-4947 «О мерах по дальнейшей реализации Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах». Собрание законодательства Республики Узбекистан №6(766) от 13.02. 2017 г. Статья 70.

2. Стратегия развития АО «УТЙ» на период 2017-2019 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.railway.uz/ru/gazhk/strategiya_razvitiya/.

3. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 6.08.1993 г. №394 «О вопросах реконструкции и строительства новой железнодорожной линии Навои – Учкудук – Султануиздаг – Нукус» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lex.uz/docs/893037> (дата обращения: 18.02.2022).

4. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 24.01.2003 г. № 43 «Об ускорении строительства новой железнодорожной линии Ташгузар – Бойсун – Кумкурган» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lex.uz/uz/docs/730701> (дата обращения: 18.02.2022).

5. Постановление Президента Республики Узбекистан от 18.03.2009 г. № ПП-1074 «О комплексной программе развития и модернизации железнодорожной отрасли на 2009 – 2013 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lex.uz/docs/1506046> (дата обращения: 18.02.2022).

6. Постановление Президента Республики Узбекистан от 21.12.2010 г. № ПП-1446 «Об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lex.uz/docs/1723487> (дата обращения: 18.02.2022).

7. Постановление Президента Республики Узбекистан от 18.06.2013 г. №ПП-1985 «О мерах по организации строительства электрифицированной железнодорожной линии «Ангрен – Пап» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lex.uz/acts/2756024> (дата обращения: 18.02.2022).

8. Бизнес – план Акционерного общества «Узбекистон темир йуллари» на 2019 год. Ташкент, 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://railway.uz/upload/iblock/15c/oy8cvz3j2wlo0kpmglpe2qghxvhz1cca.pdf> (дата обращения: 18.02.2022).

9. Бизнес – план Акционерного общества «Узбекистон темир йуллари» на 2021 год. Ташкент, 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://railway.uz/upload/iblock/e4f/lpbz5z2g57s16utftve94274c1vtadvr.pdf> (дата обращения: 18.02.2022).

10. Приказ председателя правления АО «УТЙ» от 14.05.2019 г. №577-Н «О введении в действие Классификации железнодорожных путей». – Ташкент: АО «УТЙ», 2019. – 6 с.

11. КМК 2.05.01-96 «Железные дороги колеи 1520 мм. Нормы проектирования». – Ташкент. Госкомархитектстрой, 1998. – 98 с.

12. Положение о системе ведения путевого хозяйства ГАЖК «Узбекистон темир йуллари», введенное в действие приказом № 70-Н от 09 ноября 1995 года.

13. ВСН-450Н Ведомственные технические указания по проектированию и строительству. «Железные дороги колеи 1520 мм».

14. ВСН 448-Н Инфраструктура высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент - Самарканд. Общие технические требования. - Ташкент: ГАЖК «УТЙ», 2010. - 58 с.

15. Овчинников, А.Н. Опыт применения упругих рельсовых скреплений на железных дорогах Республики Узбекистан / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фаилова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2012. – № 5. – С. 73-77.

16. Овчинников, А.Н. Вопросы внедрения на железных дорогах Узбекистана рельсовых скреплений последнего поколения типа Pandrol Fastclip FE / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фаилова // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: Труды XIV Международной научно-технической конференции. Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца, Москва, 05–06 апреля 2017 года. – Москва: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2017. – С. 207-209.

17. Овчинников, А.Н. Вопросы укладки шпал BF70S со креплениями Pandrol Fastclip в кривых малого радиуса / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2014. №7. – С. 23-28.

18. Овчинников, А.Н. Исследование работы шпал BF70S в кривых малого радиуса [Текст] / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – №1. – С. 21- 22.

19. Овчинников, А.Н. Оптимизация укладки и эксплуатации шпал BF70S в кривых малого радиуса [Текст] / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – №10. – С. 29-30.

20. Эргашев, У.Э. Способ обеспечения отвода уширение ширины колеи в кривых радиусом менее 350 м / У.Э. Эргашев, Н.И. Бегматов // Известия Транссиба / Омский гос. ун. путей сообщения. Омск. – 2017. – №1(29). – С. 112-118.

21. O'zDSt EN 13230-1, 2: 2003. Шпалы и брусья бетонные для применения на железнодорожных путях. Ташкент, Государственный комитет РУз по архитектуре и строительству. 2003.

22. EN 13481-2012. Железнодорожный транспорт. Железнодорожные пути. требования к рабочим характеристикам крепежных систем.

23. Эпюры шпал к новым типам верхнего строения. Труды ВНИИЖТ. Вып. 12. 1947. – С. 104-106.

24. Першин, С.П. О некоторых уточнениях основных схем статического расчета пути. // Вестник ЦНИИ МПС. – 1970, № 5. – С. 18-20.

25. Виноградов, В.А. Исследования работы железобетонной шпалы при вибрации на основании, обладающем “распределяющей” способностью. Межвуз. сб.трудов Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, 1980, вып. 164/11, С. 44-48.

26. Ермаков, В.М. Комплексная система реализации ресурсосбережения в современных условиях работы железнодорожного пути: дис. д-ра техн. наук: 05.22.06 / В.М. Ермаков. – Москва, 2000. – 289 с.

27. Железнодорожный транспорт: энциклопедия / гл. ред. Н. С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 559 с.
28. Новакович, В.И. Перспективы совершенствования конструкции верхнего строения железнодорожного пути / Труды РГУПС. 2016. № 4 С. 65-69.
29. Новакович, В.И. Об оптимальной мощности конструкции верхнего строения пути / В сборнике: Транспорт-2005. труды Всероссийской научно-практической конференции: в 2 частях. Ростовский государственный университет путей сообщения. 2005. С. 115.
30. Новакович, В.И. Об избыточной мощности современной конструкции верхнего строения железнодорожного пути / В.И. Новакович // Наука и транспорт. – СПб.: НП Принт, 2006. – С. 29–31.
31. Новакович, В.И., Способствует ли большая массивность элементов верхнего строения пути повышению его надежности? / Г.В. Карпачевский, Н.И. Залавский // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 4. С. 26-28.
32. Новакович, В.И. Конструкции верхнего строения пути, обеспечивающие повышенную безопасность движения / Путь и путевое хозяйство. 2019. № 11. С. 20-22.
33. Новакович, В.И. Необходимо начать переход от рельсов Р65 к Р58 / Н.И. Залавский, Г.В. Карпачевский, Л.А. Кармазина, А.С. Хадукаев, Н.С. Хадукаев // В сборнике: Современное развитие науки и техники. Сборник научных трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции. 2017. С. 152-155.
34. Новакович, В.И. Необходимо забыть о рельсах Р75 и перейти от Р65 к Р58 / Н.И. Залавский, Г.В. Карпачевский, М.В. Новакович, Л.А. Кармазина, В.В. Карпачевский // Путь и путевое хозяйство. 2017. № 7. С. 21-23.
35. Новакович, В. И. Влияет Ли масса шпалы на сопротивление сдвигу в балласте? / В. И. Новакович, Е. В. Мироненко, Н. А. С. Хадукаев // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 3. – С. 34-37. – EDN TZNKZA.
36. Виногоров, Н.П. Устойчивость бесстыкового пути / Н.П. Виногоров // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 7, 8. – С. 7–13; 20–25.

37. Овчинников, Д.В., Аспекты проектирования и расчета и расчета железнодорожного пути, предназначенного для выделенных пассажирских линий / К.А. Кульгин // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т.80. №6. С. 351 – 358.

38. Испытания шпал уменьшенной толщины / Железные дороги мира. – 2014. №10. – С. 73-75.

39. /www.pandrol.com/wp-content/uploads/2020/03/Fastclip-FC-Система-крепления-рельса-Технические-Харак-Терис-Тики---RU.pdf // (дата обращения 24.01.2022).

40. Суслов, О. А. Техничко-экономический анализ облегченных конструкций верхнего строения железнодорожного пути / О. А. Суслов, А. Е. Токарева, А. А. Баляева // Особенности системы ведения рельсового хозяйства на российских железных дорогах: сборник трудов ученых АО "ВНИИЖТ" (АО "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта"). – Москва : ООО "РАС", 2017. – С. 75-86.

41. Экономика путевого хозяйства: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.Я. Шульга, В.И. Ангелейко, А.А. Комаров и др. Под ред. В.Я. Шульги. – М.: Транспорт, 1988. – 303 с.

42. Методические рекомендации по определению экономического эффекта в путевом хозяйстве при внедрении ресурсосберегающие технологии содержания и ремонта пути / Утв. МПС №А-105у от 03.02.1995 г. // Путь и путевое хозяйство. – 1995. - №6. – С. 6-10.

43. Гогричани, Г.В. Объективное определение по результатам сравнений (испытаний) перспективного объекта при неограниченном множестве рассматриваемых противоречивых критериев / Г.В. Гогричани // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2006. – № 6. – С. 14-15.

44. Измайкова, А.В. Экономическая оценка перспективных инновационных проектов в сфере железнодорожного транспорта / А.В. Измайкова // Экономика железных дорог. – 2015. – № 12. – С. 44-54.

45. Оценка экономической эффективности инвестиций и инноваций на железнодорожном транспорте: Учебное пособие / Б.А. Волков [и др.]; под ред. Б.А. Волкова. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 152 с.

46. Терешина, Н.П. Управление инновациями на железнодорожном транспорте / Н.П. Терешина, В.А. Подсорин. – Москва: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. – 544 с. – ISBN 978-5-907206-36-6

47. Савин, А.В. Условия применения безбалластного пути: дисс. докт. тех. наук. / Савин Александр Владимирович. – М., 2017. 444 с.

48. Бельтюков, В. П. Оптимизация системы содержания верхнего строения железнодорожного пути / В. П. Бельтюков // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – № 2. – С. 112-120. – EDN WELJNP.

49. Затраты жизненного цикла в стратегии управления активами / Железные дороги мира. – 2015. - №5. – С. 64-69.

50. Суслов, О.А. Перспективные подходы к прогнозному моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути и их применение при создании цифровых двойников / О.А. Суслов, В.И. Федорова // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – Т. 80. – № 5. – С. 251-259. – DOI 10.21780/2223-9731-2021-80-5-251-259.

51. Суслов, О.А. Цифровые двойники - перспективная основа планирования технического обслуживания железнодорожного пути / О.А. Суслов, В.И. Федорова // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт. – 2021. – С. 184-192.

52. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Конструкция и содержание железнодорожной инфраструктуры / пер. с англ. под ред. С.М. Захарова. – М.: Интекст, 2012 – 568 с.

53. LCC-optimised permanent way strategies for track and turnout components Enhanced track structure - Status key influencing parameters and prioritised areas of improvement [Электронный ресурс]. Режим доступа:

https://www.researchgate.net/publication/294230688_LCC-optimised_permanent_way_strategies_for_track_and_turnout_components (дата обращения: 10.01.2022).

54. Enhanced track structure - Status key influencing parameters and prioritised areas of improvement [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/342595972_Enhanced_track_structure_-_Status_key_influencing_parameters_and_prioritised_areas_of_improvement (дата обращения: 10.01.2022).

55. ЦПТ-52/14. Методика оценки взаимодействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности: утв. МПС России 15.06.2000 г. М., 38 с.

56. Ашпиз, Е.С. Обоснование нормативов деформативности подрельсового и подшпального оснований / Е.С. Ашпиз, А.В. Замуховский // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10. – № 5(43). – С. 112-119.

57. Левинзон, М.А., Определение области применения метода измерения упругой осадки под грузовым вагоном / Крылов В.Л., С.В. Привалов // Вопросы работы железнодорожного транспорта в условиях реформирования, Сб. науч. тр. ВНИИЖТ - М.: Интекс, 2001 г, с.133-136.

58. Татуревич, А.П. Результаты определения фактических значений жесткости пути для исследований взаимодействия пути и подвижного состава / А.П. Татуревич // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2003. – № 2. – С. 95-100.

59. Колос, А.Ф. Упругие характеристики подрельсового основания безбалластного железнодорожного пути / А.Ф. Колос, Иванова К.И. // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 469–479. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-4-469-479

60. Рекомендации по единой методике определения вертикальной жесткости и вертикального модуля упругости пути и установления их рациональных значений. Р742/1. Памятка ОСЖД. – Варшава. 2003. – 11 с.

61. Курган, Д.Н. К решению задач расчета пути на прочность с учетом неравноупругости подрельсового основания / Д.Н. Курган // Наука та прогресс транспорту. – 2015. – № 1(55). – С. 90-99.

62. Даниленко, Э.И. Расчет характеристик жесткости и упругости рельсовой нити при кручении под воздействием вертикальных и горизонтальных сил / Э.И. Даниленко // Наука та прогресс транспорту. – 2016. – № 5(65). – С. 79-91.

63. Алтынников, Д.С. Расчёт упругих характеристик железнодорожного пути / Д.С. Алтынников, Д.А. Ковенькин // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2018. – Т. 1. – С. 471-475.

64. Овчинников, Д.В. Определение модуля упругости подрельсового основания железнодорожного пути методом конечных элементов / Д.В. Овчинников, В.А. Покацкий, Д.И. Галлямов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Т. 1. – С. 585-591.

65. Рычков, С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 784 с.

66. Шимкович, Д.Г. Femap&Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов – М.: ДМК Пресс, 2018. – 704 с.

67. Колос, А.Ф. Исследование прочностных характеристик лессовых грунтов в условиях трехосного напряженного состояния при воздействии вибродинамических нагрузок / А.Ф. Колос, А.М. Абдукаримов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 3(28). – С. 176-181.

68. Колос, А.Ф. Исследование деформативных свойств лессовидных супесей при воздействии вибродинамической нагрузки от скоростного подвижного состава / А.Ф. Колос, З.Э. Мирсалихов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3(21). – С. 247-254.

69. Абдукаримов, А.М., Мирсалихов З.Э. Исследование механических свойств лессовидных супесей при воздействии вибродинамической нагрузки / А.М. Абдукаримов, , Мирсалихов З.Э. // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2018/04/86328> (дата обращения: 28.01.2022).

70. Эргашев, У.Э. Исследование прочностных характеристик лёссовидных грунтов при действии вибродинамической нагрузки, возникающей при движении поездов со скоростями / У.Э. Эргашев, Н.И. Бегматов // Известия Транссиба. – 2015. – № 4(24). – С. 89-95.

71. ГОСТ Р 55050-2012 Железнодорожный подвижный состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний.

72. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. трансп. / В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др.; Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. – М.: Маршрут, 2003. – 486 с.

73. Бесстыковой путь / В.Г. Альбрехт, Н.П. Виногоров, Н.Б. Зверев и др.; Под ред. В.Г. Альбрехта, А.Я. Когана. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.

74. Сквозняков, П.Е. Аналитическое определение норм устойчивости бесстыкового пути // Вестник ВНИИЖТ. 2013. №5. С. 63-67.

75. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. – Ташкент, 2018. – 112 с.

76. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо – рельс / пер. с англ. под ред. С.М. Захарова. – М.: Интекст, 2017. – 420 с.

77. Бромберг, Е.М. Взаимодействие пути и подвижного состава / Е.М. Бромберг, М.Ф. Вериги, В.Н. Данилов, М.А. Фришман. // – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 280 с.

78. Вериги, М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава / М.Ф. Вериги // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 97. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – С. 25–288.

79. Вериги, М.Ф. Боковые силы в прямых участках пути / М.Ф. Вериги, Л.О. Грачева, А.К. Шафрановский, П.С. Анисимов, З.Л. Крейнис, З.Г. Кобзева // Труды ВЗИИТа. – 1969. – Вып. 42. – С. 7–30.

80. Вериги, М.Ф. Основные принципиальные положения разработки новых правил расчета железнодорожного пути на прочность с использованием ЭАВМ /

М.Ф. Вериге // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 347. – М. Транспорт, 1967. – С. 106–150.

81. Вериге, М.Ф. Влияние зазора в колее на величину боковых сил при взаимодействии пути и подвижного состава / М.Ф. Вериге, Ю.С. Ромен, В.О. Певзнер, М.Е. Смирнова // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 385. – М.: Транспорт, 1969. – С. 95–107.

82. Вериге, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериге, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.

83. Шахунянц, Г.М. Расчеты верхнего строения пути / Г.М. Шахунянц. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 264 с.

84. Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Г.М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

85. Яковлев, В.Ф. Влияние расчетных характеристик элементов пути и подвижного состава на уровень динамических сил в контакте колеса и рельса / В.Ф. Яковлев // Труды ЛИИЖТа. – 1964. – Вып. 233. – С. 96–145.

86. Яковлев, В.Ф. О параметрах расчетной схемы сил взаимодействия в контакте колеса и рельса / В.Ф. Яковлев // Труды ЛИИЖТа. – 1964. – Вып. 222. – С. 187–211.

87. Коган, А.Я. Продольные силы в железнодорожном пути / А.Я. Коган // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 332. – М.: Транспорт, 1967. – 168 с.

88. Коган, А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь / А. Я. Коган // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 402. – М.: Транспорт, 1969. – 206 с.

89. Коган, А.Я. Поперечные горизонтальные силы, действующие на железнодорожный путь в прямых участках / А.Я. Коган, В.М. Гаврилов, Л.П. Агафонова, А.Л. Перельштейн; под ред. А.Я. Когана // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 619. – М.: Транспорт, 1979. – 88 с.

90. Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.

91. Коган, А.Я. Колебания пути при высоких скоростях движения экипажей и ударном взаимодействии колеса и рельса / А.Я. Коган, Д.А. Никитин, И.В. Полещук. – М.: Интекст, 2007. – 168 с.
92. Коган, А.Я. Случайные процессы взаимодействия пути и подвижного состава / А.Я. Коган, Э.Д. Загитов, И.В. Полещук. – М.: РАС, 2016. – 210 с.
93. Чернышев, М.А. Практические методы расчета пути / М.А. Чернышев. – М.: Транспорт, 1967. – 236 с.
94. Ромен, Ю.С. О движении железнодорожных экипажей в кривых участках пути / Ю.С. Ромен // Вестник ВНИИЖТ, 1964, № 6. – С. 16–20.
95. Ромен, Ю.С. О нелинейных колебаниях железнодорожного экипажа в кривых произвольного очертания / Ю.С. Ромен // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 347. – М. Транспорт, 1967. – С. 5–26.
96. Ромен, Ю.С. Исследование бокового воздействия подвижного состава на путь с применением электронных вычислительных машин / Ю.С. Ромен // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 385. – М.: Транспорт, 1969. – С. 71–94.
97. Ромен, Ю.С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методика расчета и испытаний / Ю.С. Ромен. – М.: ВМГ–Принт, 2014. – 210 с.
98. Ромен, Ю.С. Определение сил взаимодействия в системе колесо-рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса / Ю.С. Ромен, О.А. Суслов, А.А. Баляева // Вестник ВНИИЖТ. – 2017. – Т. 76. – № 6. – С. 354–361.
99. Ершков, О.П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых / О.П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 192. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – С. 5–58.
100. Ершков, О.П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках / О.П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 264. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – С. 39–98.
101. Ершков, О.П. Расчет поперечных горизонтальных сил в кривых / О.П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 301. – М.: Транспорт, 1966. – 235 с.
102. Крейнис, З.Л. Измерение боковых сил в прямых участках пути по деформациям рельсов / З.Л. Крейнис, И.В. Федоров, Ю.Н. Шемелин // Труды ВЗИИТа. – 1969. – Вып. 42. – С. 74–93.

103. Шкурников, С.В. К вопросу взаимодействия подвижного состава и геометрических параметров трассы высокоскоростных железнодорожных магистралей / О.С. Морозова // Бюллетень результатов научных исследований. 2017. № 3. С. 96-104

104. Погорелов, Д.Ю. Компьютерное моделирование динамики технических систем с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» / Д.Ю. Погорелов // Вестн. Компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 4. – С. 27–34.

105. Dmitry Pogorelov, Alexander Rodikov, Roman Kovalev. Parallel computations and co-simulation in Universal Mechanism software. Part 1: Algorithms and implementation Transport problems. Volume 14, Issue 3, 2019. DOI: 10.20858/tp.2019.14.3.15.

106. Dmitry Pogorelov, Alexander Rodikov, Roman Kovalev. Parallel computations and co-simulation in Universal Mechanism software. Part II: examples Transport problems. 2019 Volume 14 Issue 4. DOI: 10.20858/tp.2019.14.4.3.

107. Dmitry Pogorelov et al. Train 3D: the technique for inclusion of three-dimensional models in longitudinal train dynamics and its application in derailment studies and train simulators / Vehicle System Dynamics, Published online: 11 Jan 2017 DOI: 10.1080/00423114.2016.1273532.

108. Universal mechanism / Руководства пользователя // Моделирование динамики железнодорожных экипажей. – 2021. – 268 с.

109. Universal mechanism / Руководства пользователя // Программа моделирования. – 2021. – 197 с.

110. Universal mechanism / Руководства пользователя // Программа ввода данных. – 2021. – 298 с.

111. Universal mechanism / Руководства пользователя // Моделирование взаимодействия железнодорожных экипажей и пути. – 2021. – 21 с.

112. Universal mechanism / Руководства пользователя // Механическая система как объект моделирования. – 2021. – 136 с.

113. Universal mechanism / Руководства пользователя // Примеры моделирования. – 2021. – 77 с.

114. Ying Song, Lei Liang, Yanliang Du, Baochen Sun. Railway Polygonized Wheel Detection Based on Numerical Time-Frequency Analysis of Axle-Box Acceleration / Applied sciences. - 2020. - Vol. 10. - Iss. 5. DOI: 10.3390/app10051613

115. Yifeng Wang, Ping Wang, Zihan Li, Zhengxing Chen, Qing He. Forecasting Urban Rail Transit Vehicle Interior Noise and Its Applications in Railway Alignment Design / Journal of Advanced Transportation. 2020. Volume 2020. doi.org/10.1155/2020/5896739.

116. Bo Pan, Wei Zhang, Jianqiu Cao, Xueyong Ma, and Mingliang Zhou. Dynamic Responses of Soils around a One-Hole Double-Track Tunnel with the Metro Train Meeting Hindawi Shock and Vibration Volume 2020, doi.org/10.1155/2020/1782803/

117. Iman Hazrati Ashtiani. Optimization of secondary suspension of three-piece bogie with bevelled friction wedge geometry / International Journal of Rail Transportation. – 2017. Vol. 5. – Iss. 4. P. 213-228. DOI 10.1080/23248378.2017.1336652

118. Абдурашитов, А.Ю. Взаимодействие профилей в системе "колесо-рельс" на участках скоростного движения / А.Ю. Абдурашитов, Ю.Н. Юркова // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 2. С. 4-6.

119. Абдурашитов, А.Ю. Влияние очертания профилей в системе "колесо-рельс" на напряженно-деформированное состояние пути / А.Ю. Абдурашитов, Ю.Н. Юркова // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 11. С. 33-35.

120. Абдурашитов, А.Ю., Влияние состояния пути на уровень взаимодействия с подвижным составом / Д.В. Овчинников, В.А. Покацкий, Р.Р. Кадыров // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 9. С. 24-25.

121. Абдурашитов, А.Ю., Оценка влияния неровностей в зоне сварного стыка рельсов / А.В. Аникеева, В.А. Покацкий, Д.В. Овчинников, А.В. Тарасов., Л.Б. Розенбаум // Железнодорожный транспорт. 2011. № 12. С. 37-39.

122. Абдурашитов, А.Ю., Влияние профилей контактирующих поверхностей системы колесо – рельс на интенсивность износа головки рельсов в кривых участках пути. / А.Ю.Абдурашитов, В.А. Покацкий, А.В. Тарасов. В кн.: Повышение эффективности и надежности работы рельсов: сб. науч. тр. ОАО “ВНИИЖТ” // Под ред. А.Ю. Абдурашитова. – М.: Интекст, 2011. – С. 61-64.

123. Cortis D. Self-diagnosis method for checking the wayside systems for wheel-rail vertical load measurement / D. Cortis, S. Giulianelli, G. Malavasi, S. Rossi // Transport Problems. – 2017. – Vol. 12. – Iss. 4. – P. 91–100.

124. Шевченко, Д.В. Разработка новых методов определения силовых факторов воздействия подвижного состава на путь / Д.В. Шевченко, Р.А. Савушкин, Я.О. Кузьминский, Т.С. Куклин, Е.А. Рудакова, А.М. Орлова // Техника железных дорог. – 2018. – № 1 (41). – С. 38–51.

125. Луханин Н.И., Мямлин С.В., Недужая Л.А., Швец А.А. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2012. - №29. – С. 234-241.

126. Писменный Е.А. Определение динамической нагруженности грузовых вагонов на опытных тележках / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2007. № 17. С. 182-187.

127. А. Э. Тарасова, Е. В. Сердобинцев Моделирование движения рельсового экипажа в кривой в Simpack Rail / Компьютерные исследования и моделирование 2019 т. 11 № 2 с. 249–263. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-249-263

128. Петров, Г.И. Оценка безопасности движения вагонов при отклонениях от норм содержания ходовых частей и пути [Текст] / Г.И. Петров, А.Н. Шамаков, В.М. Богданов, В.М. Меланин, Н.В. Телегин // Глобус. - 2003. - 257 с.

129. Петров, Г.И. Особенности моделирования силовых связей при компьютерном моделировании движения и схода колесной пары вагона с учетом качения, подкальзывания и скольжения обода и гребня колеса по боковой грани головки рельса [Текст] / Г.И. Петров, Д.В. Шпади, А.Г. Петров, С.В. Калетин,

С.И. Порядин, О.И. Паначев // МИИТ. - 2015. - XVI научнопрактическая конференция «Безопасность движения поездов». - С. II-101 -II-106.

130. ГОСТ Р 56862-2016. Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий. – М.: Стандартинформ, 2018 – 12 с.

131. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611414 Российская Федерация. Модуль программного обеспечения для цифрового двойника путевой инфраструктуры "Нейроэксперт 1.0": № 2022610543: заявл. 18.01.2022; опубл. 25.01.2022 / О. А. Суслов, В. В. Кунгурцев, В. И. Федорова [и др.]; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта».

132. Овчинников, А.Н. Экспериментальные исследования работы рельсовых креплений "Pandrol Fastclip" / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 16-18.

133. Патент IAP 05742, МПК E01B 35/00 (2006.01). Устройство для измерения силы прижатия клеммы крепления к рельсу / Мамадалиев А.Ю., Досметов С.К., Эргашев У.Э., Бегматов Н.И., Хальфин Г.Р.; заявитель и патентообладатель Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта. № IAP20160168; заявл. 10.05.2016; опубл. 31.01.2019. Бюл. №1. – С. 77.

134. Овчинников, А.Н. Скоростное и высокоскоростное движение на железных дорогах Узбекистана / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Путь и путевое хозяйство. 2012. № 5. С. 31-33.

135. Овчинников, А.Н. Шпалы BF70 с упругими креплениями на дорогах Узбекистана / А.Н. Овчинников, А.Ф. Расулев, З.Т. Фазилова // Путь и путевое хозяйство. 2008. № 7. С. 35-36.

136. Кузнецова, О.И. Исследование работы подрельсовых прокладок крепления Pandrol Fastclip / О.И. Кузнецова // Труды IV науч.-техн. конф. с международным участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Москва, МИИТ. – 7-8 ноября 2007. – С.224.

137. Бекиш, А. А. Десятилетний опыт эксплуатации железобетонных шпал "Swetrak" со скреплениями "Pandrol fastclip" на линии Санкт-Петербург-Москва / А. А. Бекиш // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2008. – № 3(16). – С. 112-125. – EDN LRHWGV.

138. Козлов, И.С. Влияние конструкции промежуточных рельсовых скреплений на несущую способность земляного полотна скоростных железнодорожных линий: дис. канд. тех. наук / Козлов Иван Сергеевич. – Санкт-Петербург, - 2009. – 166 с.

139. Жангабылова, А.М. Выбор типа промежуточных рельсовых скреплений методом вибродиагностики: дисс. канд. тех. наук. / Жангабылова Айгуль Мамытовна. – М., 2017. 169 с.

140. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденные приказом председателя ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» от 23 апреля 2015 г. №184-Н;

141. Типовые технически обоснованные нормы времени для учета работ по текущему содержанию пути, утвержденные приказом Главный менеджер – главный инженер ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» 16.05.2006;

142. Суслов, О. А. Прогнозная модель расчета накопления неисправностей элементов верхнего строения пути и геометрии рельсовой колеи / О. А. Суслов // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 2. – С. 245-250.

Приложение А

Таблица А.1 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути V, Г- 5 и менее млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	2,00	6,00	10,00	14,00	18,00	22,00	26,00	30,00	34,00	38,00	42,00	46,00
Выход ДР, шт/км	0,041	0,042	0,042	0,043	0,043	0,044	0,045	0,047	0,048	0,049	0,051	0,053
Выход ОДР, шт/км	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,015	0,015	0,016
Выход креплений, шт/км	0,011	0,026	0,041	0,056	0,073	0,089	0,106	0,123	0,140	0,158	0,176	0,195
Выход шпал, шт/км	0,060	0,065	0,069	0,074	0,079	0,083	0,088	0,092	0,097	0,102	0,106	0,111
ШК (допустимое), шт/км	0,183	0,198	0,212	0,226	0,240	0,253	0,266	0,279	0,291	0,303	0,314	0,326
ШК (нежелательное), шт/км	0,092	0,099	0,106	0,113	0,120	0,127	0,133	0,139	0,145	0,151	0,157	0,163
ШК (недопустимое), шт/км	0,046	0,049	0,053	0,057	0,060	0,063	0,067	0,070	0,073	0,076	0,079	0,081
П,Пр,У (допустимое), шт/км	0,379	0,453	0,525	0,596	0,665	0,732	0,799	0,864	0,927	0,989	1,050	1,109
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,190	0,226	0,262	0,298	0,332	0,366	0,399	0,432	0,464	0,495	0,525	0,555
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,095	0,113	0,131	0,149	0,166	0,183	0,200	0,216	0,232	0,247	0,262	0,277
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,053	0,092	0,128	0,162	0,194	0,224	0,253	0,279	0,304	0,327	0,349	0,369
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,027	0,046	0,064	0,081	0,097	0,112	0,126	0,140	0,152	0,164	0,175	0,185
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,013	0,023	0,032	0,041	0,049	0,056	0,063	0,070	0,076	0,082	0,087	0,092
Загрязненность балласта, %/км	3,664	3,864	4,063	4,260	4,455	4,648	4,840	5,030	5,219	5,406	5,591	5,775
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
Доля негодных шпал, %/км	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
Доля шпал с выплесками, %/км	0,550	0,580	0,609	0,639	0,668	0,697	0,726	0,754	0,783	0,811	0,839	0,866
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	0,432	0,545	0,653	0,758	0,859	0,957	1,051	1,143	1,231	1,317	1,399	1,479
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,015	0,045	0,075	0,104	0,134	0,164	0,194	0,224	0,253	0,283	0,313	0,343

Таблица А.2 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути V, Г- 5 и менее млн.т брутто/км в год, годы расчета 12-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т, км/брутто в год	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	50,00	54,00	58,00	62,00	66,00	70,00	74,00	78,00	82,00	86,00	90,00	94,00	98,00
Выход ДР, шт/км	0,055	0,057	0,059	0,061	0,063	0,066	0,069	0,071	0,074	0,077	0,080	0,084	0,087
Выход ОДР, шт/км	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019	0,020	0,021	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026
Выход креплений, шт/км	0,213	0,233	0,252	0,272	0,292	0,312	0,333	0,354	0,375	0,396	0,418	0,440	0,463
Выход шпал, шт/км	0,115	0,120	0,125	0,129	0,134	0,139	0,143	0,148	0,152	0,157	0,162	0,166	0,171
ШК (допустимое), шт/км	0,337	0,347	0,357	0,367	0,377	0,387	0,396	0,404	0,413	0,421	0,429	0,437	0,445
ШК (нежелательное), шт/км	0,168	0,174	0,179	0,184	0,189	0,193	0,198	0,202	0,207	0,211	0,215	0,219	0,222
ШК (недопустимое), шт/км	0,084	0,087	0,089	0,092	0,094	0,097	0,099	0,101	0,103	0,105	0,107	0,109	0,111
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,168	1,224	1,280	1,334	1,387	1,439	1,490	1,540	1,588	1,635	1,681	1,726	1,770
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,584	0,612	0,640	0,667	0,694	0,720	0,745	0,770	0,794	0,818	0,841	0,863	0,885
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,292	0,306	0,320	0,334	0,347	0,360	0,373	0,385	0,397	0,409	0,420	0,432	0,443
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,388	0,406	0,422	0,437	0,451	0,464	0,475	0,486	0,496	0,505	0,514	0,521	0,528
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,194	0,203	0,211	0,218	0,225	0,232	0,238	0,243	0,248	0,253	0,257	0,261	0,264
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,097	0,101	0,105	0,109	0,113	0,116	0,119	0,122	0,124	0,126	0,128	0,130	0,132
Загрязненность балласта, %/км	5,957	6,138	6,317	6,495	6,671	6,845	7,018	7,190	7,360	7,529	7,696	7,861	8,026
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,007
Доля негодных шпал, %/км	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010
Доля шпал с выплесками, %/км	0,894	0,921	0,948	0,974	1,001	1,027	1,053	1,078	1,104	1,129	1,154	1,179	1,204
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	1,556	1,630	1,702	1,771	1,838	1,903	1,965	2,026	2,084	2,141	2,195	2,248	2,298
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,373	0,402	0,432	0,462	0,492	0,522	0,551	0,581	0,611	0,641	0,671	0,700	0,730

Таблица А.3 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути IV, Г- 5-10 млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	4,00	12,00	20,00	28,00	36,00	44,00	52,00	60,00	68,00	76,00	84,00	92,00
Выход ДР, шт/км	0,041	0,042	0,044	0,046	0,049	0,052	0,056	0,060	0,065	0,070	0,076	0,082
Выход ОДР, шт/км	0,012	0,013	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,021	0,023	0,025
Выход креплений, шт/км	0,018	0,049	0,081	0,114	0,149	0,185	0,223	0,262	0,302	0,343	0,386	0,429
Выход шпал, шт/км	0,062	0,072	0,081	0,090	0,099	0,109	0,118	0,127	0,136	0,145	0,155	0,164
ШК (допустимое), шт/км	0,191	0,219	0,247	0,272	0,297	0,320	0,342	0,362	0,382	0,400	0,417	0,433
ШК (нежелательное), шт/км	0,095	0,110	0,123	0,136	0,148	0,160	0,171	0,181	0,191	0,200	0,209	0,217
ШК (недопустимое), шт/км	0,048	0,055	0,062	0,068	0,074	0,080	0,085	0,091	0,095	0,100	0,104	0,108
П,Пр,У (допустимое), шт/км	0,416	0,560	0,699	0,831	0,958	1,080	1,196	1,307	1,414	1,515	1,612	1,704
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,208	0,280	0,349	0,416	0,479	0,540	0,598	0,654	0,707	0,758	0,806	0,852
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,104	0,140	0,175	0,208	0,240	0,270	0,299	0,327	0,353	0,379	0,403	0,426
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,073	0,145	0,210	0,266	0,316	0,359	0,397	0,429	0,457	0,481	0,501	0,517
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,036	0,073	0,105	0,133	0,158	0,180	0,198	0,215	0,229	0,240	0,250	0,259
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,018	0,036	0,052	0,067	0,079	0,090	0,099	0,107	0,114	0,120	0,125	0,129
Загрязненность балласта, %/км	3,765	4,161	4,551	4,935	5,312	5,683	6,048	6,406	6,758	7,104	7,444	7,779
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,006
Доля негодных шпал, %/км	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009	0,010
Доля шпал с выплесками, %/км	0,565	0,624	0,683	0,740	0,797	0,852	0,907	0,961	1,014	1,066	1,117	1,167
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	0,489	0,706	0,908	1,098	1,274	1,439	1,593	1,737	1,871	1,996	2,113	2,222
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,030	0,089	0,149	0,209	0,268	0,328	0,388	0,447	0,507	0,566	0,626	0,686

Таблица А.4 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути IV, Г- 5-10 млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т, км/брутто в год	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	100,00	108,00	116,00	124,00	132,00	140,00	148,00	156,00	164,00	172,00	180,00	188,00	196,00
Выход ДР, шт/км	0,089	0,096	0,103	0,112	0,120	0,129	0,138	0,148	0,158	0,169	0,180	0,191	0,203
Выход ОДР, шт/км	0,027	0,029	0,031	0,033	0,036	0,039	0,041	0,044	0,047	0,051	0,054	0,057	0,061
Выход креплений, шт/км	0,474	0,520	0,567	0,614	0,663	0,713	0,763	0,815	0,867	0,920	0,974	1,029	1,084
Выход шпал, шт/км	0,174	0,183	0,192	0,202	0,212	0,222	0,231	0,241	0,251	0,261	0,272	0,282	0,292
ШК (допустимое), шт/км	0,448	0,462	0,475	0,487	0,498	0,509	0,518	0,527	0,535	0,542	0,548	0,554	0,559
ШК (нежелательное), шт/км	0,224	0,231	0,238	0,244	0,249	0,254	0,259	0,263	0,267	0,271	0,274	0,277	0,280
ШК (недопустимое), шт/км	0,112	0,116	0,119	0,122	0,125	0,127	0,130	0,132	0,134	0,135	0,137	0,138	0,140
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,792	1,875	1,955	2,031	2,102	2,170	2,234	2,295	2,353	2,407	2,458	2,506	2,552
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,896	0,938	0,977	1,015	1,051	1,085	1,117	1,148	1,176	1,204	1,229	1,253	1,276
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,448	0,469	0,489	0,508	0,526	0,543	0,559	0,574	0,588	0,602	0,615	0,627	0,638
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,531	0,543	0,552	0,559	0,564	0,569	0,572	0,575	0,576	0,578	0,579	0,580	0,581
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,266	0,271	0,276	0,279	0,282	0,284	0,286	0,287	0,288	0,289	0,289	0,290	0,290
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,133	0,136	0,138	0,140	0,141	0,142	0,143	0,144	0,144	0,144	0,145	0,145	0,145
Загрязненность балласта, %/км	8,107	8,430	8,747	9,058	9,364	9,665	9,960	10,249	10,534	10,813	11,087	11,356	11,621
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,007	0,008	0,008	0,009	0,010	0,010	0,011	0,012	0,013	0,013	0,014	0,015	0,016
Доля негодных шпал, %/км	0,010	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013	0,014	0,015	0,015	0,016	0,016	0,017
Доля шпал с выплесками, %/км	1,216	1,264	1,312	1,359	1,405	1,450	1,494	1,537	1,580	1,622	1,663	1,703	1,743
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	2,323	2,418	2,507	2,589	2,667	2,739	2,807	2,870	2,929	2,985	3,037	3,086	3,132
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,745	0,805	0,864	0,924	0,984	1,043	1,103	1,163	1,222	1,282	1,341	1,401	1,461

Таблица А.5 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути III, Г- 10-25 млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Средняя осевая нагрузка, тс	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87
Общий пропущенный тоннаж	9	27	45	63	81	99	117	135	153	171	189	207
Выход ДР, шт/км	0,043	0,050	0,063	0,082	0,105	0,134	0,167	0,204	0,244	0,288	0,336	0,386
Выход ОДР, шт/км	0,013	0,015	0,019	0,025	0,032	0,040	0,050	0,061	0,073	0,087	0,101	0,116
Выход креплений, шт/км	0,055	0,171	0,302	0,447	0,605	0,774	0,953	1,141	1,336	1,539	1,746	1,959
Выход шпал, шт/км	0,073	0,105	0,136	0,168	0,200	0,233	0,268	0,303	0,340	0,378	0,418	0,459
ШК (допустимое), шт/км	0,225	0,311	0,382	0,439	0,485	0,520	0,546	0,564	0,575	0,580	0,581	0,578
ШК (нежелательное), шт/км	0,112	0,156	0,191	0,220	0,242	0,260	0,273	0,282	0,287	0,290	0,290	0,289
ШК (недопустимое), шт/км	0,056	0,078	0,095	0,110	0,121	0,130	0,136	0,141	0,144	0,145	0,145	0,144
П,Пр,У (допустимое), шт/км	0,588	1,032	1,413	1,739	2,015	2,246	2,438	2,593	2,718	2,816	2,890	2,943
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,294	0,516	0,707	0,870	1,008	1,123	1,219	1,297	1,359	1,408	1,445	1,472
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,147	0,258	0,353	0,435	0,504	0,562	0,609	0,648	0,680	0,704	0,722	0,736
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,063	0,119	0,171	0,218	0,260	0,299	0,334	0,365	0,393	0,419	0,441	0,461
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,032	0,060	0,085	0,109	0,130	0,149	0,167	0,183	0,197	0,209	0,221	0,231
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,016	0,030	0,043	0,054	0,065	0,075	0,083	0,091	0,098	0,105	0,110	0,115
Загрязненность балласта, %/км	5,16	8,04	10,53	12,67	14,50	16,05	17,37	18,47	19,38	20,13	20,75	21,25
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,001	0,002	0,004	0,007	0,009	0,011	0,014	0,017	0,019	0,022	0,025	0,028
Доля негодных шпал, %/км	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,027
Доля шпал с выплесками, %/км	0,774	1,205	1,579	1,900	2,175	2,408	2,605	2,770	2,907	3,020	3,112	3,187
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	0,652	1,151	1,584	1,957	2,275	2,545	2,771	2,959	3,112	3,234	3,331	3,405
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,063	0,188	0,314	0,439	0,565	0,690	0,816	0,941	1,067	1,192	1,318	1,444

Продолжение таблицы А.5

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Максимальный износ на участке, мм	0,433	1,298	2,163	3,028	3,893	4,759	5,624	6,489	7,354	8,220	9,085	9,950
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт второго уровня - КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Суммарный вес еды	112,27	182,19	243,82	297,99	345,50	387,08	423,41	455,13	482,84	507,08	528,35	547,10
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
Затраты на содержание, тыс.сум/км	2930,733	4751,509	6382,976	7845,45	9157,87	10337,84	11401,69	12364,49	13240,12	14041,29	14779,61	15465,59
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	2930,733	4751,509	6382,976	7845,45	9157,87	10337,84	11401,69	12364,49	13240,12	14041,29	14779,61	15465,59
Коэффициент готовности	0,984	0,975	0,967	0,961	0,955	0,949	0,945	0,941	0,938	0,935	0,932	0,930
Индекс предотказа	0,016	0,025	0,033	0,039	0,045	0,051	0,055	0,059	0,062	0,065	0,068	0,070
Количество отказов, шт./км	0,232	0,380	0,510	0,624	0,722	0,806	0,879	0,942	0,995	1,040	1,079	1,111
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,015	0,025	0,033	0,041	0,047	0,054	0,059	0,064	0,069	0,073	0,077	0,080
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

Таблица А.6 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути III, Г- 10-25 млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Средняя осевая нагрузка, тс	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87
Общий пропущенный тоннаж	243	261	279	297	315	333	351	369	387	405	423	441	243
Выход ДР, шт/км	0,494	0,551	0,610	0,670	0,731	0,794	0,857	0,921	0,985	1,049	1,113	1,177	0,494
Выход ОДР, шт/км	0,148	0,165	0,183	0,201	0,219	0,238	0,257	0,276	0,295	0,315	0,334	0,353	0,148
Выход креплений, шт/км	2,395	2,617	2,841	3,066	3,291	3,516	3,741	3,965	4,187	4,408	4,627	4,844	2,395
Выход шпал, шт/км	0,546	0,591	0,638	0,685	0,734	0,784	0,834	0,884	0,935	0,986	1,037	1,087	0,546
ШК (допустимое), шт/км	0,563	0,553	0,541	0,529	0,517	0,505	0,494	0,484	0,474	0,466	0,459	0,454	0,563
ШК (нежелательное), шт/км	0,281	0,276	0,271	0,265	0,259	0,253	0,247	0,242	0,237	0,233	0,230	0,227	0,281
ШК (недопустимое), шт/км	0,141	0,138	0,135	0,132	0,129	0,126	0,124	0,121	0,119	0,116	0,115	0,113	0,141
П,Пр,У (допустимое), шт/км	3,002	3,013	3,014	3,008	2,996	2,981	2,963	2,944	2,925	2,907	2,891	2,876	3,002
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	1,501	1,506	1,507	1,504	1,498	1,490	1,481	1,472	1,463	1,454	1,445	1,438	1,501
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,751	0,753	0,753	0,752	0,749	0,745	0,741	0,736	0,731	0,727	0,723	0,719	0,751
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,494	0,508	0,520	0,530	0,539	0,547	0,553	0,558	0,563	0,566	0,569	0,572	0,494
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,247	0,254	0,260	0,265	0,270	0,273	0,276	0,279	0,281	0,283	0,285	0,286	0,247
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,124	0,127	0,130	0,133	0,135	0,137	0,138	0,140	0,141	0,142	0,142	0,143	0,124
Загрязненность балласта, %/км	21,98	22,25	22,47	22,66	22,82	22,97	23,12	23,27	23,43	23,61	23,80	24,01	21,98
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,035	0,038	0,041	0,045	0,048	0,051	0,054	0,058	0,061	0,064	0,067	0,070	0,035
Доля негодных шпал, %/км	0,032	0,034	0,037	0,040	0,043	0,046	0,048	0,051	0,054	0,057	0,060	0,063	0,032
Доля шпал с выплесками, %/км	3,297	3,338	3,371	3,399	3,423	3,446	3,468	3,491	3,515	3,541	3,569	3,601	3,297
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	3,497	3,521	3,534	3,538	3,535	3,527	3,516	3,502	3,488	3,474	3,460	3,448	3,497
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	1,695	1,820	1,946	2,071	2,197	2,322	2,448	2,573	2,699	2,824	2,950	3,075	1,695

Продолжение таблицы А.6

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Максимальный износ на участке, мм	11,680	12,546	13,411	14,276	15,141	11,526	12,149	12,772	13,395	14,018	14,641	15,264	11,680
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Капитальный ремонт второго уровня- КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,Ц,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Суммарный вес еды	578,72	592,31	604,83	616,57	627,75	638,60	649,29	659,97	670,76	681,78	693,09	652,63	578,72
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	КРН	С
Затраты на содержание, тыс.сум/км	16717,61	17299,72	17861,77	18409,58	18948,14	19481,7	20013,76	20547,14	21084,04	21626,04	22174,18	22728,97	16717,61
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	37183,65	0	0	0	0	0	0	185918,3	0
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4828233	0
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	16717,61	17299,72	17861,77	18409,58	56131,79	19481,7	20013,76	20547,14	21084,04	21626,04	22174,18	5036880	16717,61
Коэффициент готовности	0,927	0,925	0,924	0,923	0,921	0,920	0,919	0,918	0,917	0,916	0,914	0,913	0,927
Индекс предотказа	0,073	0,075	0,076	0,077	0,079	0,080	0,081	0,082	0,083	0,084	0,086	0,087	0,073
Количество отказов, шт./км	1,163	1,184	1,202	1,218	1,233	1,246	1,260	1,273	1,286	1,300	1,314	1,329	1,163
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,087	0,090	0,092	0,095	0,098	0,101	0,104	0,106	0,109	0,112	0,115	0,118	0,087
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,003

Таблица А.7 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути II, Г- 25-50 млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	20	60	100	140	180	220	260	300	340	380	420	460
Выход ДР, шт/км	0,050	0,102	0,195	0,321	0,473	0,642	0,822	1,008	1,195	1,378	1,553	1,718
Выход ОДР, шт/км	0,015	0,031	0,059	0,096	0,142	0,192	0,247	0,303	0,359	0,413	0,466	0,515
Выход креплений, шт/км	0,167	0,590	1,111	1,700	2,332	2,987	2,740	3,401	4,059	4,705	5,331	4,525
Выход шпал, шт/км	0,104	0,197	0,297	0,409	0,533	0,669	0,693	0,839	0,988	1,135	1,274	1,212
ШК (допустимое), шт/км	0,309	0,481	0,561	0,581	0,566	0,534	0,537	0,502	0,472	0,453	0,446	0,451
ШК (нежелательное), шт/км	0,154	0,241	0,281	0,291	0,283	0,267	0,269	0,251	0,236	0,226	0,223	0,226
ШК (недопустимое), шт/км	0,077	0,120	0,140	0,145	0,141	0,133	0,134	0,125	0,118	0,113	0,111	0,113
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,018	1,990	2,570	2,875	2,997	3,011	2,028	2,591	2,884	3,000	3,010	2,031
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,509	0,995	1,285	1,437	1,499	1,505	1,014	1,296	1,442	1,500	1,505	1,016
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,255	0,498	0,643	0,719	0,749	0,753	0,507	0,648	0,721	0,750	0,752	0,508
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,065	0,125	0,180	0,229	0,273	0,313	0,128	0,182	0,231	0,275	0,315	0,128
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,033	0,063	0,090	0,114	0,137	0,157	0,064	0,091	0,116	0,138	0,157	0,064
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,016	0,031	0,045	0,057	0,068	0,078	0,032	0,046	0,058	0,069	0,079	0,032
Загрязненность балласта, %/км	13,838	21,603	23,289	25,175	28,187	30,669	20,751	23,011	24,625	27,480	30,259	20,699
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,002	0,009	0,016	0,025	0,034	0,043	0,040	0,049	0,059	0,068	0,077	0,066
Доля негодных шпал, %/км	0,006	0,011	0,017	0,024	0,031	0,039	0,040	0,049	0,057	0,066	0,074	0,070
Доля шпал с выплесками, %/км	2,076	3,240	3,493	3,776	4,228	4,600	3,113	3,452	3,694	4,122	4,539	3,105
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	1,083	2,115	2,750	3,103	3,270	3,324	2,156	2,773	3,116	3,275	3,325	2,160
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,138	0,414	0,690	0,966	1,242	1,518	1,794	2,070	2,346	2,622	2,898	3,174

Продолжение таблицы А.7

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Максимальный износ на участке, мм	0,882	2,646	4,410	6,174	7,939	9,703	11,467	13,231	14,995	16,759	13,155	14,408
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт второго уровня - КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Суммарный вес еды	224,41	384,96	463,37	523,80	581,60	627,81	486,50	570,16	630,05	688,82	739,62	599,86
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
Затраты на содержание, тыс.сум/км	6049,528	10686,87	13315,59	15602,38	17919,73	19997,04	16464	19844,51	22471,79	24956,85	27126,28	23260,5
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37183,65	0	0
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	587559,9	0	0	0	0	587559,9	0
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	6049,528	10686,87	13315,59	15602,38	17919,73	607556,9	16464	19844,51	22471,79	62140,51	614686,2	23260,5
Коэффициент готовности	0,970	0,949	0,938	0,930	0,923	0,917	0,934	0,924	0,916	0,908	0,901	0,919
Индекс предотказа	0,030	0,051	0,062	0,070	0,077	0,083	0,066	0,076	0,084	0,092	0,099	0,081
Количество отказов, шт./км	0,363	0,680	0,886	1,018	1,101	1,157	0,920	1,121	1,255	1,345	1,408	1,168
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,031	0,055	0,069	0,081	0,093	0,104	0,085	0,103	0,116	0,129	0,140	0,120
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,005

Таблица А.8 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути II, Г- 25-50 млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	500	540	580	620	660	700	740	780	820	860	900	940	980
Выход ДР, шт/км	1,872	2,013	2,143	2,263	2,378	2,490	2,607	2,736	2,886	3,068	3,295	3,581	3,942
Выход ОДР, шт/км	0,561	0,604	0,643	0,679	0,713	0,747	0,782	0,821	0,866	0,920	0,988	1,074	1,183
Выход креплений, шт/км	5,158	5,766	6,347	6,899	5,789	6,369	6,920	7,442	7,937	6,664	7,200	7,708	8,188
Выход шпал, шт/км	1,344	1,459	1,551	1,616	1,552	1,617	1,654	1,661	1,641	1,661	1,653	1,620	1,569
ШК (допустимое), шт/км	0,446	0,451	0,465	0,482	0,457	0,473	0,491	0,505	0,511	0,490	0,505	0,511	0,507
ШК (нежелательное), шт/км	0,223	0,226	0,232	0,241	0,229	0,237	0,245	0,252	0,256	0,245	0,252	0,256	0,254
ШК (недопустимое), шт/км	0,111	0,113	0,116	0,121	0,114	0,118	0,123	0,126	0,128	0,123	0,126	0,128	0,127
П,Пр,У (допустимое), шт/км	2,593	2,885	3,000	3,010	2,032	2,593	2,885	3,000	3,009	2,032	2,594	2,885	3,000
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	1,297	1,443	1,500	1,505	1,016	1,297	1,443	1,500	1,505	1,016	1,297	1,443	1,500
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,648	0,721	0,750	0,752	0,508	0,648	0,721	0,750	0,752	0,508	0,648	0,721	0,750
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,182	0,231	0,275	0,315	0,128	0,182	0,231	0,275	0,315	0,128	0,182	0,231	0,275
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,091	0,116	0,138	0,158	0,064	0,091	0,116	0,138	0,158	0,064	0,091	0,116	0,138
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,046	0,058	0,069	0,079	0,032	0,046	0,058	0,069	0,079	0,032	0,046	0,058	0,069
Загрязненность балласта, %/км	22,997	24,600	27,445	30,236	20,696	22,997	24,599	27,443	30,235	20,696	22,997	24,599	27,443
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,075	0,084	0,092	0,100	0,084	0,093	0,101	0,108	0,115	0,097	0,105	0,112	0,119
Доля негодных шпал, %/км	0,078	0,085	0,090	0,094	0,090	0,094	0,096	0,097	0,095	0,097	0,096	0,094	0,091
Доля шпал с выплесками, %/км	3,450	3,690	4,117	4,535	3,104	3,450	3,690	4,116	4,535	3,104	3,450	3,690	4,116
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	2,776	3,117	3,276	3,325	2,160	2,776	3,117	3,276	3,325	2,160	2,776	3,117	3,276
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	3,450	3,726	4,002	4,278	4,554	4,830	5,106	5,382	5,658	5,934	6,210	6,486	6,762

Продолжение таблицы А.8

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Максимальный износ на участке, мм	15,661	7,057	8,821	10,585	12,349	14,113	15,877	8,770	10,023	11,276	12,529	13,781	15,034
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Капитальный ремонт второго уровня- КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,Ц,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Суммарный вес еды	682,54	740,18	795,84	842,95	696,21	776,28	832,22	887,68	936,80	796,91	887,82	959,30	931,02
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	КРН
Затраты на содержание, тыс.сум/км	26425,01	28722,48	30809,15	32553,1	28224,41	31061,23	33119,54	35104,22	36934,94	33019,63	36487,55	39519,43	42881,56
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	185918,3	0	0	0	0	0	37183,65	0	0	0	0	0	185918,3
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	587559,9	0	0	0	0	587559,9	0	0	0	4828233
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	212343,3	28722,48	30809,15	620113	28224,41	31061,23	70303,2	35104,22	624494,8	33019,63	36487,55	39519,43	5057032
Коэффициент готовности	0,908	0,901	0,894	0,888	0,907	0,897	0,889	0,882	0,876	0,894	0,882	0,873	0,862
Индекс предотказа	0,092	0,099	0,106	0,112	0,093	0,103	0,111	0,118	0,124	0,106	0,118	0,127	0,138
Количество отказов, шт./км	1,367	1,496	1,578	1,631	1,368	1,559	1,684	1,766	1,825	1,583	1,809	1,981	2,128
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,137	0,149	0,160	0,169	0,146	0,161	0,171	0,182	0,191	0,171	0,189	0,205	0,222
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,005	0,006	0,006	0,007	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,007	0,008	0,008	0,009

Таблица А.9 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути I, Г- 50 и более млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	30	90	150	210	270	330	390	450	510	570	630	690
Выход ДР, шт/км	0,058	0,169	0,357	0,598	0,868	1,149	1,422	1,678	1,908	2,111	2,292	2,462
Выход ОДР, шт/км	0,018	0,051	0,107	0,179	0,261	0,345	0,427	0,503	0,572	0,633	0,688	0,739
Выход креплений, шт/км	0,261	0,973	1,855	2,822	2,946	3,937	4,903	5,821	5,225	6,123	6,958	7,728
Выход шпал, шт/км	0,127	0,271	0,439	0,634	0,735	0,956	1,176	1,373	1,365	1,523	1,625	1,662
ШК (допустимое), шт/км	0,362	0,548	0,580	0,542	0,526	0,477	0,449	0,448	0,446	0,459	0,484	0,506
ШК (нежелательное), шт/км	0,181	0,274	0,290	0,271	0,263	0,239	0,225	0,224	0,223	0,230	0,242	0,253
ШК (недопустимое), шт/км	0,091	0,137	0,145	0,136	0,132	0,119	0,112	0,112	0,111	0,115	0,121	0,127
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,305	2,455	2,919	3,014	2,336	2,880	3,014	2,969	2,405	2,903	3,015	2,962
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,653	1,228	1,460	1,507	1,168	1,440	1,507	1,485	1,203	1,452	1,507	1,481
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,326	0,614	0,730	0,754	0,584	0,720	0,753	0,742	0,601	0,726	0,754	0,741
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,081	0,166	0,240	0,303	0,154	0,230	0,295	0,350	0,161	0,236	0,300	0,354
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,040	0,083	0,120	0,152	0,077	0,115	0,147	0,175	0,081	0,118	0,150	0,177
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,020	0,042	0,060	0,076	0,039	0,057	0,074	0,087	0,040	0,059	0,075	0,088
Загрязненность балласта, %/км	16,972	22,981	25,865	30,207	22,256	24,597	28,975	31,220	22,353	24,713	29,119	31,214
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,004	0,014	0,027	0,041	0,043	0,057	0,071	0,085	0,076	0,089	0,101	0,112
Доля негодных шпал, %/км	0,007	0,016	0,026	0,037	0,043	0,056	0,068	0,080	0,079	0,089	0,094	0,097
Доля шпал с выплесками, %/км	2,546	3,447	3,880	4,531	3,338	3,690	4,346	4,683	3,353	3,707	4,368	4,682
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	1,386	2,622	3,159	3,318	2,490	3,110	3,309	3,319	2,567	3,139	3,314	3,316
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,207	0,621	1,035	1,449	1,863	2,277	2,691	3,105	3,519	3,933	4,347	4,761

Продолжение таблицы А.9

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Максимальный износ на участке, мм	1,323	3,969	6,615	9,262	11,908	14,554	17,200	14,095	15,974	7,939	10,585	13,231
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт второго уровня - КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Суммарный вес еды	277,45	444,44	534,45	612,22	520,11	614,43	699,09	752,42	653,86	741,83	819,56	863,98
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
Затраты на содержание, тыс.сум/км	7555,345	12728,44	16183,44	19520,83	17927,21	22083,7	25742,92	28354,16	26123,14	29622,49	32515,7	34348,47
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	37183,65	0	185918,3	0	0	0
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	587559,9	0	0	0	587559,9	0	0	0	587559,9
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	7555,345	12728,44	16183,44	607080,7	17927,21	22083,7	62926,57	615914,1	212041,4	29622,49	32515,7	621908,4
Коэффициент готовности	0,963	0,941	0,928	0,918	0,929	0,917	0,905	0,898	0,910	0,898	0,888	0,882
Индекс предотказа	0,037	0,059	0,072	0,082	0,071	0,083	0,095	0,102	0,090	0,102	0,112	0,118
Количество отказов, шт./км	0,455	0,843	1,042	1,144	1,015	1,241	1,366	1,445	1,326	1,533	1,637	1,694
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,039	0,066	0,084	0,101	0,093	0,114	0,133	0,147	0,135	0,153	0,168	0,178
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,005	0,006	0,007	0,007

Таблица А.10 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (облегченная конструкция, категория пути I, Г- 50 и более млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	750	810	870	930	990	1050	1110	1170	1230	1290	1350	1410	1470
Выход ДР, шт/км	2,638	2,846	3,120	3,503	4,046	4,813	5,875	7,315	9,230	11,727	14,924	18,957	0,102
Выход ОДР, шт/км	0,791	0,854	0,936	1,051	1,214	1,444	1,762	2,195	2,769	3,518	4,477	5,687	0,031
Выход креплений, шт/км	6,762	7,547	8,271	8,937	7,784	8,489	9,138	9,736	8,481	9,131	9,729	10,273	8,968
Выход шпал, шт/км	1,652	1,656	1,603	1,520	1,593	1,509	1,446	1,477	1,454	1,460	1,637	2,106	1,528
ШК (допустимое), шт/км	0,487	0,508	0,509	0,485	0,511	0,495	0,456	0,411	0,483	0,439	0,401	0,418	0,435
ШК (нежелательное), шт/км	0,244	0,254	0,254	0,242	0,256	0,247	0,228	0,206	0,242	0,220	0,201	0,209	0,218
ШК (недопустимое), шт/км	0,122	0,127	0,127	0,121	0,128	0,124	0,114	0,103	0,121	0,110	0,100	0,105	0,109
П,Пр,У (допустимое), шт/км	2,412	2,905	3,015	2,962	2,413	2,905	3,015	2,962	2,413	2,905	3,015	2,962	2,413
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	1,206	1,453	1,507	1,481	1,206	1,453	1,507	1,481	1,206	1,453	1,507	1,481	1,206
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,603	0,726	0,754	0,740	0,603	0,726	0,754	0,740	0,603	0,726	0,754	0,740	0,603
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,162	0,236	0,300	0,354	0,162	0,236	0,300	0,354	0,162	0,236	0,300	0,354	0,162
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,081	0,118	0,150	0,177	0,081	0,118	0,150	0,177	0,081	0,118	0,150	0,177	0,081
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,040	0,059	0,075	0,089	0,041	0,059	0,075	0,089	0,041	0,059	0,075	0,089	0,041
Загрязненность балласта, %/км	22,357	24,719	29,126	31,214	22,358	24,720	29,127	31,214	22,358	24,720	29,127	31,214	22,358
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,098	0,110	0,120	0,130	0,113	0,123	0,133	0,142	0,123	0,133	0,141	0,149	0,130
Доля негодных шпал, %/км	0,096	0,096	0,093	0,088	0,093	0,088	0,084	0,086	0,085	0,085	0,095	0,122	0,089
Доля шпал с выплесками, %/км	3,354	3,708	4,369	4,682	3,354	3,708	4,369	4,682	3,354	3,708	4,369	4,682	3,354
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	2,574	3,142	3,315	3,316	2,575	3,142	3,315	3,316	2,575	3,142	3,315	3,316	2,575
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	5,175	5,589	6,003	6,417	6,831	7,245	7,659	8,073	8,487	8,901	9,316	9,730	10,144

Продолжение таблицы А.10

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Максимальный износ на участке, мм	15,877	9,396	11,276	13,155	15,034	13,231	15,877	5,638	7,517	9,396	11,276	13,231	15,877
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Капитальный ремонт второго уровня- КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,Ц,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
Суммарный вес ед	759,58	847,95	932,69	994,37	928,69	1068,50	1226,73	1389,58	1459,59	1765,10	2130,50	2541,98	499,77
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	РС	КРН
Затраты на содержание, тыс.сум/км	31632,66	34977,54	38266,34	41269,97	40830,02	47530,9	55665,16	65297,54	73267,26	90760,93	112338,1	138417,79	16802,31
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	37183,65	0	0	0	185918,3	0	37183,65	0	0	0	0	0	223101,919
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	587559,9	0	0	0	587559,9	0	0	0	1182498,34	4828232,5
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	68816,32	34977,54	38266,34	628829,9	226748,3	47530,9	92848,81	652857,4	73267,26	90760,93	112338,1	1320916,13	5068136,73
Коэффициент готовности	0,896	0,884	0,873	0,865	0,872	0,852	0,829	0,804	0,789	0,742	0,685	0,617	0,935
Индекс предотказа	0,104	0,116	0,127	0,135	0,128	0,148	0,171	0,196	0,211	0,258	0,315	0,383	0,065
Количество отказов, шт./км	1,557	1,766	1,892	2,001	1,985	2,353	2,705	3,127	3,534	4,413	5,406	6,621	0,783
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,164	0,181	0,198	0,214	0,211	0,246	0,288	0,338	0,379	0,470	0,582	0,717	0,087
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,007	0,007	0,008	0,009	0,008	0,010	0,012	0,014	0,015	0,019	0,023	0,029	0,003

Таблица А.11 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути V, Г- 5 и менее млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
Выход ДР, шт/км	0,041	0,041	0,042	0,042	0,042	0,043	0,043	0,044	0,045	0,045	0,046	0,047
Выход ОДР, шт/км	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014
Выход скреплений, шт/км	0,011	0,026	0,041	0,056	0,073	0,089	0,106	0,123	0,140	0,158	0,176	0,195
Выход шпал, шт/км	0,060	0,065	0,069	0,074	0,079	0,083	0,088	0,092	0,097	0,102	0,106	0,111
ШК (допустимое), шт/км	0,183	0,198	0,212	0,226	0,240	0,253	0,266	0,279	0,291	0,303	0,314	0,326
ШК (нежелательное), шт/км	0,092	0,099	0,106	0,113	0,120	0,127	0,133	0,139	0,145	0,151	0,157	0,163
ШК (недопустимое), шт/км	0,046	0,049	0,053	0,057	0,060	0,063	0,067	0,070	0,073	0,076	0,079	0,081
П,Пр,У (допустимое), шт/км	0,379	0,452	0,524	0,595	0,664	0,731	0,797	0,862	0,925	0,987	1,048	1,107
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,190	0,226	0,262	0,297	0,332	0,365	0,399	0,431	0,462	0,493	0,524	0,553
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,095	0,113	0,131	0,149	0,166	0,183	0,199	0,215	0,231	0,247	0,262	0,277
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,063	0,118	0,169	0,215	0,257	0,296	0,330	0,362	0,390	0,415	0,438	0,458
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,031	0,059	0,084	0,108	0,129	0,148	0,165	0,181	0,195	0,208	0,219	0,229
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,016	0,030	0,042	0,054	0,064	0,074	0,083	0,090	0,098	0,104	0,109	0,114
Загрязненность балласта, %/км	3,664	3,864	4,062	4,258	4,453	4,646	4,838	5,028	5,216	5,403	5,588	5,771
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных скреплений, %/км	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
Доля негодных шпал, %/км	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
Доля шпал с выплесками, %/км	0,550	0,580	0,609	0,639	0,668	0,697	0,726	0,754	0,782	0,810	0,838	0,866
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	0,442	0,571	0,693	0,810	0,921	1,027	1,128	1,224	1,315	1,402	1,485	1,565
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,015	0,045	0,075	0,104	0,134	0,164	0,194	0,224	0,253	0,283	0,313	0,343

Таблица А.12 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути V, Г- 5 и менее млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98
Выход ДР, шт/км	0,048	0,049	0,050	0,051	0,052	0,053	0,055	0,056	0,057	0,059	0,060	0,062	0,064
Выход ОДР, шт/км	0,014	0,015	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019	0,019
Выход креплений, шт/км	0,213	0,233	0,252	0,272	0,292	0,312	0,333	0,354	0,375	0,397	0,418	0,441	0,463
Выход шпал, шт/км	0,115	0,120	0,125	0,129	0,134	0,139	0,143	0,148	0,152	0,157	0,162	0,166	0,171
ШК (допустимое), шт/км	0,337	0,347	0,358	0,367	0,377	0,387	0,396	0,405	0,413	0,421	0,429	0,437	0,445
ШК (нежелательное), шт/км	0,168	0,174	0,179	0,184	0,189	0,193	0,198	0,202	0,207	0,211	0,215	0,219	0,222
ШК (недопустимое), шт/км	0,084	0,087	0,089	0,092	0,094	0,097	0,099	0,101	0,103	0,105	0,107	0,109	0,111
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,165	1,221	1,277	1,331	1,384	1,436	1,487	1,536	1,584	1,631	1,677	1,722	1,766
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,582	0,611	0,638	0,666	0,692	0,718	0,743	0,768	0,792	0,816	0,839	0,861	0,883
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,291	0,305	0,319	0,333	0,346	0,359	0,372	0,384	0,396	0,408	0,419	0,431	0,442
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,476	0,492	0,505	0,517	0,528	0,537	0,545	0,551	0,557	0,561	0,565	0,569	0,571
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,238	0,246	0,253	0,259	0,264	0,268	0,272	0,276	0,278	0,281	0,283	0,284	0,286
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,119	0,123	0,126	0,129	0,132	0,134	0,136	0,138	0,139	0,140	0,141	0,142	0,143
Загрязненность балласта, %/км	5,953	6,134	6,313	6,490	6,666	6,840	7,013	7,185	7,354	7,523	7,690	7,855	8,019
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006
Доля негодных шпал, %/км	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009
Доля шпал с выплесками, %/км	0,893	0,920	0,947	0,974	1,000	1,026	1,052	1,078	1,103	1,128	1,153	1,178	1,203
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	1,641	1,713	1,782	1,849	1,912	1,973	2,031	2,087	2,141	2,193	2,243	2,291	2,337
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,373	0,402	0,432	0,462	0,492	0,522	0,551	0,581	0,611	0,641	0,671	0,700	0,730

Таблица А.13 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути IV, Г- 5-10, млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92
Выход ДР, шт/км	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,047	0,048	0,050	0,053	0,055	0,058	0,061
Выход ОДР, шт/км	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,015	0,015	0,016	0,017	0,017	0,018
Выход скреплений, шт/км	0,018	0,049	0,081	0,114	0,149	0,185	0,223	0,262	0,302	0,343	0,386	0,429
Выход шпал, шт/км	0,062	0,072	0,081	0,090	0,099	0,109	0,118	0,127	0,136	0,145	0,155	0,164
ШК (допустимое), шт/км	0,191	0,219	0,247	0,272	0,297	0,320	0,342	0,363	0,382	0,400	0,417	0,433
ШК (нежелательное), шт/км	0,095	0,110	0,123	0,136	0,148	0,160	0,171	0,181	0,191	0,200	0,209	0,217
ШК (недопустимое), шт/км	0,048	0,055	0,062	0,068	0,074	0,080	0,085	0,091	0,095	0,100	0,104	0,108
П,Пр,У (допустимое), шт/км	0,416	0,560	0,697	0,830	0,956	1,077	1,193	1,304	1,410	1,511	1,608	1,700
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,208	0,280	0,349	0,415	0,478	0,539	0,597	0,652	0,705	0,756	0,804	0,850
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,104	0,140	0,174	0,207	0,239	0,269	0,298	0,326	0,353	0,378	0,402	0,425
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,091	0,193	0,277	0,347	0,403	0,448	0,484	0,512	0,533	0,548	0,559	0,567
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,046	0,096	0,139	0,173	0,201	0,224	0,242	0,256	0,266	0,274	0,280	0,284
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,023	0,048	0,069	0,087	0,101	0,112	0,121	0,128	0,133	0,137	0,140	0,142
Загрязненность балласта, %/км	3,764	4,160	4,550	4,933	5,310	5,680	6,044	6,402	6,753	7,099	7,439	7,773
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных скреплений, %/км	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006
Доля негодных шпал, %/км	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009
Доля шпал с выплесками, %/км	0,565	0,624	0,682	0,740	0,796	0,852	0,907	0,960	1,013	1,065	1,116	1,166
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	0,507	0,752	0,975	1,176	1,359	1,526	1,677	1,816	1,943	2,059	2,167	2,267
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,030	0,089	0,149	0,209	0,268	0,328	0,388	0,447	0,507	0,566	0,626	0,686

Таблица А.14 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути IV, Г- 5-10, млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т, км/брутто в год	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Средняя осевая нагрузка, тс	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86
Общий пропущенный тоннаж	100	108	116	124	132	140	148	156	164	172	180	188	196
Выход ДР, шт/км	0,064	0,068	0,072	0,076	0,080	0,084	0,089	0,093	0,098	0,104	0,109	0,115	0,120
Выход ОДР, шт/км	0,019	0,020	0,021	0,023	0,024	0,025	0,027	0,028	0,030	0,031	0,033	0,034	0,036
Выход креплений, шт/км	0,474	0,520	0,567	0,615	0,663	0,713	0,764	0,815	0,867	0,921	0,975	1,029	1,085
Выход шпал, шт/км	0,174	0,183	0,193	0,202	0,212	0,222	0,231	0,241	0,251	0,261	0,272	0,282	0,292
ШК (допустимое), шт/км	0,448	0,462	0,475	0,487	0,498	0,509	0,518	0,527	0,535	0,542	0,548	0,554	0,559
ШК (нежелательное), шт/км	0,224	0,231	0,238	0,244	0,249	0,254	0,259	0,263	0,267	0,271	0,274	0,277	0,280
ШК (недопустимое), шт/км	0,112	0,116	0,119	0,122	0,125	0,127	0,130	0,132	0,134	0,135	0,137	0,138	0,140
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,788	1,871	1,951	2,026	2,098	2,166	2,230	2,291	2,348	2,403	2,454	2,502	2,547
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,894	0,936	0,975	1,013	1,049	1,083	1,115	1,145	1,174	1,201	1,227	1,251	1,274
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,447	0,468	0,488	0,507	0,524	0,541	0,557	0,573	0,587	0,601	0,613	0,626	0,637
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,572	0,576	0,578	0,579	0,580	0,582	0,584	0,586	0,589	0,593	0,597	0,603	0,609
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,286	0,288	0,289	0,290	0,290	0,291	0,292	0,293	0,294	0,296	0,299	0,301	0,305
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,143	0,144	0,144	0,145	0,145	0,145	0,146	0,146	0,147	0,148	0,149	0,151	0,152
Загрязненность балласта, %/км	8,101	8,423	8,740	9,051	9,356	9,656	9,951	10,240	10,525	10,804	11,077	11,346	11,610
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,006	0,007	0,008	0,008	0,009	0,009	0,010	0,011	0,011	0,012	0,013	0,014	0,014
Доля негодных шпал, %/км	0,009	0,010	0,010	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013	0,014	0,014	0,015	0,015
Доля шпал с выплесками, %/км	1,215	1,263	1,311	1,358	1,403	1,448	1,493	1,536	1,579	1,621	1,662	1,702	1,742
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	2,360	2,447	2,528	2,605	2,678	2,747	2,814	2,877	2,937	2,995	3,051	3,105	3,157
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,745	0,805	0,864	0,924	0,984	1,043	1,103	1,163	1,222	1,282	1,341	1,401	1,461

Таблица А.15 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути III, Г- 10-25, млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Средняя осевая нагрузка, тс	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87
Общий пропущенный тоннаж	9	27	45	63	81	99	117	135	153	171	189	207
Выход ДР, шт/км	0,042	0,046	0,052	0,061	0,073	0,087	0,103	0,122	0,143	0,165	0,190	0,216
Выход ОДР, шт/км	0,013	0,014	0,016	0,018	0,022	0,026	0,031	0,037	0,043	0,050	0,057	0,065
Выход скреплений, шт/км	0,055	0,171	0,302	0,447	0,605	0,774	0,953	1,141	1,337	1,539	1,747	1,959
Выход шпал, шт/км	0,073	0,105	0,136	0,168	0,200	0,233	0,268	0,303	0,340	0,378	0,418	0,459
ШК (допустимое), шт/км	0,225	0,311	0,382	0,439	0,485	0,520	0,546	0,564	0,575	0,580	0,581	0,578
ШК (нежелательное), шт/км	0,112	0,156	0,191	0,220	0,242	0,260	0,273	0,282	0,287	0,290	0,290	0,289
ШК (недопустимое), шт/км	0,056	0,078	0,095	0,110	0,121	0,130	0,136	0,141	0,144	0,145	0,145	0,144
П,Пр,У (допустимое), шт/км	0,588	1,029	1,410	1,735	2,011	2,242	2,433	2,590	2,715	2,813	2,887	2,941
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,294	0,515	0,705	0,868	1,005	1,121	1,217	1,295	1,357	1,406	1,444	1,471
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,147	0,257	0,352	0,434	0,503	0,560	0,608	0,647	0,679	0,703	0,722	0,735
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,075	0,150	0,217	0,275	0,326	0,370	0,408	0,440	0,467	0,490	0,510	0,525
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,037	0,075	0,108	0,138	0,163	0,185	0,204	0,220	0,234	0,245	0,255	0,263
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,019	0,038	0,054	0,069	0,081	0,092	0,102	0,110	0,117	0,123	0,127	0,131
Загрязненность балласта, %/км	5,157	8,029	10,516	12,656	14,486	16,042	17,354	18,453	19,367	20,120	20,738	21,240
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных скреплений, %/км	0,001	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023	0,026
Доля негодных шпал, %/км	0,004	0,006	0,007	0,009	0,011	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024
Доля шпал с выплесками, %/км	0,774	1,204	1,577	1,898	2,173	2,406	2,603	2,768	2,905	3,018	3,111	3,186
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	0,662	1,179	1,627	2,010	2,337	2,612	2,841	3,030	3,182	3,303	3,397	3,467
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,063	0,188	0,314	0,439	0,565	0,690	0,816	0,941	1,067	1,192	1,318	1,444

Продолжение таблицы А.15

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Максимальный износ на участке, мм	0,433	1,298	2,163	3,028	3,893	4,759	5,624	6,489	7,354	8,220	9,085	9,950
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт второго уровня - КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Суммарный вес еды	112,79	183,46	245,30	299,21	346,03	386,53	421,45	451,45	477,18	499,21	518,08	534,28
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
Затраты на содержание, тыс.сум/км	2927,15	4725,96	6316,89	7721,65	8960,53	10052,52	11015,26	11865,16	12617,38	13285,93	13883,63	14422,25
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	2927,15	4725,961	6316,893	7721,646	8960,533	10052,52	11015,26	11865,16	12617,38	13285,93	13883,63	14422,25
Коэффициент готовности	0,984	0,975	0,967	0,960	0,955	0,950	0,945	0,942	0,939	0,936	0,934	0,932
Индекс предотказа	0,016	0,025	0,033	0,040	0,045	0,050	0,055	0,058	0,061	0,064	0,066	0,068
Количество отказов, шт./км	0,234	0,386	0,518	0,631	0,727	0,809	0,878	0,935	0,982	1,020	1,051	1,076
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,014	0,023	0,031	0,038	0,044	0,049	0,054	0,058	0,062	0,065	0,068	0,071
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003

Таблица А.16 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути III, Г- 10-25, млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т, км/брутто в год	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Средняя осевая нагрузка, тс	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87	16,87
Общий пропущенный тоннаж	225	243	261	279	297	315	333	351	369	387	405	423	441
Выход ДР, шт/км	0,245	0,274	0,305	0,338	0,372	0,407	0,443	0,481	0,519	0,558	0,598	0,639	0,680
Выход ОДР, шт/км	0,073	0,082	0,092	0,101	0,112	0,122	0,133	0,144	0,156	0,167	0,179	0,192	0,204
Выход креплений, шт/км	2,176	2,396	2,618	2,841	3,066	3,292	3,517	3,742	3,966	4,188	4,409	4,628	4,844
Выход шпал, шт/км	0,502	0,546	0,591	0,638	0,686	0,734	0,784	0,834	0,885	0,935	0,986	1,037	1,087
ШК (допустимое), шт/км	0,571	0,563	0,553	0,541	0,529	0,517	0,505	0,494	0,484	0,474	0,466	0,459	0,454
ШК (нежелательное), шт/км	0,286	0,281	0,276	0,271	0,265	0,259	0,253	0,247	0,242	0,237	0,233	0,230	0,227
ШК (недопустимое), шт/км	0,143	0,141	0,138	0,135	0,132	0,129	0,126	0,124	0,121	0,119	0,116	0,115	0,113
П,Пр,У (допустимое), шт/км	2,979	3,001	3,013	3,014	3,008	2,997	2,982	2,964	2,945	2,927	2,909	2,892	2,878
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	1,489	1,501	1,506	1,507	1,504	1,499	1,491	1,482	1,473	1,463	1,454	1,446	1,439
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,745	0,750	0,753	0,754	0,752	0,749	0,745	0,741	0,736	0,732	0,727	0,723	0,719
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,538	0,549	0,557	0,563	0,568	0,572	0,574	0,576	0,578	0,579	0,580	0,581	0,582
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,269	0,274	0,278	0,282	0,284	0,286	0,287	0,288	0,289	0,289	0,290	0,290	0,291
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,135	0,137	0,139	0,141	0,142	0,143	0,144	0,144	0,144	0,145	0,145	0,145	0,145
Загрязненность балласта, %/км	21,647	21,976	22,245	22,466	22,654	22,818	22,970	23,117	23,268	23,427	23,599	23,788	23,998
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,029	0,032	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,050	0,053	0,055	0,058	0,061	0,064
Доля негодных шпал, %/км	0,027	0,029	0,031	0,034	0,036	0,039	0,042	0,044	0,047	0,050	0,052	0,055	0,058
Доля шпал с выплесками, %/км	3,247	3,296	3,337	3,370	3,398	3,423	3,446	3,468	3,490	3,514	3,540	3,568	3,600
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	3,517	3,550	3,569	3,577	3,576	3,569	3,556	3,541	3,523	3,505	3,488	3,473	3,459
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	1,569	1,695	1,820	1,946	2,071	2,197	2,322	2,448	2,573	2,699	2,824	2,950	3,075

Продолжение таблицы А.16

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Максимальный износ на участке, мм	10,815	11,680	12,546	13,411	14,276	15,141	11,526	12,149	12,772	13,395	14,018	14,641	15,264
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Капитальный ремонт второго уровня- КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Суммарный вес ед	548,27	560,45	571,20	580,85	589,70	598,00	605,99	613,88	621,82	629,97	638,43	647,30	602,72
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	КРН
Затраты на содержание, тыс.сум/км	14912,48	15363,97	15785,44	16184,62	16568,39	16942,75	17312,89	17683,24	18057,48	18438,61	18828,98	19230,34	19643,85
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	39140,69	0	0	0	0	0	0	195703,4
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5082350
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	14912,48	15363,97	15785,44	16184,62	16568,39	56083,44	17312,89	17683,24	18057,48	18438,61	18828,98	19230,34	5297697
Коэффициент готовности	0,931	0,930	0,929	0,928	0,927	0,926	0,926	0,925	0,924	0,924	0,923	0,922	0,921
Индекс предотказа	0,069	0,070	0,071	0,072	0,073	0,074	0,074	0,075	0,076	0,076	0,077	0,078	0,079
Количество отказов, шт./км	1,095	1,111	1,122	1,131	1,138	1,144	1,148	1,153	1,157	1,162	1,168	1,175	1,182
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,073	0,076	0,078	0,080	0,081	0,083	0,085	0,087	0,089	0,091	0,093	0,095	0,097
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004

Таблица А.17 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути II, Г- 25-50, млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	20	60	100	140	180	220	260	300	340	380	420	460
Выход ДР, шт/км	0,045	0,072	0,118	0,183	0,264	0,358	0,462	0,575	0,695	0,819	0,946	1,074
Выход ОДР, шт/км	0,014	0,021	0,036	0,055	0,079	0,107	0,139	0,173	0,209	0,246	0,284	0,322
Выход скреплений, шт/км	0,167	0,590	1,111	1,700	2,333	2,988	2,741	3,401	4,060	4,706	5,332	4,526
Выход шпал, шт/км	0,104	0,197	0,297	0,409	0,533	0,669	0,694	0,839	0,988	1,135	1,274	1,213
ШК (допустимое), шт/км	0,309	0,481	0,561	0,581	0,566	0,534	0,537	0,502	0,472	0,453	0,446	0,451
ШК (нежелательное), шт/км	0,154	0,241	0,281	0,291	0,283	0,267	0,269	0,251	0,236	0,226	0,223	0,226
ШК (недопустимое), шт/км	0,077	0,120	0,140	0,145	0,141	0,133	0,134	0,125	0,118	0,113	0,111	0,113
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,016	1,987	2,567	2,872	2,996	3,011	2,024	2,588	2,882	2,999	3,010	2,028
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,508	0,993	1,283	1,436	1,498	1,506	1,012	1,294	1,441	1,500	1,505	1,014
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,254	0,497	0,642	0,718	0,749	0,753	0,506	0,647	0,721	0,750	0,753	0,507
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,079	0,161	0,232	0,294	0,346	0,391	0,165	0,235	0,296	0,349	0,393	0,165
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,039	0,080	0,116	0,147	0,173	0,196	0,082	0,118	0,148	0,174	0,197	0,082
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,020	0,040	0,058	0,073	0,087	0,098	0,041	0,059	0,074	0,087	0,098	0,041
Загрязненность балласта, %/км	13,836	21,602	23,288	25,173	28,184	30,666	20,749	23,010	24,623	27,477	30,256	20,697
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных скреплений, %/км	0,002	0,008	0,015	0,023	0,031	0,040	0,036	0,045	0,054	0,062	0,071	0,060
Доля негодных шпал, %/км	0,006	0,010	0,016	0,022	0,028	0,035	0,037	0,044	0,052	0,060	0,067	0,064
Доля шпал с выплесками, %/км	2,075	3,240	3,493	3,776	4,228	4,600	3,112	3,452	3,694	4,122	4,538	3,105
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	1,095	2,147	2,799	3,166	3,343	3,402	2,188	2,823	3,179	3,348	3,403	2,193
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,138	0,414	0,690	0,966	1,242	1,518	1,794	2,070	2,346	2,622	2,898	3,174

Продолжение таблицы А.17

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Максимальный износ на участке, мм	0,882	2,646	4,410	6,174	7,939	9,703	11,467	13,231	14,995	16,759	13,155	14,408
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт второго уровня - КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Суммарный вес еды	224,58	383,78	458,75	514,08	565,63	604,91	453,35	530,98	585,17	638,83	685,27	539,00
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
Затраты на содержание, тыс.сум/км	6022,979	10497,34	12842,12	14755,14	16639,37	18252,74	14227,93	17159,75	19376,16	21502,12	23374,43	19256,46
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39140,69	0	0
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	618484,1	0	0	0	0	618484,1	0
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	6022,979	10497,34	12842,12	14755,14	16639,37	636736,8	14227,93	17159,75	19376,16	60642,81	641858,5	19256,46
Коэффициент готовности	0,970	0,949	0,939	0,932	0,926	0,921	0,940	0,930	0,923	0,916	0,910	0,929
Индекс предотказа	0,030	0,051	0,061	0,068	0,074	0,079	0,060	0,070	0,077	0,084	0,090	0,071
Количество отказов, шт./км	0,364	0,679	0,876	0,992	1,056	1,091	0,820	1,004	1,121	1,196	1,246	0,983
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,030	0,052	0,063	0,073	0,082	0,090	0,070	0,084	0,095	0,106	0,115	0,095
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,004

Таблица А.18 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути II, Г- 25-50, млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	500	540	580	620	660	700	740	780	820	860	900	940	980
Выход ДР, шт/км	1,201	1,326	1,448	1,566	1,680	1,788	1,890	1,987	2,078	2,165	2,247	2,326	2,403
Выход ОДР, шт/км	0,360	0,398	0,434	0,470	0,504	0,536	0,567	0,596	0,623	0,649	0,674	0,698	0,721
Выход креплений, шт/км	5,158	5,766	6,348	6,900	5,790	6,370	6,921	7,443	7,938	6,665	7,201	7,708	8,189
Выход шпал, шт/км	1,344	1,459	1,551	1,617	1,552	1,617	1,654	1,661	1,641	1,661	1,653	1,620	1,569
ШК (допустимое), шт/км	0,446	0,451	0,465	0,482	0,457	0,473	0,491	0,505	0,511	0,491	0,505	0,511	0,507
ШК (нежелательное), шт/км	0,223	0,226	0,232	0,241	0,229	0,237	0,245	0,252	0,256	0,245	0,252	0,256	0,254
ШК (недопустимое), шт/км	0,111	0,113	0,116	0,121	0,114	0,118	0,123	0,126	0,128	0,123	0,126	0,128	0,127
П,Пр,У (допустимое), шт/км	2,590	2,883	2,999	3,010	2,028	2,590	2,883	2,999	3,010	2,028	2,590	2,883	2,999
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	1,295	1,442	1,500	1,505	1,014	1,295	1,442	1,500	1,505	1,014	1,295	1,442	1,500
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,647	0,721	0,750	0,752	0,507	0,648	0,721	0,750	0,752	0,507	0,648	0,721	0,750
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,236	0,297	0,349	0,394	0,165	0,236	0,297	0,349	0,394	0,165	0,236	0,297	0,349
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,118	0,148	0,175	0,197	0,082	0,118	0,148	0,175	0,197	0,082	0,118	0,148	0,175
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,059	0,074	0,087	0,098	0,041	0,059	0,074	0,087	0,098	0,041	0,059	0,074	0,087
Загрязненность балласта, %/км	22,997	24,598	27,441	30,233	20,695	22,996	24,597	27,440	30,232	20,695	22,996	24,597	27,439
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,068	0,076	0,084	0,091	0,077	0,084	0,092	0,099	0,105	0,088	0,095	0,102	0,108
Доля негодных шпал, %/км	0,071	0,077	0,082	0,086	0,082	0,086	0,088	0,088	0,087	0,088	0,088	0,086	0,083
Доля шпал с выплесками, %/км	3,450	3,690	4,116	4,535	3,104	3,449	3,690	4,116	4,535	3,104	3,449	3,689	4,116
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	2,826	3,180	3,348	3,403	2,193	2,826	3,180	3,348	3,403	2,193	2,826	3,180	3,348
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	3,450	3,726	4,002	4,278	4,554	4,830	5,106	5,382	5,658	5,934	6,210	6,486	6,762

Продолжение таблицы А.18

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Максимальный износ на участке, мм	15,661	7,057	8,821	10,585	12,349	14,113	15,877	8,770	10,023	11,276	12,529	13,781	15,034
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Капитальный ремонт второго уровня- КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Суммарный вес едй	620,16	677,03	732,48	779,71	630,01	710,69	766,04	818,96	862,75	710,71	788,66	840,91	796,24
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	КРН
Затраты на содержание, тыс.сум/км	22262,06	24464,28	26507,02	28240,31	23887,02	26701,29	28675,39	30465,65	31935,59	27405,9	29979,63	31729,79	33328,14
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	195703,4	0	0	0	0	0	39140,69	0	0	0	0	0	195703,4
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	618484,1	0	0	0	0	618484,1	0	0	0	5082350
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	217965,5	24464,28	26507,02	646724,4	23887,02	26701,29	67816,08	30465,65	650419,7	27405,9	29979,63	31729,79	5311382
Коэффициент готовности	0,919	0,911	0,904	0,898	0,918	0,907	0,900	0,894	0,888	0,909	0,899	0,892	0,886
Индекс предотказа	0,081	0,089	0,096	0,102	0,082	0,093	0,100	0,106	0,112	0,091	0,101	0,108	0,114
Количество отказов, шт./км	1,178	1,306	1,388	1,441	1,166	1,361	1,485	1,559	1,602	1,320	1,507	1,620	1,685
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,110	0,120	0,130	0,139	0,117	0,131	0,141	0,150	0,157	0,135	0,147	0,156	0,164
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,004	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,007

Таблица А.19 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути I, Г- 50 и более, млн.т брутто/км в год, годы расчета 1-12)

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	30	90	150	210	270	330	390	450	510	570	630	690
Выход ДР, шт/км	0,050	0,105	0,202	0,333	0,490	0,665	0,851	1,042	1,232	1,418	1,595	1,761
Выход ОДР, шт/км	0,015	0,031	0,061	0,100	0,147	0,199	0,255	0,313	0,370	0,425	0,479	0,528
Выход креплений, шт/км	0,262	0,973	1,855	2,823	2,946	3,937	4,904	5,822	5,226	6,124	6,958	7,729
Выход шпал, шт/км	0,127	0,271	0,439	0,634	0,735	0,956	1,176	1,373	1,365	1,523	1,625	1,662
ШК (допустимое), шт/км	0,362	0,548	0,580	0,542	0,526	0,477	0,449	0,448	0,446	0,459	0,484	0,506
ШК (нежелательное), шт/км	0,181	0,274	0,290	0,271	0,263	0,239	0,225	0,224	0,223	0,230	0,242	0,253
ШК (недопустимое), шт/км	0,091	0,137	0,145	0,136	0,132	0,119	0,112	0,112	0,111	0,115	0,121	0,127
П,Пр,У (допустимое), шт/км	1,303	2,452	2,917	3,014	2,332	2,877	3,014	2,970	2,402	2,901	3,015	2,964
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	0,651	1,226	1,459	1,507	1,166	1,439	1,507	1,485	1,201	1,451	1,507	1,482
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,326	0,613	0,729	0,754	0,583	0,719	0,753	0,743	0,600	0,725	0,754	0,741
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,100	0,215	0,308	0,381	0,199	0,295	0,371	0,430	0,208	0,302	0,376	0,434
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,050	0,108	0,154	0,190	0,100	0,147	0,185	0,215	0,104	0,151	0,188	0,217
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,025	0,054	0,077	0,095	0,050	0,074	0,093	0,108	0,052	0,076	0,094	0,109
Загрязненность балласта, %/км	16,970	22,980	25,862	30,204	22,255	24,595	28,971	31,220	22,352	24,711	29,116	31,215
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,003	0,013	0,025	0,037	0,039	0,052	0,065	0,077	0,069	0,081	0,092	0,102
Доля негодных шпал, %/км	0,007	0,014	0,023	0,034	0,039	0,051	0,062	0,073	0,072	0,081	0,086	0,088
Доля шпал с выплесками, %/км	2,546	3,447	3,879	4,531	3,338	3,689	4,346	4,683	3,353	3,707	4,367	4,682
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	1,403	2,667	3,225	3,395	2,532	3,172	3,385	3,400	2,610	3,203	3,391	3,398
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	0,207	0,621	1,035	1,449	1,863	2,277	2,691	3,105	3,519	3,933	4,347	4,761

Продолжение таблицы А.19

Год расчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Максимальный износ на участке, мм	1,323	3,969	6,615	9,262	11,908	14,554	17,200	14,095	15,974	7,939	10,585	13,231
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Капитальный ремонт второго уровня - КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,П,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Суммарный вес еды	277,49	440,85	523,26	591,10	485,68	571,10	648,02	695,43	590,59	678,09	756,17	800,55
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
Затраты на содержание, тыс.сум/км	7501,081	12335,59	15232,33	17893,96	15577,43	19087,62	22208,73	24423,94	21927,2	25324,24	28200,34	30016,7
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	0	0	0	0	0	0	39140,69	0	195703,4	0	0	0
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	618484,1	0	0	0	618484,1	0	0	0	618484,1
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	7501,081	12335,59	15232,33	636378,1	15577,43	19087,62	61349,41	642908	217630,6	25324,24	28200,34	648500,8
Коэффициент готовности	0,963	0,941	0,930	0,922	0,935	0,924	0,914	0,907	0,921	0,909	0,899	0,893
Индекс предотказа	0,037	0,059	0,070	0,078	0,065	0,076	0,086	0,093	0,079	0,091	0,101	0,107
Количество отказов, шт./км	0,456	0,835	1,012	1,084	0,911	1,112	1,214	1,275	1,134	1,341	1,447	1,504
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,037	0,061	0,075	0,088	0,077	0,094	0,109	0,120	0,108	0,125	0,139	0,148
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,001	0,002	0,003	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,006

Таблица А.20 – Расчет выхода элементов верхнего строения пути, накопления их неисправностей, количество ремонтов и их стоимость за период жизненного цикла (типовая конструкция, категория пути I, Г- 50 и более, млн.т брутто/км в год, годы расчета 13-25)

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузонапряженность, млн т,км/брутто в год	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Средняя осевая нагрузка, тс	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
Общий пропущенный тоннаж	750	810	870	930	990	1050	1110	1170	1230	1290	1350	1410	1470
Выход ДР, шт/км	1,915	2,056	2,185	2,306	2,422	2,538	2,662	2,802	2,970	3,177	3,439	3,772	4,194
Выход ОДР, шт/км	0,574	0,617	0,656	0,692	0,726	0,761	0,798	0,841	0,891	0,953	1,032	1,132	1,258
Выход креплений, шт/км	6,762	7,548	8,271	8,938	7,785	8,489	9,139	9,736	8,482	9,132	9,730	10,274	8,969
Выход шпал, шт/км	1,652	1,655	1,603	1,520	1,593	1,509	1,446	1,477	1,453	1,460	1,637	2,108	1,528
ШК (допустимое), шт/км	0,487	0,508	0,509	0,485	0,511	0,495	0,456	0,411	0,483	0,439	0,401	0,418	0,435
ШК (нежелательное), шт/км	0,244	0,254	0,254	0,242	0,256	0,247	0,228	0,206	0,242	0,220	0,201	0,209	0,218
ШК (недопустимое), шт/км	0,122	0,127	0,127	0,121	0,128	0,124	0,114	0,103	0,121	0,110	0,100	0,105	0,109
П,Пр,У (допустимое), шт/км	2,409	2,903	3,015	2,963	2,409	2,904	3,015	2,963	2,409	2,904	3,015	2,963	2,409
П,Пр,У (нежелательное), шт/км	1,204	1,452	1,507	1,481	1,205	1,452	1,507	1,481	1,205	1,452	1,507	1,481	1,205
П,Пр,У (недопустимое), шт/км	0,602	0,726	0,754	0,741	0,602	0,726	0,754	0,741	0,602	0,726	0,754	0,741	0,602
Рихтовка (допустимое), шт/км	0,209	0,303	0,377	0,435	0,209	0,303	0,377	0,435	0,209	0,303	0,377	0,435	0,209
Рихтовка (нежелательное), шт/км	0,105	0,151	0,189	0,217	0,105	0,151	0,189	0,217	0,105	0,151	0,189	0,217	0,105
Рихтовка (недопустимое), шт/км	0,052	0,076	0,094	0,109	0,052	0,076	0,094	0,109	0,052	0,076	0,094	0,109	0,052
Загрязненность балласта, %/км	22,357	24,717	29,123	31,214	22,357	24,718	29,123	31,214	22,357	24,718	29,123	31,214	22,357
Количество неисправностей ОПЗП, шт/км	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля негодных креплений, %/км	0,090	0,100	0,110	0,118	0,103	0,112	0,121	0,129	0,112	0,121	0,129	0,136	0,119
Доля негодных шпал, %/км	0,087	0,088	0,085	0,081	0,084	0,080	0,077	0,078	0,077	0,077	0,087	0,112	0,081
Доля шпал с выплесками, %/км	3,353	3,708	4,368	4,682	3,354	3,708	4,368	4,682	3,354	3,708	4,368	4,682	3,354
Количество неисправностей 2 степени, шт/км	2,618	3,206	3,392	3,398	2,619	3,206	3,392	3,398	2,619	3,206	3,392	3,398	2,619
Максимальный вертикальный износ на участке, мм	5,175	5,589	6,003	6,417	6,831	7,245	7,659	8,073	8,487	8,901	9,316	9,730	10,144

Продолжение таблицы А.20

Год расчета	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Максимальный износ на участке, мм	15,877	9,396	11,276	13,155	15,034	13,231	15,877	5,638	7,517	9,396	11,276	13,231	15,877
Капитальный ремонт первого уровня - КРН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Капитальный ремонт второго уровня- КРС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средний ремонт - С	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Капитальный ремонт третьего уровня - РС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подъемочный ремонт - П	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сплошная замена рельсов по накоплению Д,Ц,К, - Р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Планово-предупредительная выправка - В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Замена рельсов в кривых по случаю накопления износа - РИК	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
Суммарный вес еды	691,58	774,73	846,21	882,79	773,25	851,35	919,48	956,70	855,09	940,21	1021,99	1082,34	919,12
Рекомендуемый тип ремонта	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	КРН
Затраты на содержание, тыс.сум/км	27143,41	30080,09	32477,29	33855,1	30734,86	33401,04	35711,17	37264,85	34354,28	37628,57	40961,67	44045,39	42245,59
Затраты на замену рельсов в кривых по износу, тыс.сум/км	39140,69	0	0	0	195703,4	0	39140,69	0	0	0	0	0	234844,1
Затраты на проведение ремонтов, тыс.сум/км	0	0	0	618484,1	0	0	0	618484,1	0	0	0	618484,1	5082350
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс.сум/км	66284,1	30080,09	32477,29	652339,2	226438,3	33401,04	74851,86	655749	34354,28	37628,57	40961,67	662529,5	5359440
Коэффициент готовности	0,907	0,896	0,887	0,883	0,898	0,888	0,880	0,876	0,889	0,878	0,868	0,859	0,870
Индекс предотказа	0,093	0,104	0,113	0,117	0,102	0,112	0,120	0,124	0,111	0,122	0,132	0,141	0,130
Количество отказов, шт./км	1,351	1,545	1,631	1,662	1,509	1,687	1,760	1,793	1,666	1,865	1,980	2,086	2,022
Доля расходов на содержание от уровня амортизации	0,134	0,148	0,160	0,167	0,151	0,164	0,176	0,183	0,169	0,185	0,201	0,217	0,208
Коэффициент экономической выгоды - Кр	0,005	0,006	0,006	0,007	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,009	0,008

Приложение Б



"O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI" AJ
YO'L XO'JALIGI BOSHQARMASI

100060, Toshkent, F. Shevchenko ko'chasi 7-uy
Tel: +99 8 71 238 87 87, fax: +99 8 71 237 98 05



2022 у. «29 09»

№ 2144-17

СПРАВКА

Об использовании и внедрении результатов диссертационной работы Бегматова Нодира Исмоиловича тему «Выбор конструкции верхнего строения пути для железнодорожных линий в условиях малой интенсивности перевозочного процесса» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.2 – «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог»

Научные результаты, полученные в ходе работы над диссертацией по теме «Выбор конструкции верхнего строения пути для железнодорожных линий в условиях малой интенсивности перевозочного процесса» Н.И. Бегматовым представляют практический интерес для путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари».

Полученные в диссертационной работе Н.И. Бегматовым результаты будут использованы при корректировке действующих нормативных документов путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари» в части выбора конструкций верхнего строения пути, более полно соответствующих условиям эксплуатации.

Заместитель начальника
Управления путевого хозяйства
АО «Узбекистон темир йуллари»
по вопросам инновационного и
технического развития



Ортикбоев М.А.