

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2022

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

**Научный руководитель:**

**Суслов Олег Александрович,**  
доктор технических наук

**Официальные оппоненты:**

**Андреева Людмила Александровна**  
доктора технических наук, закрытое  
акционерное общество  
«ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ»,  
заместитель генерального директора

**Овчинников Дмитрий Владиславович**  
кандидат технических наук, федеральное  
государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Самарский государственный  
университет путей сообщения», кафедра  
«Путь и путевое хозяйство», доцент.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Иркутский государственный  
университет путей сообщения».

Защита диссертации состоится 9 февраля 2023 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 40.2.002.03 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 125315, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2, стр. 1, ауд.329.

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

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » декабря 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,

Гринь Елена Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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. Романа, 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 Fastlip 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 молодёжи 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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель и определены задачи и методы, объект и предмет исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимость, апробация работы.

**В первой главе** проведен анализ исследований и публикаций, посвященных вопросу совершенствования конструкции пути с учетом эксплуатационных условий, а также проанализировано текущее состояние путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари». Проведенный анализ позволил прийти к выводу, что стратегическим направлением развития путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари» является комплексное решение вопросов по совершенствованию конструкции железнодорожного пути и максимальному продлению сроков службы отдельных элементов и деталей верхнего строения пути. Типовые значения эпюры шпал, заложенные в нормативные документы, применяемые в путевом хозяйстве АО «Узбекистон темир йуллари», 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 малодеятельные 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. Задачи, связанные с оптимизацией (облегчением) конструкции пути и его элементов, актуальны и за прошлые годы многими учеными предложены разнообразные конструкции пути, учитывающие параметры элементов верхнего строения и эксплуатационные условия. 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.

**Во второй главе** разработаны варианты конструкции верхнего строения пути. Определены модули упругости конструкции пути со шпалами BF70 и скреплениями Pandrol Fastlip. Проведены первичные расчеты по выбору наиболее перспективного варианта конструкции ВСП.

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

Для определения модуля упругости пути разработаны трехмерные модели участка железнодорожного пути, полностью повторяющие конфигурацию реального действующего пути со шпалами BF70 и скреплениями Pandrol Fastlip. На основе трехмерных моделей спроектированы конечно-элементные модели в программном комплексе Femap with NX Nastran. Конечно-элементная модель участка пути со шпалами BF70 и скреплениями Pandrol Fastlip представлена на рисунке 1.

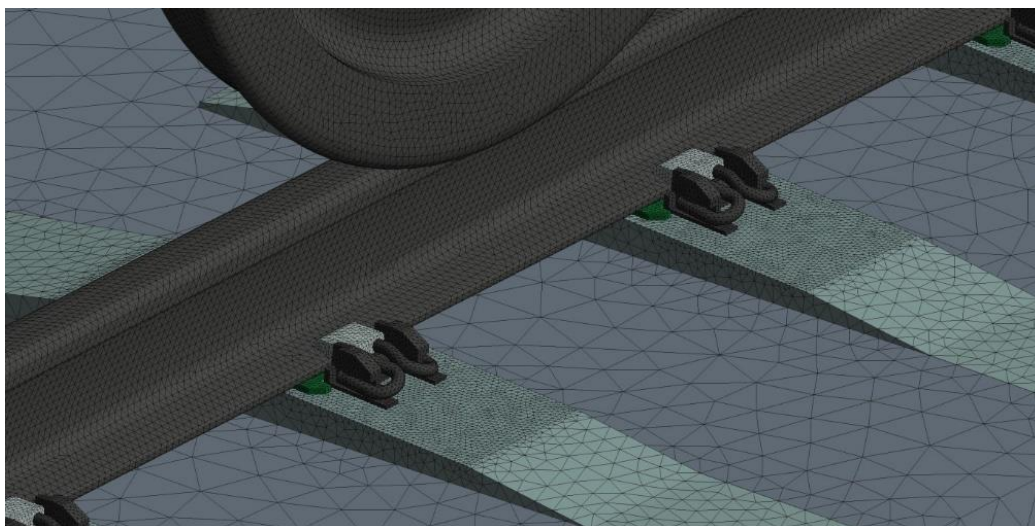


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель участка пути со шпалами BF70 и креплениями Pandrol Fastlip

В результате моделирования были получены величины деформации конструкции железнодорожного пути в зависимости от нагрузки подвижного состава. Используя результаты моделирования, определены модули упругости подрельсового основания железнодорожного пути. Значения полученных средних величин вертикального модуля упругости рельсового основания в зависимости от характеристик земляного полотна и балластного слоя представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Величины вертикального модуля упругости рельсового основания

Эюра 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

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. Полученные значения модулей упругости подрельсового основания коррелируют с параметрами, приведенными в данной методике.

Расчеты проведены для конструкций пути, представленных в таблице 2.



Таблица 2 – Расчетные характеристики пути

№	Характеристика конструкции пути		$U$ , кг/см <sup>2</sup>	$k$ , см <sup>-1</sup>	$l_{ш}$ , см	$\omega$ , см <sup>2</sup>	$W$ , см <sup>3</sup>	$\Omega_a$ , см <sup>2</sup>
	2	3						
ТК <sup>1</sup>	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: ТК<sup>1</sup> – типовая конструкция

Таблица 3 – Коэффициенты изменения интенсивности расстройтва элемента пути

№ варианта	Коэффициенты							
	Прямая				Кривая R=300 м			
	$k_{\tau_k}$	$k_{\tau_{ш}}$	$k_{\tau_{б}}$	$k_{\tau_{зн}}$	$k_{\tau_k}$	$k_{\tau_{ш}}$	$k_{\tau_{б}}$	$k_{\tau_{зн}}$
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 значениям приведенных напряжений были рассчитаны коэффициенты изменения интенсивности расстройтва элемента пути и проведены расчеты по устойчивости конструкции бесстыкового пути. Результаты расчетов представлены в табличном виде. В таблице 3 представлены коэффициенты изменения интенсивности расстройтва элемента пути, а в таблице 4 - допускаемая

температурная амплитуда рельсов для каждого варианта. Не имея конкретных данных по региону, в котором планируется укладка, принята  $T_A = 108^\circ\text{C}$  как максимальная температурная амплитуда на всей сети железных дорог Узбекистана.

Таблица 4 – Допускаемая температурная амплитуда рельсов по приведенным напряжениям для каждого варианта

№ варианта	Допускаемая температурная амплитуда рельсов [T], °C					
	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

При анализе результатов расчета, полученных для прямого участка пути и представленных в таблице 3, было выявлено, что наиболее надежной конструкцией является конструкция пути варианта №1, анализ результатов расчета этой конструкции показывает, что значения приведенных напряжений только на основной площадке превышают значения приведенных напряжений на основной площадке типовой конструкции. Значения коэффициента 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.

С уменьшением эпюры шпал до 1720 шт./км интенсивность накопления расстройств в элементах пути повышается на 3-8%.

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

Одновременное снижение толщины балласта и уменьшение эпюры шпал сказывается отрицательно на работе пути, т.к. интенсивность накопления

расстройств основания земляного полотна на 41% выше по сравнению с типовой конструкцией.

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%.

Как видно из расчетов устойчивости конструкции бесстыкового пути, таблица 4, 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 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.

Исходя из результатов расчета, в качестве облегченной, для дальнейших исследований, была принята следующая конструкция – бесстыковой путь, рельсы Р65, скрепление Pandrol Fastclip, шпалы железобетонные с эпюрой 1720 шт./км, балласт щебеночный толщиной 40 см, что соответствует варианту №2.

**В третьей главе** определены значения вертикальных и горизонтальных сил, действующих на путь от подвижного состава при обращении его по облегченной конструкции. Для этой цели смоделировано взаимодействие пути и подвижного состава в программном комплексе (далее ПК) Универсальный механизм (далее УМ). Модель железнодорожного пути и подвижного состава, разработанная в ПК УМ, представлена на рисунки 2, 3. Расчеты выполнялись для локомотива, пассажирского вагона и для грузового вагона в порожнем и груженом режимах при

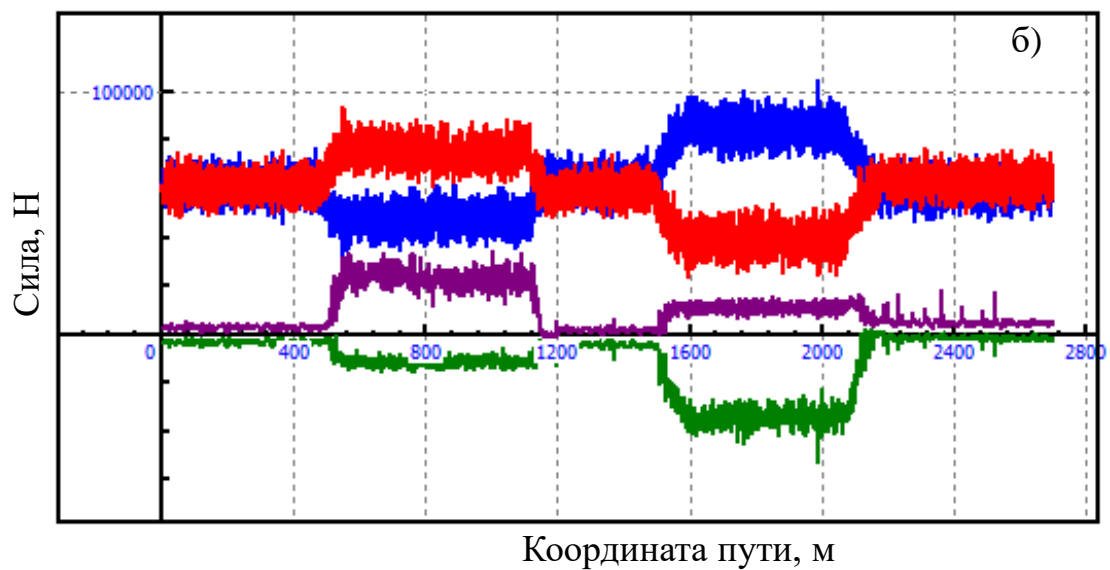
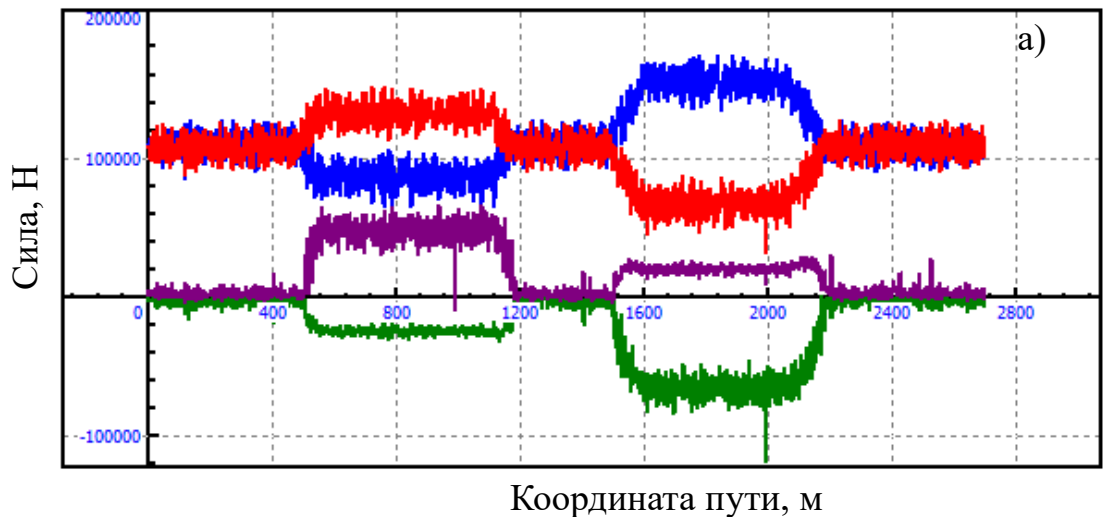
скоростях движения 8, 14, 20 и 25 м/с. На рисунках 4 – 5 приведены осциллограммы суммарных вертикальных и боковых сил при движении подвижных единиц со скоростью 25 м/с по конструкции пути варианта №2 (фиолетовая и красная – правая нить, зеленная и синяя – левая нить). По значениям вертикальных и боковых сил рассчитаны напряжения в кромке подошвы рельса и на основной площадке земляного полотна.



Рисунок 2 – Модель железнодорожного пути в УМ



Рисунок 3 – Общий вид модели пассажирского вагона



а – для локомотива; б – для пассажирского вагона

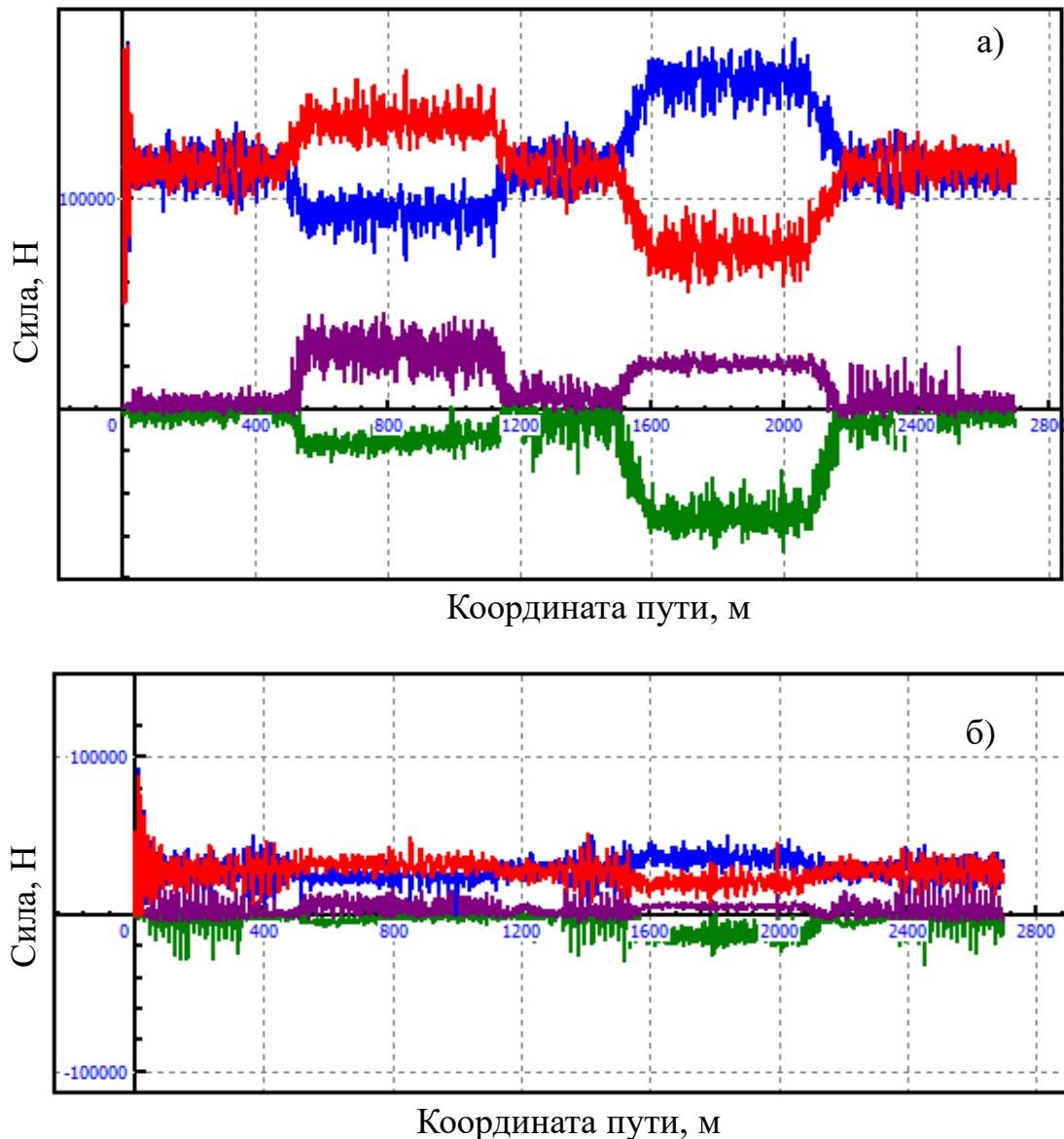
Рисунок 4 – Осциллограмма суммарных вертикальных и горизонтальных сил при движении подвижных единиц со скоростью 25 м/с.

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

1. 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%.

2. 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%.



а – для груженого грузового вагона; б – для порожнего вагона

Рисунок 5 – Осциллограмма суммарных вертикальных и горизонтальных сил при движении подвижных единиц со скоростью 25 м/с.

**В четвертой главе** проведен технико-экономический анализ работы облегченной конструкции пути. Для определения затрат на текущее содержание и ремонты пути с облегченными конструкциями использован комплекс Нейроэксперт.

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.

Расчёт прямых производственных затрат  $Z_{\Pi}$  по элементам по статье «Работы по текущему содержанию верхнего строения пути» осуществлялся в соответствии с формулой:

$$Z_{\Pi} = Z_{\text{пл}} + B_{\text{нп}} + O_{\text{сн}} + M_{\text{тсп}} + T_{\text{тсп}} + \mathcal{E}_{\text{тсп}} + M_{\text{пр}} + Z_{\text{пр}}, \quad (1)$$

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;

$M_{\text{пр}}$  – 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;

$Z_{\text{пр}}$  – прочие затраты, включающие затраты на оплату счетов за проведение паспортизации и инвентаризации, оплату сборов за регистрацию, установку и эксплуатацию радиостанций в соответствии с заключенными договорами со сторонними организациями для выполнения работ по текущему содержанию верхнего строения пути, тыс. сум.

Для изучения изменения технического состояния конструкции верхнего строения пути со шпалами BF70 и креплениями 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. 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 скреплениями Pandrol Fastclip, полученные в ходе наблюдений на опытном участке, представлены в таблице 5. Наблюдение осуществлялось до пропуска тоннажа 150-200 млн. т (большой тоннаж не был получен по эксплуатационным условиям). По результатам набора статистических данных по участкам получены массивы  $D_i, T_i, \tau_i$ , на основании которых для каждого вида неисправности и отступления построены аппроксимационные зависимости вида  $D_i = f(\tau_i, T_i)$ , позволяющие осуществлять прогнозирование накоплений неисправностей на любом участке сети.

Степенные коэффициенты к функции аппроксимации кривой надежности для  $i$ -ого вида отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути приведены в таблице 6.

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  $[D_i]$ .



Таблица 5 - Анализ результатов прохода путеизмерительных средств по показателям геометрии рельсовой колеи

Грузонапряженность	Вид отказа													
	Рельсы ДР	Рельсы ОДР	Скрепления	Шпалы	Ш.К. (допустимое <sup>1</sup> )	Ш.К. (нежелательное <sup>2</sup> )	Ш.К. (недопустимое <sup>3</sup> )	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

Таблица 6 – Степенные коэффициенты к функции аппроксимации кривой надежности для  $i$ -ого вида отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути

Вид отказа	Деградационные кривые = $a \cdot (x^5) + b \cdot (x^4) + c \cdot (x^3) + d \cdot (x^2) + e \cdot (x) + f$					
	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$
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 <sup>1</sup> )	0,00E+00	0,00E+00	9,52E-39	-1,21E-25	4,28E-13	1,00E-01
Ш.К. (нежелательное <sup>2</sup> )	0,00E+00	0,00E+00	4,76E-39	-6,05E-26	2,14E-13	5,02E-02
Ш.К. (недопустимое <sup>3</sup> )	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.

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 натурных 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  $i$ -том узле или элементе;

2) на основе значений  $[D_i]$  и  $d_i$  определяется число циклов  $n_i = [D_i]/d_i$ , которое будет воспринято  $i$ -ым 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:

$$t_i = \frac{n_i \cdot P_i}{10^6 \cdot \Gamma_i}, \quad (2)$$

где  $\Gamma_i$  – грузонапряженность на рассматриваемом участке, млн.т/км в год.

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

$$T_i = \frac{n_i \cdot P_i}{10^6}. \quad (3)$$

Вторая задача прогнозирования – определение количества выходов из строя элементов верхнего строения пути или количества появления отказов пути на заданном этапе эксплуатации -  $m_i^k$ , шт./км в год.

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

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.

По итогам прогнозирования рассчитывалась стоимость жизненного цикла, которая включает в себя сумму затрат на владение и установку пути и стоимость проведения какого-либо ремонта.

Итогом моделирования и технико-экономических расчетов является таблица 7, 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 7 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 7 – 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	10236560,1 2	10714782,0 3	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
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
--------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

## 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 малодейательные 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 R65, крепления 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.

#### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, включенных в перечень, утвержденный ВАК:

1. Суслов, О.А. Обоснование использования облегченных конструкций пути для эксплуатационных условий железных дорог республики Узбекистан / О.А. Суслов, Н.И. Бегматов // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – №4. – С. 32-36.

2. Суслов, О.А. Расчет устойчивости облегченных конструкций бесстыкового пути / О.А. Суслов, Н.И. Бегматов // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – №4. – С. 37-40.

б) В других научных изданиях и по материалах конференций:

1. Суслов, О.А. Оценка изменения интенсивности расстройств пути в кривом участке / О.А. Суслов, Н.И. Бегматов // Научно-техническое и социально-экономическое развитие транспорта и промышленности стран АТР. – Хабаровск. – 2022. – С. 410-415.

2. Суслов, О.А. Моделирование силового воздействия от подвижного состава при его обращении по облегченной конструкции железнодорожного пути / О.А. Суслов, Н.И. Бегматов // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы. – Ташкент. – 2022. – С. 152-161.

3. Суслов, О.А. Нагрузки от подвижных единиц при их обращении по облегченной конструкции пути / О.А. Суслов, Н.И. Бегматов // Железная дорога: путь в будущее. – Москва. – 2022. – С. 41-53.



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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

---

Подписано в печать «\_\_\_».\_\_\_\_.2022 г. Заказ № 1709 Формат 60x90/16  
Усл.печ.л. – 1,5 Тираж 80 экз.

---

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