

На правах рукописи



Погосян Давид Арменович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
ПОДРЕЛЬСОВОГО ОСНОВАНИЯ ПУТИ МЕТРОПОЛИТЕНА НА
ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ**

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта».

Научный руководитель: **Замуховский Александр Владимирович,**
кандидат технических наук.

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

Третьяков Василий Владимирович,
кандидат технических наук,
ООО «Центр инновационного развития СТМ»,
технический эксперт.

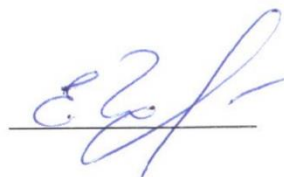
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» .

Защита состоится 15 декабря 2022 г. в 11:00 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. 2, ауд. 329.

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

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Гринь Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В условиях интенсивного воздействия подвижного состава на железнодорожный путь метрополитена и ограниченности времени на его техническое обслуживание, основным техническим показателем конструкций железнодорожного пути метрополитена является эксплуатационная надежность, которая во многом определяется состоянием геометрии рельсовой колеи (далее – ГРК).

Сравнение между собой различных конструкций подрельсового основания пути метрополитена по показателям надежности (промежуточные рельсовые скрепления, подрельсовые опоры и их основание) осложняется существенной разницей в пропущенном тоннаже и условиях эксплуатации.

Возможность технического обслуживания пути только в ночные технологические «окна», а также экономическая нецелесообразность полного длительного закрытия перегона для выполнения капитальных работ, делают необходимым разработку подхода для определения участков первоочередного адресного (локального) ремонта.

Поскольку текущее количество контингента по техническому обслуживанию пути не учитывает особенности конструкции и наработку тоннажа актуально решение задачи рационального распределения контингента работников дистанций пути в зависимости от состояния ГРК на обслуживаемых участках.

Степень разработанности темы исследования. Решением задач усовершенствования конструкций пути метрополитена занимались Алимов С.Г., Антонов Н.А., Грановский А.Н., Карпущенко Н.И., Ковальчук О.А., Колотовичев Ю.А., Костарев С.А., Курбацкий Е.Н., Наумов Б.В., Савин А.В., Сизов Д.К., Страхов А.М., Титов Е.Ю., Шуб М.Б., Сан Лин Тун.

Проблемы надежности железнодорожного пути метрополитена исследовали также Клинов С.И. и Замуховский А.В.

Одно из наиболее подробных описаний проблем надежности конструкций железнодорожного пути метрополитена выполнил Кравченко Н.Д.

Разработки по определению показателей надежности конструкций пути на магистральных железных дорогах статистическим методом содержатся в трудах Замышляева А.М., Розенберга Е.Н., Розенберга И.Н., Шубинского И.Б.

Актуальные труды по определению эксплуатационной надежности технических систем принадлежат В.А. Акимову, А.А. Кокушину, В.Р. Матвеевскому, А.Н. Чебоксарову.

Следует отметить ученых-тоннельщиков, которые в своих трудах затронули темы путевой инфраструктуры метрополитенов: Волков В.П., Жильцов В.Н., Лиманов Ю.А., Храпов В.Г.

Необходимо упомянуть отечественных ученых, разработавших научные основы ведения путевого хозяйства и на чьих фундаментальных трудах основана данная работа: Ашпиз Е.С., Вериго М.Ф., Виноградов В.В., Коган А.Я., Певзнер В.О., Шахунянц Г.М., Яковлева Т.Г.

Ученые из Словацкой Республики Smalo M. и Sestakova J. выполнили диагностику участков безбалластного пути с точки зрения сохранения геометрии пути по плану и профилю.

Особенно актуальны исследования напряженно-деформированного состояния конструкций безбалластного железнодорожного пути ученых из КНР в соавторстве Liu L., Huang J., Wang Y., Renpeng C., Yu G.

Объектом исследования является железнодорожный путь метрополитена.

Предмет исследования – эксплуатационная надежность подрельсового основания железнодорожного пути метрополитена.

Цель исследования заключается в разработке методики для определения параметров эксплуатационной надежности различных конструкций подрельсового основания железнодорожного пути метрополитена и методов ее повышения на основе данных о состоянии геометрии рельсовой колеи.

Для достижения поставленных целей были сформулированы и решены следующие **задачи исследования**:

1. Разработка методики для определения показателей надежности конструкций подрельсового основания железнодорожного пути метрополитена на

основе данных о состоянии ГРК;

2. Определение значимых показателей надежности основных типов конструкций подрельсового основания железнодорожного пути Московского метрополитена;

3. Анализ показателей эксплуатационной надежности основных типов конструкций подрельсового основания железнодорожного пути метрополитена;

4. Повышение надежности железнодорожного пути посредством выявления и ранжирования участков с большим содержанием отклонений ГРК для проведения первоочередных ремонтных работ и рационального распределения контингента работников эксплуатационных дистанций в зависимости от состояния обсуживаемого участка.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан научно обоснованный подход к определению показателей эксплуатационной надежности конструкций подрельсового основания железнодорожного пути метрополитена на основе данных о состоянии ГРК, полученных с помощью сертифицированных мобильных средств диагностики пути;

2. На основе статистического подхода определены показатели надежности основных конструкций подрельсового основания железнодорожного пути Московского метрополитена с применением данных о состоянии ГРК;

3. Разработан метод выявления и ранжирования участков пути метрополитена для адресного (локального) ремонта на основе анализа состояния ГРК;

4. Решена задача рационального распределения контингента работников эксплуатационных дистанций в зависимости от состояния ГРК на обсуживаемых участках пути.

Теоретическая и практическая значимость работы. Определенные в исследовании параметры позволяют формализовать выбор конструкции пути с учетом показателей надежности.

Разработанная методика определения участков пути для адресного

(локального) ремонта позволяет компенсировать отсутствие капитальных работ посредством выбора участков для первоочередного проведения ремонтных работ в период ночных технологических «окон», без длительного закрытия пути для движения поездов.

Разработанная методика управления контингентом работников эксплуатационных подразделений позволяет распределять работников между ними в зависимости от состояния ГРК на обслуживаемых участках пути.

Методология и методы исследования. Исследования эмпирического характера главным образом заключаются в наблюдении за работой конструкций железнодорожного пути в различных условиях эксплуатации Московского метрополитена непосредственно при текущем содержании, накоплении и отборе фактов и установлению связей между ними, а также, посредством статистического анализа данных, полученных от сертифицированных средств диагностики пути.

Теоретические исследования заключаются в применении положений математической статистики и теории надежности для вычисления показателей надежности конструкций железнодорожного пути метрополитена и их дальнейшего сравнения.

Положения, выносимые на защиту.

1. Метод определения показателей эксплуатационной надежности конструкций подрельсового основания железнодорожного пути метрополитена на основе данных о состоянии ГРК, полученных с помощью мобильных средств диагностики пути.

2. Анализ основных показателей надежности (безотказность, ремонтпригодность, готовность и функциональная безопасность) для железнодорожного пути Московского метрополитена.

3. Метод выявления и ранжирования наиболее неблагоприятных участков на полигоне главных путей метрополитена для адресного (локального) ремонта в ночные технологические «окна» на основе данных о состоянии ГРК.

4. Методика рационального распределения контингента работников

эксплуатационных подразделений в зависимости от состояния ГРК на обслуживаемых участках пути.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность научных исследований и заключений основана на корректном использовании численных методов, базирующихся на теоретических подходах и принципах математической статистики, а также на систематизации и использовании данных, полученных с использованием сертифицированных мобильных средств диагностики пути.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

– II Международная выставка-конференция «ИНТЕРМЕТРО» «Перспективы развития метрополитенов в условиях интенсивного внедрения новых технологий: инфраструктура и подвижной состав метрополитена» (Москва, МИИТ, 2017 год);

– XVI Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященная памяти профессора Георгия Михайловича Шахунянца (Москва, РУТ (МИИТ), 2019 год);

– III Международная выставка-конференция «ИНТЕРМЕТРО» «Перспективы развития метрополитенов в условиях интенсивного внедрения новых технологий» (Москва, РУТ (МИИТ), 2019 год).

Диссертационная работа на основе докладов была одобрена на заседании кафедры «Путь и путевое хозяйство», РУТ (МИИТ), 19.04.2021 г.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 7 печатных работах, в том числе 4 в ведущих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК России.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 208 страницах машинописного текста, в том числе 38 таблиц,

62 рисунка. Библиографический список насчитывает 105 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной работы, проанализирована степень разработанности темы, определены цель и предмет исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен краткий обзор современного состояния исследований по надежности конструкций железнодорожного пути метрополитена.

Описана и проанализирована работа основных типов конструкций верхнего строения пути (далее – ВСП) метрополитена в различных условиях интенсивной эксплуатации с точки зрения надежности, показаны недостатки элементов конструкций пути в зависимости от наработки тоннажа, влияющие на стабильность ГРК.

Во второй главе показана взаимосвязь между наработкой тоннажа ВСП с различными типами промежуточных рельсовых скреплений и подрельсовых опор, и количеством регистрируемых отклонений по ГРК.

Для определения показателей надежности железнодорожного пути метрополитена за основу принята «Методика расчета показателей надежности и безопасности функционирования верхнего строения пути», являющаяся поддерживающим документом концепции УРРАН (Управление надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте) ОАО «РЖД». Принципы определения показателей надежности в методике соответствуют правилам, установленным ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения» и ГОСТ 33886-2016 «Железнодорожный путь. Номенклатура показателей надежности и функциональной безопасности».

Из множества показателей надежности, принятых в концепции УРРАН, в исследовании определены значимые для метрополитена показатели,

представленные в таблице 1. В исследовании в качестве «отказа» принято единичное отступление от норм содержания ГРК, определяемое действующими на метрополитене нормативно-техническими документами. При этом в исследовании принята гипотеза о том, что ГРК напрямую зависит от состояния подрельсового основания (элементов промежуточных рельсовых скреплений, подрельсовых опор и их оснований). Отказы рельсов, как элемента железнодорожного пути, не учитываются.

Таблица 1 – Номенклатура определяемых в исследовании показателей надежности верхнего строения пути метрополитена

Наименование показателя	Обозначение	Размерность
Безотказность		
Средняя наработка на отказ	X_0	млн. т брутто (ч)
Интенсивность отказов	λ	1/ млн. т брутто
Параметр потока отказов пути	$\omega(x)$	1/ млн. т брутто
Вероятность безотказной работы	$P(x)$	безразмерный
Ремонтопригодность		
Среднее время до восстановления	T_B	ч
Готовность		
Коэффициент готовности	K_G	безразмерный
Функциональная безопасность		
Интенсивность опасных отказов	$\lambda_{оп}(x)$	1/млн. т брутто (1/ч)
Вероятность опасного отказа	$Q_{оп}(x)$	безразмерный

Исходными данными в исследовании являются зарегистрированные мобильными средствами диагностики пути отступления от норм текущего содержания ГРК.

Анализ конструкций железнодорожного пути метрополитена показал, что основными из них по протяженности являются: конструкция пути со скреплениями «метро», конструкция со скреплениями КДП-65, виброзащитные конструкции LVT-M и ВГС5-65. В качестве объекта исследования выбраны главные пути Таганско-Краснопресненской (далее - ПЧ-6) и Люблинско-Дмитровской (далее - ПЧ-7) линий Московского метрополитена, что связано с наличием на данных полигонах основных конструкций пути достаточной протяженности для проведения расчетов согласно применяемой методике.

Описание исследуемых конструкций и эксплуатационные показатели участков пути даны в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика исследуемых участков пути Московского метрополитена

Тип конструкции	Длина, км	Пропущенный тоннаж, млн. т брутто
Таганско-Краснопресненская (ПЧ-6)		
Типовая (рельсы Р50, скрепление типа «метро», деревянные шпалы в путевом бетоне)	62,69	2014-2276
Люблинско-Дмитровская (ПЧ-7)		
КДП-65 (рельсы Р65, скрепление КД с упругой клеммой, деревянные шпалы в путевом бетоне)	34,91	806-833
LVT-M (рельсы Р65, скрепление АРС-4, полушпалы с виброзащитными чехлами в путевом бетоне)	16,16	48-146
ВГС5-65 (рельсы Р65, скрепление типа ВГС, композитные полушпалы в путевом бетоне)	4,22	293-342

В связи с отсутствием капитальных ремонтов и сплошной заменой только рельсов пропущенный тоннаж типовой конструкции пути (таблица 2) превышает 2 млрд. т брутто. В процессе эксплуатации пути вся рельсошпальная решетка не заменяется, производится только одиночная смена шпал, рельсовых скреплений при текущем содержании в ночные технологические «окна». Это связано с нецелесообразностью длительного закрытия пути в связи с обеспечением достаточной мобильности населения.

Для проведения достоверного статистического расчета в методике выполнено разделение полигона дистанции пути на однородные участки по следующим параметрам: расположение путей (подземные, наземные и надземные участки), пропущенный тоннаж, план пути (по радиусу кривых, прямые), конструкция ВСП (тип скрепления, тип подрельсового основания), скорость движения (участки движения со средней основной установленной скоростью – 75 км/ч и участки разгона-торможения).

Из анализа трудовой деятельности одного из околотков ПЧ-6, имеющего относительно средние условия эксплуатации на анализируемых дистанциях пути, определено среднее количество устраняемых отступлений по текущему

содержанию рельсовой колеи $r_{\text{факт}}^1$ в период одного ночного технологического «окна», равное 2,3 шт. На основе данного параметра введено неравенство, определяющее ремонтпригодность исследуемого участка

$$T_{\text{ТОиР}}^{\Sigma} \geq T_{\text{Треб}}^{\Sigma}, \quad (1)$$

где левая часть неравенства – это суммарная продолжительность планового технического обслуживания и ремонта исследуемого участка пути за интервал наблюдения $T_{\text{ТОиР}}^{\Sigma} = \frac{T_{\text{ТО}}}{L_{\text{ср}}} * L_i$, ч;

правая часть неравенства – это общая требуемая продолжительность ночных технологических «окон» для устранения выявленных отступлений ГРК на исследуемом участке, $T_{\text{Треб}}^{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{r_{\text{факт}}^1} * t_{\text{ТО}}$, ч;

$L_{\text{ср}}$ – средняя длина околотка, км;

$T_{\text{ТО}}$ – общее время технических обслуживаний или ремонтов всех видов;

r_i – фактическое количество отступлений II и III степени по ГРК в группе однородных участков пути i , имеющих суммарную протяженность L_i ;

$t_{\text{ТО}}$ – продолжительность ночного технологического «окна» - 2,25 часа.

В третьей главе приведены результаты расчетов показателей надежности, и выполнен их анализ.

Полученные показатели надежности типовой конструкции (таблицы 3, 4) показывают существенную зависимость от плана пути. С уменьшением радиуса кривой увеличивается поток отказов конструкции ω , интенсивность отказов λ и вероятность наступления отказа по пропущенному тоннажу $Q(x)$.

Данное утверждение иллюстрирует график изменения наработки на отказ X_0 (рисунок 1), определяемой по формуле

$$X_0 = \frac{\Gamma * L_i}{\sum_{i=1}^n r_i}, \quad (2)$$

где Γ – средняя грузонапряженность, млн. т*км брутто/км в год;

r_i – фактическое количество отступлений II и III степени по ГРК в группе однородных участков пути i , имеющих суммарную протяженность L_i .

На рисунке 1 прямой горизонтальной линией указана допустимая наработка на отказ X_0 , при превышении которой не выполняется неравенство ремонтпригодности участков (1).

Согласно вычисленным показателям (таблица 3), кривые с типовой конструкцией пути радиусом от 400 до 600 м неремонтпригодные по критерию (1), это означает, что дистанции пути трудовых ресурсов не достаточно для полного устранения отступлений по ГРК на данных участках пути.

Определенные в исследовании показатели функциональной безопасности отражают надежность пути согласно анализу зарегистрированных IV-V степеней отступлений ГРК (опасные отказы). Вероятность опасного отказа $Q_{on}(x)$ определяется по формуле (3), в которой принято допущение, что плотность потока отказов верхнего строения пути распределена по экспоненциальному закону

$$Q_{on}(x) = 1 - \exp(-\lambda_{on} * \Delta x), \quad (3)$$

где λ_{on} – интенсивность опасных отказов, 1/млн. т брутто;

Δx – интервал наработки, млн. т брутто.

Полученные данные (таблица 4), отражают зависимость вероятности возникновения опасного отказа $Q_{on}(x)$ при пропуске каждого 1 млн. т брутто тоннажа в зависимости от плана типовой конструкции пути.

Таблица 3 – Показатели безотказности, ремонтпригодности и готовности 1 погонного километра типовой конструкции железнодорожного пути метрополитена

Конструктивные показатели выбора однородных участков	Анализируемый календарный год	Эксплуатационные условия (средняя скорость движения и протяженность)	Показатели безотказности				Показатели ремонтпригодности		Готовность
			X_0 – наработка на отказ 1 п. км пути, млн. т	λ – интенсивность отказов 1 п. км пути	ω – поток отказов 1 п. км пути	$P(x)$ – вероятность безотказной работы	T_e – необходимое время для восстановления исправного состояния, ч	Результат соблюдения неравенства (1)	
Кривая R400	2016	75 км/ч,	1,06	0,943	0,943	0,389	50,80	не соблюдается	0,762
	2017	9,54 км.	1,09	0,917	0,919	0,399	50,18	не соблюдается	0,766
Кривая R500	2016	75 км/ч,	1,08	0,926	0,924	0,397	49,76	не соблюдается	0,771
	2017	7,27 км.	1,17	0,855	0,855	0,425	46,67	не соблюдается	0,793
Кривая R600	2016	75 км/ч,	0,93	1,075	1,074	0,342	57,83	не соблюдается	0,714
	2017	6,58 км.	1,04	0,962	0,961	0,382	52,48	не соблюдается	0,752
Кривая R800	2016	75 км/ч,	1,62	0,617	0,617	0,540	33,20	соблюдается	0,885
	2017	2,48 км.	1,64	0,610	0,615	0,541	33,59	соблюдается	0,883
Кривая R1000-2000	2016	75 км/ч,	2,05	0,488	0,272	0,614	26,27	соблюдается	0,925
	2017	1,94 км.	1,86	0,538	0,333	0,585	29,30	соблюдается	0,908
Прямые	2016	75 км/ч,	1,86	0,538	0,477	0,621	25,66	соблюдается	0,918
	2017	23,06 км.	2,16	0,463	0,453	0,636	24,72	соблюдается	0,923

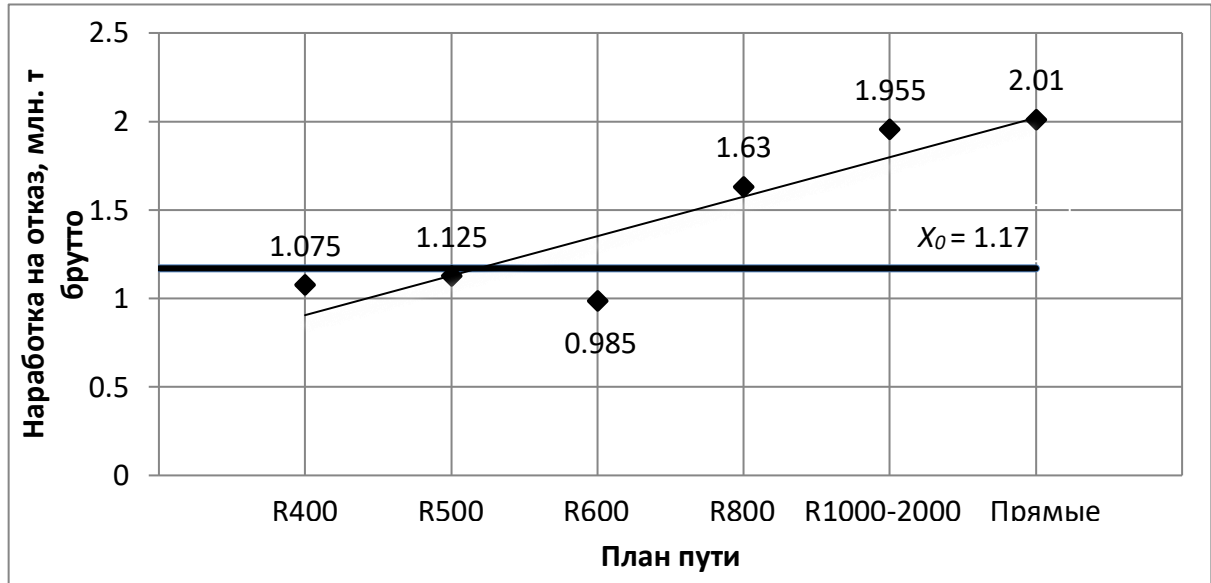


Рисунок 1 – График изменения среднего значения наработки на отказ X_0 в зависимости от плана пути типовой конструкции.

Таблица 4 – Вероятность возникновения опасного отказа типовой конструкции пути

План линии (радиус), м	Вероятность возникновения опасного отказа $Q_{on}(x)$ при пропуске 1 млн. т брутто
400	0,073
500	0,035
600	0,015
Прямые	0,009

Сравнительный анализ показателей надежности исследуемых конструкций пути важен для определения наиболее надежной из них, поэтому необходимо установить зависимость данных показателей от наработки тоннажа для каждой из исследуемых конструкций.

Приняв допущение, что поток отказов ω при вводе конструкции в эксплуатацию был равен нулю (путь, соответствующий проектным значениям и состоянию значений размеров ГРК в допустимых диапазонах), то возможно получить зависимость состояния конструкции от пропущенного тоннажа (рисунок 2).

Поток отказов верхнего строения пути ω по объему выполненной работы T (пропущенному тоннажу) определен по формуле

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{T}. \quad (4)$$

Пунктирной линией на графике (рисунок 2) показана экстраполяция абсолютного значения потока отказов по полученным зависимостям.

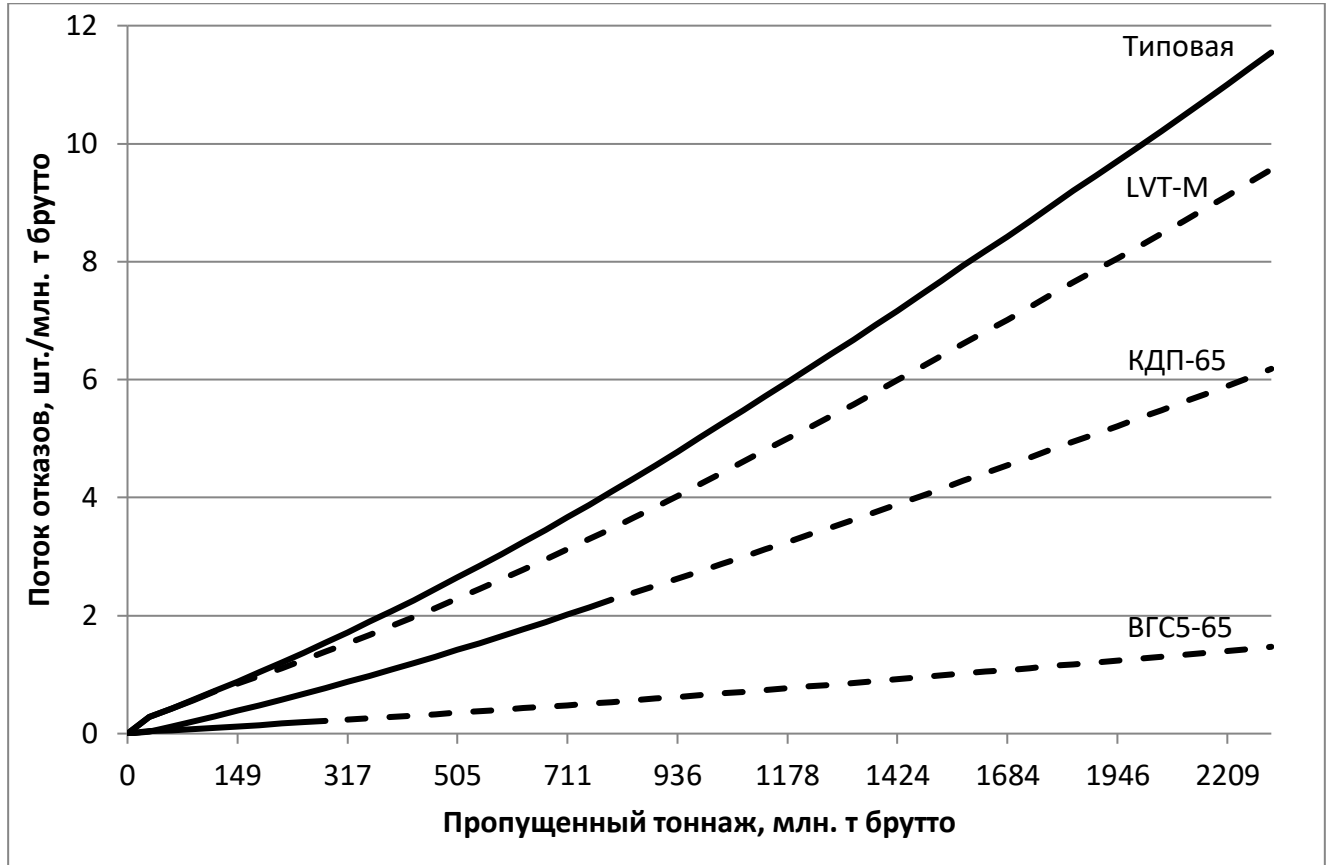


Рисунок 2 – График сравнительного анализа среднего потока отказов конструкций на прямых участках пути в зависимости от пропущенного тоннажа.

График, изображенный на рисунке 2, показывает прогнозируемое состояние исследуемых конструкций на прямых участках при наработке тоннажа близкой к наработке типовой конструкции пути.

Проведенный анализ показал, что преобладающим типом отступлений ГРК на исследуемых полигонах пути метрополитена, являются отступления в плане. Это уширения колеи и большая разность смежных стрел изгиба рельсовых нитей (рихтовки).

На рисунке 3 изображен график зависимости интенсивности отказов λ на исследуемых участках от плана пути. Интенсивность отказов λ является обратной величиной наработки на отказ X_0 и определяется по формуле

$$\lambda = \frac{1}{X_0} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{\Gamma * L_i}. \quad (5)$$

Пропущенный тоннаж конструкций, представленных на рисунке 3 соответствует приведенным в таблице 2.

Следует отметить определенные в исследовании благоприятные показатели надежности отечественной конструкции типа ВГС5-65.

Значение интенсивности отказов конструкции ВГС5-65 на рисунке 3 приведено только для прямых участков пути, ввиду наличия кривых участков пути недостаточной протяженности для проведения статистического расчета.

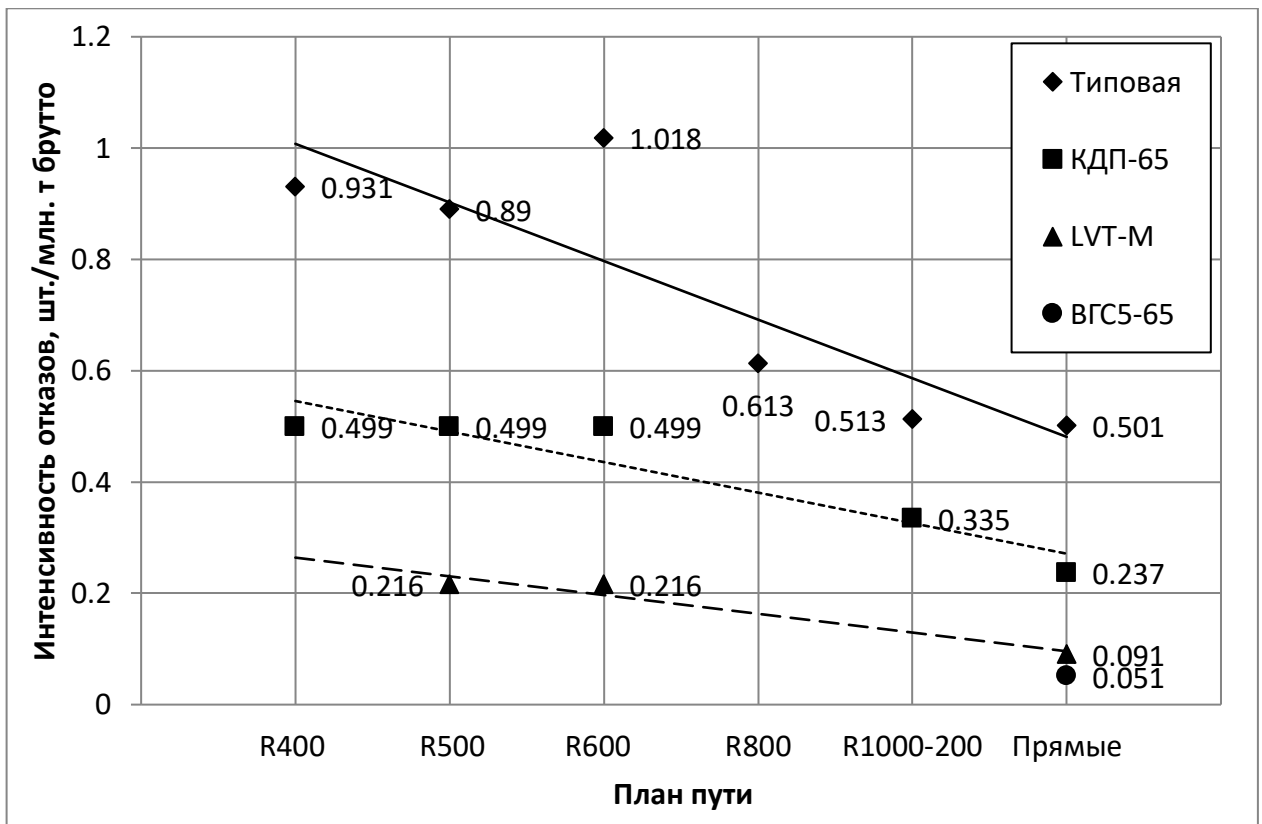


Рисунок 3 – График зависимости интенсивности отказов на 1 км от плана пути.

Линии тренда иллюстрируют изменение потока отказов в зависимости от плана.

Четвертая глава посвящена решению задач по определению участков пути для проведения первоочередных адресных (локальных) ремонтов и перераспределению контингента работников эксплуатационной дистанции в зависимости от состояния вверенных участков пути.

Первая задача была решена в несколько этапов. Полигон дистанции разбивается на однородные участки пути, далее по участкам распределяются

зарегистрированные путеизмерительным вагоном отступления ГРК за определенный период наблюдения согласно сводным ведомостям формы ПУ-32.

Предполагаемый ремонтируемый участок определяется согласно максимальному удельному количеству зарегистрированных отступлений на нем, определяемому как отношение

$$\rho_i = \frac{r_i}{l_i}, \quad (6)$$

где r_i – удельное количество отступлений по содержанию ГРК по полигону однородных участков i , шт./м;

r_i – количество зарегистрированных отступлений по ГРК II-V степени на однородном участке i , шт.;

l_i – длина однородного участка i , м.

Далее участок разбивают на отрезки, длина которых $l_{от.ср}$ является средней длиной одного отступления по ГРК на исследуемом участке за определенный период наблюдения

$$l_{от.ср} = \frac{\sum_{j=1}^j l_{от-j}}{r_i}, \quad (7)$$

где $l_{от-j}$ – длина единичного отступления ГРК j , зарегистрированного в пределах однородного участка i .

Соответственно, участки пути в пределах длины $l_{от.ср}$, на которых за выбранный период наблюдения обнаружено большее количество отступлений ГРК, объединяются и сокращаются согласно пикетажу от начала первого отступления до конца последнего.

Кроме того, при ранжировании выявленных участков по техническому состоянию для первоочередного ремонта необходимо руководствоваться величиной отклонений от номинальных размеров ГРК. Для этого вычисляется средняя величина отклонений $S_{ср-i}$ от номинальных параметров ГРК

$$S_{ср-i} = \frac{\sum_{j=1}^j S_{от-j}}{r_i}, \quad (8)$$

где S_{om-j} – отклонение от номинального значения параметра ГРК j , зарегистрированного в пределах выбранного участка для ремонта i .

r_i – количество зарегистрированных отступлений по ГРК II-V степени в пределах выбранного участка для ремонта i , шт;

Соответственно участок для ремонта, определенный в пределах отрезков $l_{от.ср}$ (например, участок от ПК 034+51,5 до ПК 035+1,1 на рисунке 4), на котором вычислена наибольшая величина $S_{ср-i}$ является приоритетным участком планирования первоочередного ремонта.

На рисунке 4 проиллюстрирован выбор участка для ремонта посредством построения эпюры отступлений и их распределения согласно возрастанию пикетажа. Средняя длина отступлений $l_{от.ср}$ составляет 12,4 м. Предварительно определен участок длиной 49,6 м для проведения локального ремонта пути от ПК 034+51,5 до ПК 035+1,1. Возникновение различных типов отступлений по ГРК на одном и том же отрезке пути в большинстве случаев свидетельствуют о наличии изношенных элементов рельсовых скреплений и (или) кустов негодных шпал на данном участке.

Решение о проведении ремонта либо модернизации, объеме, виде предстоящих ремонтных работ и определение их точных границ принимается посредством натурного осмотра участка.

Задача рационального управления контингентом работников эксплуатационной дистанции решена на основе определенного в исследовании параметра производительности труда, а именно $r_{факт}^1$ – количество отступлений ГРК, устраняемое в ночное технологическое «окно» в пределах околотка.

Разработанная методика проиллюстрирована на примере дистанции пути и искусственных сооружений № 6 Дирекции инфраструктуры Московского метрополитена (далее – ПЧ-6).

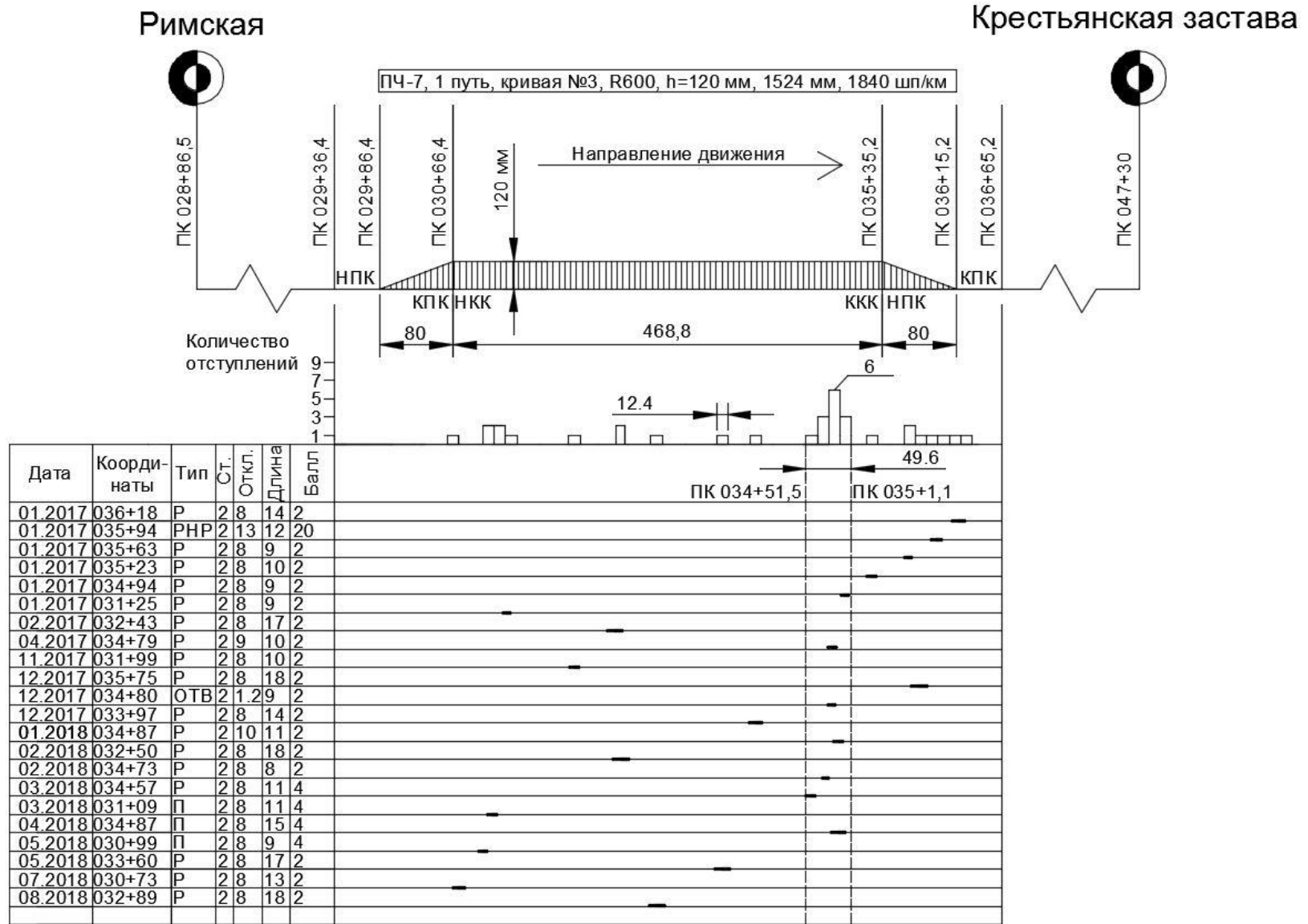


Рисунок 4 – Участок кривой №3 на Люблинско-Дмитровской линии. Параметры кривой указаны на рисунке.

Были определены требуемые трудозатраты околотов T_N^1 ПЧ-6 на основе данных об эксплуатируемых типах конструкций, плану обслуживаемых участков пути, количеству отступлений на 1 км пути

$$T_N^1 = R_t^N * ЧЧ_1 = \left(\sum_{i=1}^n l_i^N * r_i^N \right) * ЧЧ_1, \quad (9)$$

где R_t^N – среднее количество отступлений по ГРК на околотове N за интервал наблюдения t , шт.;

$ЧЧ_1$ – трудозатраты на устранение 1 отступления по ГРК, шт./чел. – ч;

l_i^N – длина участка определенного плана и типа конструкции пути, соответствующего i (однородные участки), на подразделении N , км;

r_i^N – количество отступлений по ГРК на 1 км пути (согласно анализу сводных ведомостей ПУ-32), соответствующее i , шт.

Фактические в распоряжении подразделения трудозатраты на устранение отступлений по ГРК определены на основе имеющихся данных как

$$T_N = R_t * ЧЧ_1 = (t * s^{30} * r_{\text{факт}}^1) * ЧЧ_1, \quad (10)$$

где R_t – среднее количество отступлений, устраняемое на околотовках в течение интервала наблюдения t (календарный год - 12 месяцев), шт.;

s^{30} – среднее количество технологических ночных «окон» в календарный месяц, во время которых проводятся работы по текущему содержанию пути, шт.

На ПЧ-6 трудовые ресурсы каждого околотока T_N позволяют устранить в среднем 441 отступление по ГРК в год при условии постоянного штата монтеров пути в 12 человек.

Далее, чтобы перейти от величины трудозатрат к величине необходимого персонала $Ч_N$, необходимо выполнить расчет (таблица 5)

$$Ч_N = n_{\text{м.п.}} * \left(\frac{T_N - T_N^1}{T_N} \right), \quad (11)$$

где $n_{\text{м.п.}}$ – количество монтеров пути, чел.

Таблица 5 – Трудовые ресурсы подразделений на ПЧ-6

Околоток на ПЧ-6	$\Delta T = T_N^1 - T_N$, чел. - ч	Ч_N , чел.	Избыточный персонал, чел.	Недостающий персонал, чел.
ПД-61	-17,51	-0,65	0	1
ПД-62	-76,12	-2,82	0	3
ПД-63	-14,54	-0,54	0	1
ПД-64	-34,11	-1,26	0	2
ПД-65	-22,14	-0,82	0	1
ПД-66	25,46	0,94	0	0
ПД-67	286,08	10,60	10	0
		Итого:	10	8

Определив величину избыточных трудовых ресурсов околотков, следует учитывать, что согласно нормативно-технической документации метрополитена (инструкции и техпроцессы производства работ), на околотке должно быть определенное постоянное минимальное число монтеров пути, с целью оперативного устранения возможных последствий аварий либо замены острodefектных элементов пути.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан научно обоснованный подход к оценке состояния конструкций железнодорожного пути метрополитена по критерию надежности на основе данных о состоянии ГРК, полученных с помощью мобильных средств диагностики пути.

2. Определены показатели надежности основных конструкций железнодорожного пути Московского метрополитена, на основе которых произведена их оценка. Анализ показал, что по возрастанию показателей надежности, конструкции располагаются в следующем порядке: конструкция пути со скреплениями «метро», конструкция со скреплениями КДП-65, виброзащитная конструкция LVT-M, виброзащитная конструкция ВГС5-65.

Определены значительно различающие показатели надежности у современных виброзащитных конструкций пути LVT-M и ВГС5-65.

Отечественная конструкция железнодорожного пути типа ВГС5-65 показала

лучшие показатели надежности по сравнению с остальными исследованными конструкциями.

3. Установлена зависимость показателей безотказности конструкций железнодорожного пути метрополитена от плана линии. Выявлена существенная сосредоточенность отступлений ГРК на кривых участках пути радиусом 600 м и менее.

4. Разработан научно обоснованный подход к определению участков железнодорожного пути метрополитена для проведения адресных (локальных) ремонтных работ. На его основе возможно определение и ранжирование участков пути, нуждающихся в первоочередном ремонте, в целях повышения уровня обеспечения безопасности движения поездов и компенсации отсутствия капитальных ремонтных работ.

5. Разработан научно обоснованный подход к рациональному распределению контингента работников эксплуатационных дистанций пути, в зависимости от фактического состояния ГРК и типа конструкции на обслуживаемых участках.

6. Дальнейшие перспективы разработки темы диссертации могут быть направлены на исследование ГРК на участках конструкций пути типа LVT-M различных модификаций, их низких показателей надежности и разработке мероприятий по улучшению состояния пути.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Погосян, Д.А. Современные конструкции пути метрополитенов / Д.А. Погосян // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 18-22.

2. Погосян, Д.А. Путевое хозяйство Московского метрополитена / Д.А. Погосян, А.В. Крикун // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 5. – С. 6-9.

3. Погосян, Д.А. Вибрации в метрополитене и виброзащитные конструкции пути / Д.А. Погосян, А.В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. – 2020.

– № 6. – С. 24-27.

4. Погосян, Д.А. Оценка конструкций верхнего строения пути метрополитена по критериям надёжности / Д.А. Погосян, А.В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 12. – С. 15-17.

Публикации в других изданиях и материалах конференций

1. Критерии выбора верхнего строения пути метрополитена / Д. А. Погосян // Труды II Международной выставки-конференции «ИНТЕРМЕТРО» «Перспективы развития метрополитенов в условиях интенсивного внедрения новых технологий: инфраструктура и подвижной состав метрополитена» (Москва, МИИТ, 2017 год) – М.: МИИТ, 2017. – С. 64-69.

2. Причины возникновения и природа вибраций метрополитена. Работа виброзащитных конструкций пути / А.В. Замуховский, А.В. Гречаник, Д.А. Погосян, А.В. Гордеев // Труды XVI Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященной памяти профессора Георгия Михайловича Шахунянца (Москва, РУТ (МИИТ), 2019 год). – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – Секция 2: с. 59-62.

3. Метод оценки состояния путей метрополитена и сравнения конструкций верхнего строения по критерию обеспечения безопасности движения поездов / А.В. Замуховский, Д.А. Погосян // Труды III Международной выставки-конференции «ИНТЕРМЕТРО» «Перспективы развития метрополитенов в условиях интенсивного внедрения новых технологий» (Москва, РУТ (МИИТ), 2019 год) – М.: РУТ (МИИТ), 2020. – С. 66-71.

Погосян Давид Арменович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
ПОДРЕЛЬСОВОГО ОСНОВАНИЯ ПУТИ МЕТРОПОЛИТЕНА НА
ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ**

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 № _____. Формат 60×90/16
Усл. печ. л. - 1,5. Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9, РУТ (МИИТ)