



15. Kolchunov V. I., Demyanov A. I., Naumov N. V. The second stage of stressed-deformed condition of reinforced concrete structures when turning with bending (case 2). *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2019, vol. 15, no. 4, pp. 66–82.
16. Kolchunov V. I. Calculation of additional dynamic stresses in rebars of flexural reinforced concrete structural elements caused by fragile failure of tensed concrete / V. I. Kolchunov, N. B. Androsova // *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. – 2016. – № 4 (32). – P. 6–16.
17. Kolchunov V. I., Karpenko S. N. Rigidity of reinforced concrete structures under complex resistance. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2022, no. 1 (53), pp. 7–20.
18. Kolchunov V. I. The problem of crack opening width and stiffness of reinforced concrete structures, buildings and constructions. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2023, vol. 19, no. 1, pp. 69–84.
19. Drahan A. V. An innovative approach to crack width prediction of reinforced concrete elements. *Vestnik of Brest State Technical University. Series: Construction and Architecture*. 2019, no. 1 (114), pp. 106–112.

© П. Г. Маслов, М. В. Шавыкина

Ссылка для цитирования:

П. Г. Маслов, Шавыкина М. В. Расчет основных параметров трещиностойкости на примере двухконсольного центрально нагруженного элемента // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 76–80.

УДК 621.331:625.1.012.8:534.8

DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-80-86

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРАМВАЙНОГО ДЕПО ИМЕНИ П. Л. АПАКОВА:
ОТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДО ЗАЩИТЫ ОТ ТРАНСПОРТНОЙ ВИБРАЦИИ**

Ю. В. Лазуткин, Н. В. Купчикова, А. А. Еремеев

Лазуткин Юрий Викторович, аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

Купчикова Наталья Викторовна, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Еремеев Алексей Александрович, аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Объект исследования – комплекс инженерных решений, реализованных при реконструкции трамвайного депо имени П. Л. Апакова, включая модернизацию системы электроснабжения сетей 600 В и 0,4 кВ, ГРЩ, постов секционирования и внедрение технологий виброзащиты в верхнем строении пути. Современные требования к эксплуатации трамвайного подвижного состава «Витязь-М» диктуют необходимость не только обновления энергетической инфраструктуры для обеспечения возросших нагрузок и безопасности, но и решения проблемы воздействия транспорта на окружающую среду и историческую застройку. Целью работы является демонстрация комплексного подхода к реконструкции, где вопросы надежности, энергоэффективности и вибробезопасности решаются как единая инженерная задача. Проведен анализ проектной документации, результатов натурных испытаний виброизоляционных материалов, а также данных электронной системы мониторинга нагрузок. Выполнена оценка эффективности принятых решений. Выявлены ключевые особенности обновленной инфраструктуры: переход к индивидуальному секционированию ремонтных канав с интеграцией в систему безопасности; создание иерархической системы электроснабжения 0,4 кВ с разделением потребителей по категориям надежности и автоматической компенсацией реактивной мощности, повышение соэф с 0,88 до 0,94; разработка единой системы заземления, молниезащиты и уравнивания потенциалов для всего комплекса зданий и сооружений; внедрение в конструкцию трамвайных путей виброизоляционных матов на основе гранулированного каучука СЭБС, обеспечивающих снижение вибрации на 11–13 дБ в широком диапазоне частот и решающих проблему водоотвода. Установлена и обоснована опосредованная связь между качеством электрических расчетов выбором сечений, защитой от блуждающих токов, обеспечением электромагнитной совместимости и долговременным сохранением геометрии пути, что является ключевым фактором снижения вибрации. Опыт реконструкции депо им. Апакова демонстрирует эффективность комплексного подхода, объединяющего модернизацию силового электрооборудования и пассивные методы защиты от динамических воздействий. Реализованные решения не только обеспечивают надежное и безопасное энергоснабжение для современного подвижного состава, но и минимизируют его негативное влияние на прилегающую территорию, повышая экологичность и устойчивость городской транспортной системы.

Ключевые слова: реконструкция трамвайного депо, система электроснабжения, посты секционирования, компенсация реактивной мощности, транспортная вибрация, виброизоляция, верхнее строение пути, гранулированный композит СЭБС, блуждающие токи, электромагнитная совместимость, «Витязь-М».

**INTEGRATED ENGINEERING SOLUTIONS FOR THE RECONSTRUCTION OF THE P. L. APAKOV TRAM DEPOT:
FROM POWER SUPPLY SYSTEM TO PROTECTION AGAINST TRANSPORT VIBRATION**

Yu. V. Lazutkin, N. V. Kupchikova, A. A. Yeremeyev

Lazutkin Yuriy Viktorovich, postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

Kupchikova Natalya Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, Professor of Building Structures, Buildings and Facilities Department, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Yeremeyev Aleksey Aleksandrovich, postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation

Object of research is a set of engineering solutions implemented during the reconstruction of the P. L. Apakov tram depot, including the modernization of the power supply system 600 V and 0.4 kV networks, main switchboard, sectioning posts and the introduction of vibration protection technologies in the track superstructure. Modern requirements for the operation of tram rolling stock "Vityaz-M" dictate the need not only to upgrade the energy infrastructure to ensure increased loads and safety but also to address the problem of transport impact on the environment and historical buildings. The aim of the work is to demonstrate an integrated approach to reconstruction, where issues of reliability, energy efficiency, and vibration safety are solved as a single engineering task. An analysis of project documentation, results of field tests of vibration isolation materials, and data from an electronic load monitoring system was carried out. An assessment of the effectiveness of the adopted solutions was performed. The key features of the updated infrastructure are identified: transition to individual sectioning of repair trenches with integration into the safety system, creation of a hierarchical 0.4 kV power supply system with separation of consumers by reliability categories and automatic power factor correction (increase of $\cos\varphi$ from 0.88 to 0.94, development of a unified grounding, lightning protection, and equipotential bonding system for the entire complex of buildings and structures, implementation of vibration isolation mats based on SEBS granulated rubber into the tram track structure, providing vibration reduction by 11–13 dB in a wide frequency range and solving the drainage problem. An indirect relationship has been established and substantiated between the quality of electrical calculations selection of cross-sections, protection against stray currents, ensuring electromagnetic compatibility and the long-term preservation of track geometry, which is a key factor in vibration reduction. The experience of reconstructing the Apakov depot demonstrates the effectiveness of an integrated approach combining the modernization of power electrical equipment and passive methods of protection against dynamic impacts. The implemented solutions not only provide reliable and safe power supply for modern rolling stock but also minimize its negative impact on the surrounding area, increasing the environmental friendliness and sustainability of the urban transport system.

Keywords: tram depot reconstruction, power supply system, sectioning posts, power factor correction, transport vibration, vibration isolation, track superstructure, SEBS granulated composite, stray currents, electromagnetic compatibility, "Vityaz-M".

Введение

Трамвайное депо имени П. Л. Апакова, открытое в 1909 году, является уникальным симбиозом исторической архитектуры и современного инженерного мышления [1, 2]. Реконструкция такого объекта ставит перед проектировщиками комплекс задач, выходящих далеко за рамки простого обновления. Необходимо не только адаптировать инфраструктуру для обслуживания трамваев нового поколения 71-931 «Витязь-М» с их возросшими энергетическими потребностями, но и решить проблемы, связанные с воздействием транспорта на окружающую среду, в частности – на фундаменты и конструкции зданий исторической застройки, расположенную в непосредственной близости от депо и трамвайных линий [3, 4].

Исходное состояние инженерных систем характеризовалось моральным и физическим износом. Кабельные линии 600 В, проложенные в 60–70-х годах, имели критическую степень коррозии. Схема электроснабжения ремонтной зоны не обеспечивала должного уровня электробезопасности, а система внутреннего распределения 0,4 кВ не позволяла гибко управлять нагрузками [5–7]. Параллельно с этим, остро стояла проблема воздействия вибрации от движущихся трамваев на близлежащие здания, что требовало внедрения эффективных методов виброзащиты в конструкции пути.

Целью данной работы является демонстрация того, как в рамках единого проекта реконструкции депо им. Апакова были комплексно решены задачи модернизации системы электроснабжения и снижения транспортной вибрации, что в совокупности обеспечило повышение надежности, безопасности и экологичности работы трамвайного транспорта.

Методы

Проектирование основывалось на комплексе исходных данных, включая новые технические усло-

вия на присоединение к сетям ПАО «Россети Московский регион», поверочный электрический расчет для трамваев «Витязь-М» и акты обследования существующих кабельных линий. Расчет электрических нагрузок и выбор сечений кабелей производились с учетом дифференцированных коэффициентов спроса для различных групп потребителей. Проектирование велось с применением BIM-технологий для координации всех инженерных сетей.

Параллельно с электротехнической частью, проводился анализ методов снижения транспортной вибрации. На основе натурных испытаний на улицах Абельмановская, Большая Андроньевская и других, а также анализа недостатков импортных и устаревших аналогов, была разработана и внедрена технология виброизоляции с применением матов на основе гранулированного каучука СЭБС. Эффективность решения оценивалась путем синхронных замеров виброускорения в грунте до и после виброизолирующего слоя.

Результаты и обсуждение

Комплексный подход к реконструкции позволил создать гармоничную инфраструктуру, где каждый элемент работает на общую цель – эффективную и безопасную эксплуатацию трамвая.

Ключевым изменением в электротехнической части стал переход к иерархической, резервируемой структуре [6]. Внедрена схема с двумя фидерами, что гарантирует бесперебойное питание контактной сети даже при аварии на одном из вводов (рис. 1). Вместо группового подключения, каждая из 29 ремонтных канав оснащена индивидуальным постом секционирования (ПС) с ручным разъединителем, системой световой и звуковой сигнализации и защитными предохранителями. Вводной пост (ПСВ) с автоматическим выключателем и независимым расцепителем позволяет ди-

станционно обесточить все линии по сигналу пожарной сигнализации (рис. 2). Создан новый главный распределительный щит (ГРЩ) с четким разделением потребителей по категориям надежности. Для потребителей I категории -противопожарных систем и аварийного освещения, предусмотрена отдельная панель с автоматическим вводом резерва (АВР). Внедрение автоматических установок компенсации реактивной мощности (АУКРМ) позволило повысить коэффициент мощности с 0,88 до 0,94, снизив потери в сетях.

Научная новизна исследования заключается в обосновании и экспериментальном подтверждении синергетического эффекта от комплексного применения модернизированной системы электроснабжения с индивидуальным секционированием, АУКРМ и усиленным заземлением и инновационных виброизоляционных материалов на основе каучуков СЭБС при реконструкции объектов исторической транспортной инфраструктуры. Впервые установлена и количественно охарактеризована опосредованная связь между параметрами электрических режимов величиной тяговых токов, эффективностью защиты

от блуждающих токов и долговременным сохранением геометрии пути, что является ключевым фактором снижения вибрации.

Рассмотрим влияние электрических режимов на формирование и распространение транспортной вибрации. Прежде чем перейти к пассивным методам виброзащиты, необходимо отметить принципиально важный, хотя и опосредованный, вклад грамотных электротехнических решений в снижение вибрации. Вибрация в системе «колесо-рельс» возникает и усиливается при наличии неровностей, дефектов и ослаблений в пути. Электрические процессы могут как провоцировать появление таких дефектов, так и способствовать их развитию. При протекании больших тяговых токов достигающих, согласно расчетам, для «Витязя-М», 165-192 А в различных режимах, в местах недостаточно надежного контакта возникает искрение и микродуговые разряды, что приводит к локальному оплавлению и эрозии металла, образованию раковин и неровностей на поверхности катания. Колесо, наезжая на такой дефект, генерирует ударную вибрацию.

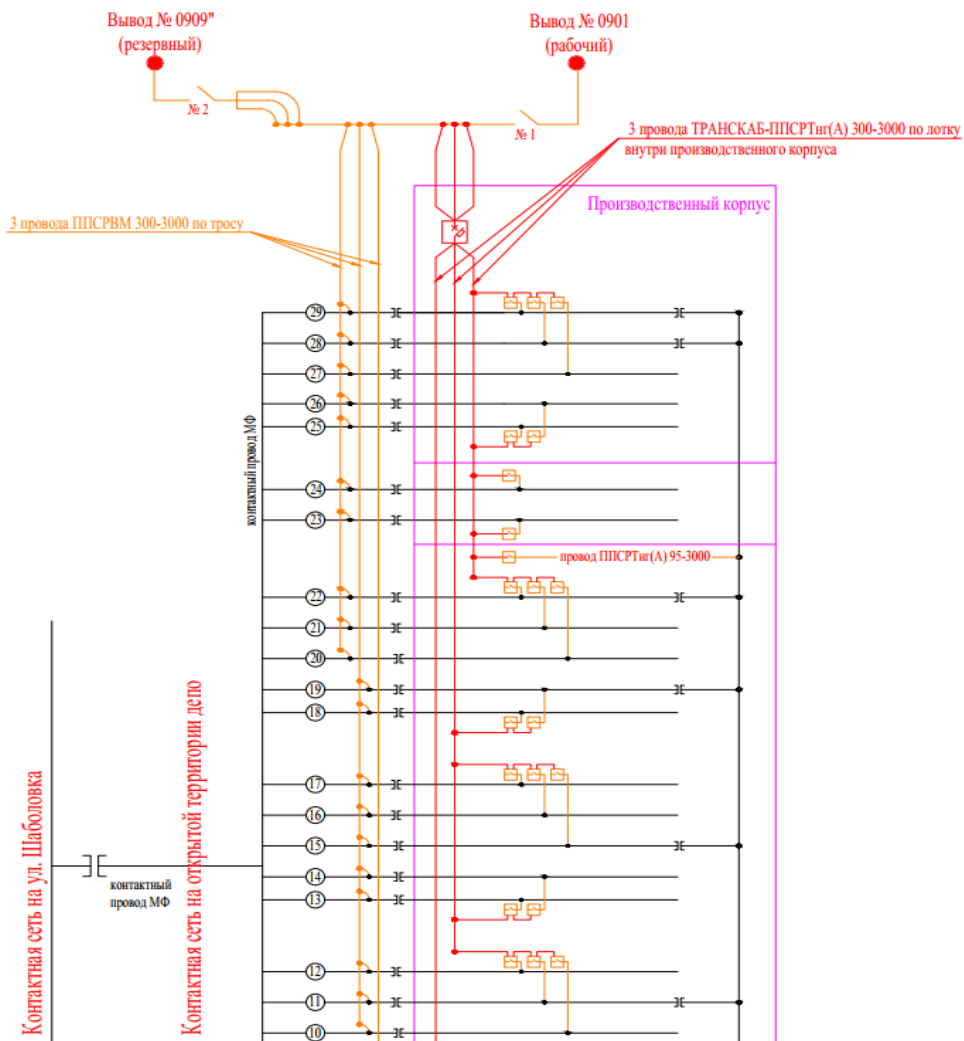


Рис. 1. Принципиальная схема питания и секционирования контактной сети депо (иллюстрация авторов на основе проектной документации)

Fig.1. Schematic diagram of the depot's contact network power supply and sectioning (illustration by the authors based on the project documentation)

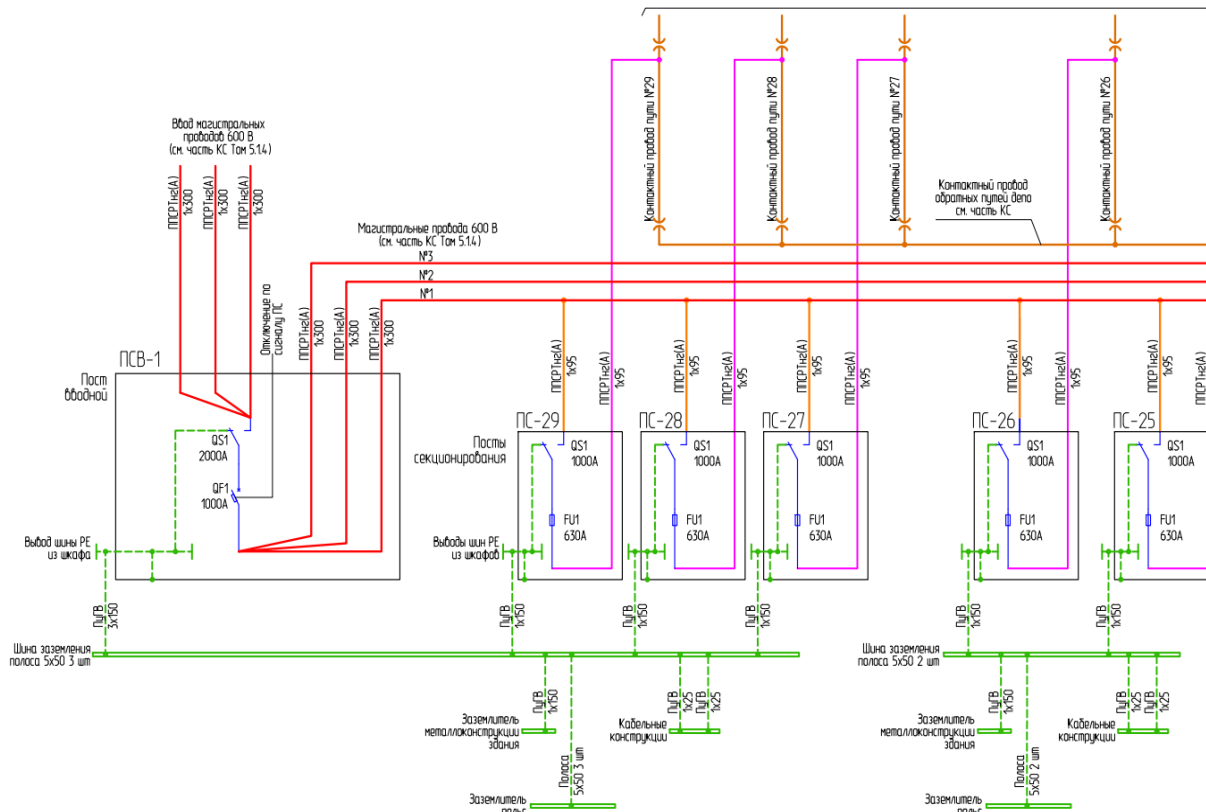


Рис. 2. Внешний вид и компоновка вводного поста секционирования (ПСВ)
 (иллюстрация авторов на основе проектной документации)
 Fig. 2. Appearance and layout of the introductory sectioning post (PSV)
 (illustration by the authors based on the project documentation)

В проекте применены современные междупутные и стыковые электрические соединители, сечения которых рассчитаны на максимальные токи, а их количество и шаг установки выбраны таким образом, чтобы ток шел преимущественно по соединителям, минуя стык, что исключает искрение и сохраняет геометрию стыка.

Электрокоррозия элементов верхнего строения пути, блуждающие токи – это, пожалуй, наиболее значимый фактор долговременного влияния электрики на вибрацию. Блуждающие токи, стекая с рельсов в землю, вызывают интенсивную электролитическую коррозию металлических элементов пути: подрельсовых подкладок, клеммных болтов, арматуры железобетонных шпал и плитных оснований, а также анкерных устройств и закладных деталей.

Стоит отметить и механизм влияния на вибрацию, коррозия ослабляет крепление рельса к основанию. Возникают люфты, упругая и геометрическая стабильность пути нарушается, что приводит к росту вибрации при каждом проходе подвижного состава и со временем этот процесс прогрессирует. Проектом предусмотрено устройство изолирующих прокладок в узлах крепления рельсов для увеличения сопротивления утечке тока. Кроме того, правильно рассчитанная и выполненная система заземления собирает блуждающие токи и возвращает их на тяговую подстанцию, не давая им разрушать инфраструктуру. Сечения и конструкция заземляющих проводников выбраны не только из

условий электробезопасности, но и с запасом, обеспечивая их долговременную работу в условиях коррозионного воздействия.

Электромагнитная совместимость и плавность хода современных трамваев «Витязь-М» оснащены сложными системами автоматического управления тяговыми приводами. Неправильное экранирование силовых кабелей или несоблюдение требований электромагнитной совместимости при проектировании ГРЩ может привести к наводкам на цепи управления, вызывая рывки при пуске и торможении и это создает дополнительные динамические нагрузки на путь, ускоряя его расстройство. В проекте ГРЩ реализованы принципы разделения силовых и слаботоковых цепей, применены кабели с экранами и соблюдены требуемые радиусы изгиба, что гарантирует электромагнитную совместимость всех систем.

Таким образом, грамотные электрические расчеты и проектные решения, направленные на минимизацию искрения, защиту от блуждающих токов и обеспечение электромагнитной совместимости, создают фундаментальные условия для сохранения геометрии и упругости пути, без которых любые пассивные методы виброзащиты будут малоэффективны в долгосрочной перспективе.

Параллельно с модернизацией энергохозяйства, в рамках реконструкции путевого развития (как на подъездных путях, так и на территории самого депо, что отмечено в графике внедрения на 2020 год) были применены передовые методы

виброзащиты. Опыт Москвы показал, что традиционные материалы, такие как пенополиуретан, имеют ряд недостатков: нулевая водонепроницаемость (ведущая к разрушению конструкции при замерзании), низкая устойчивость к точечным нагрузкам от щебня и сложность монтажа [7].

В качестве решения был предложен и испытан виброизоляционный мат, состоящий из гранулированного композита на основе каучуков СЭБС (стирол-этилен-бутилен-стирол), заключенного в высокопрочную оболочку из синтетического войлока. Данная структура обладает рядом преимуществ.

Эффективность данного решения подтверждена многолетними натурными испытаниями и контролем. Измерения, проводимые с помощью системы оценки нагрузок ГУП «Московский метрополитен» (рис. 3), показывают устойчивое снижение логарифмических уровней виброускорения (L_a) на 11–13 дБ в диапазоне частот от 31,5 до 1000 Гц (табл. 2). Это не только соответствует требованиям СП 441.1325800.2019, но и кардинально улучшает ситуацию с вибрационным дискомфортом в близлежащих зданиях [8–10].

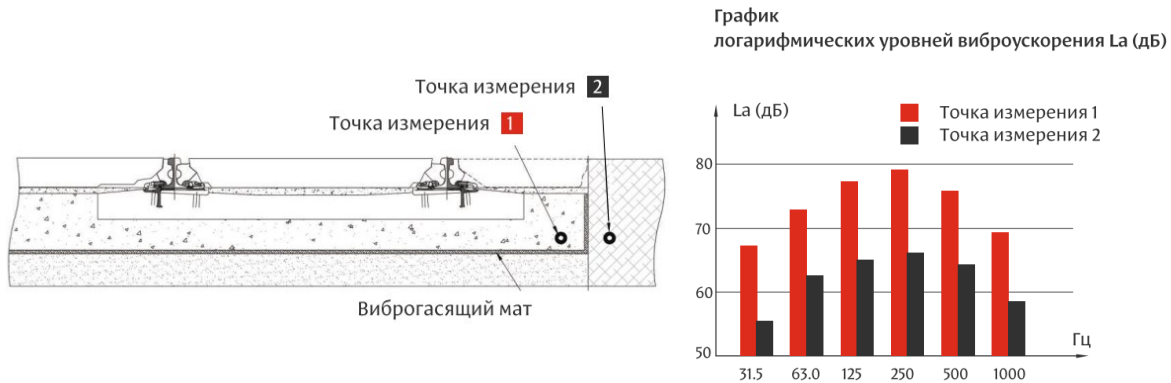


Рис. 3. Принцип и результаты измерения эффективности виброизоляционного мата (иллюстрация авторов на основе проектной документации)
 Fig. 3. Principle and results of measuring the effectiveness of a vibration isolation mat (illustration by the authors based on the project documentation)

Типовые значения снижения виброускорения L_a (дБ)

Таблица

№ п/п	Частота, Гц	Уровень до мата, дБ	Уровень после мата, дБ	Снижение, дБ
1	2	3	4	5
2	31,5	67,0	55,5	11,5
3	63	73,0	60,8	12,2
4	125	76,1	63,7	12,4
5	250	78,0	64,6	13,4
6	500	75,4	61,9	13,5
7	1000	71,0	57,6	13,4

Системной защитой и завершающим элементом комплексного подхода стало создание единой системы защиты всего объекта. Проектом реализована многоуровневая защита от поражения электрическим током, селективная защита от сверхтоков, а также единая система заземления и молниезащиты. Внешний контур заземления здания и индивидуальные контуры для опор и мачт освещения гарантируют безопасность персонала и оборудования, а применение кабелей с пониженной пожарной опасностью минимизирует риски в случае аварийных ситуаций [11–13].

Заключение

1. Реконструкция депо им. Апакова стала примером успешного решения комплексной инженерной задачи, объединившей модернизацию энергетической инфраструктуры и защиту окружающей среды от транспортного воздействия.

2. В части электроснабжения создана современная, иерархическая и резервируемая система, обеспечивающая высокую надежность и безопасность

для эксплуатации трамваев «Витязь-М». Внедрение АУКРМ и светодиодного освещения подтверждает курс на энергоэффективность.

3. Установлена и количественно обоснована важная опосредованная связь: грамотные электрические расчеты, выбор сечений соединителей, защита от блуждающих токов, обеспечение электромагнитной совместимости, создают фундаментальные условия для долговременного сохранения геометрии и упругости пути, без которых пассивные методы виброзащиты теряют свою эффективность.

4. В части защиты от вибрации разработан и внедрен инновационный отечественный материал на основе гранулированного каучука СЭБС, который обеспечивает снижение вибрации до 13 дБ, решает проблему водоотвода и может быть масштабирован на другие объекты рельсового транспорта.

5. Объединение этих, на первый взгляд разнородных, направлений в едином проекте позволило достичь синергетического эффекта: повышение эффек-

тивности и безопасности работы транспорта сопровождается снижением его негативного воздействия на городскую среду, что является ключевым фактором устойчивого развития мегаполиса [14–16]. Разработанный комплекс решений: методика учета нагру-

зок, архитектура ГРЩ, принципы виброзащиты, может быть применен при реконструкции других трамвайных депо и аналогичных объектов транспортной инфраструктуры, что подчеркивает универсальность и тиражируемость результатов [17–20].

Список литературы

1. Титов В. П. Конструктивные решения проекта реконструкции трамвайного депо имени Апакова / В. П. Титов, Ю. В. Лазуткин // Московский транспорт. Наука и проектирование. – 2026. – Т. 5.1, № 1. – С. 20–32.
2. Смирнов А. А. Конструктивные решения по основаниям и фундаментам при реконструкции трамвайного депо имени П. Л. Апакова... / А. А. Смирнов, С. А. Крохин // Московский транспорт. Наука и проектирование. – 2026. – Т. 5.1, № 2. – С. 1–12.
3. СП 98.13330.2018. Трамвайные и троллейбусные линии. – Москва : Минстрой России, 2018.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – Москва : НЦ ЭНАС, 2003.
5. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ № 875н от 9 декабря 2020 г.
6. Технические условия на технологическое присоединение... № И-24-00-451563/125 от 09.09.2024 г. ПАО «Россети Московский регион».
7. Технические условия на виброизоляционные маты: ТУ 22.21.42-002-02488336-2018 и др.
8. СП 441.1325800.2019. Защита зданий от вибрации, создаваемой железнодорожным транспортом. – Москва : Минстрой России, 2019.
9. ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. – Москва : Стандартинформ, 2008.
10. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность. – Москва : Стандартинформ, 2005.
11. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – Москва : Стандартинформ, 2001.
12. ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. – Москва : Стандартинформ, 2007.
13. Купчикова Н. В. Экспериментальные исследования по закреплению слабых грунтов... / Н. В. Купчикова // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 3 (44). – С. 123–132.
14. Федоров В. С. Планирование эксперимента по оценке влияния комплексности сочетания динамических воздействий... / В. С. Федоров, Ю. В. Лазуткин, Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2025. – № 4 (120). – С. 71–81. – DOI: 10.33979/2073-7416-2025-120-4-71-81.
15. Королев В. В. Новые конструкции пути рельсошпальной решетки... / В. В. Королев, И. В. Шишкина, С. С. Князев // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. – 2017. – № 13. – С. 78–84.
16. Параскевопуло Ю. Г. Способы снижения шума и вибрации от трамвая при строительстве трамвайных путей в городах / Ю. Г. Параскевопуло, Н. Н. Султанов // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБ-ТРАНС-2014) : материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 22–24 октября 2014 года. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014. – С. 184–188.
17. Федоров В. С. Планирование эксперимента по оценке влияния комплексности сочетания динамических воздействий от наземного и подземного транспорта / В. С. Федоров, Ю. В. Лазуткин, Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2025. – № 4 (120). – С. 71–81. – DOI 10.33979/2073-7416-2025-120-4-71-81.
18. Локтев А. А. Моделирование воздействия городского рельсового транспорта на окружающую застройку / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 52–60. – DOI 10.15593/24111678/2023.01.07.
19. Лазуткин Ю. В. Влияние сочетания динамических воздействий от наземного и подземного транспорта в условиях плотной застройки мегаполиса / Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2025. – № 1 (51). – С. 28–36. – DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-28-36.
20. Дудкин Е. П. Проблемы охраны труда и геоэкологической опасности городского транспорта / Е. П. Дудкин, В. А. Черняева // Технологичная техносферная безопасность. – 2014. – № 1 (53). – С. 29.

References

1. Titov V. P., Lazutkin Yu. V. Konstruktivnye resheniya proekta rekonstruktsii tramvainogo depo imeni Apakova [Structural Solutions for the Apakov Tram Depot Reconstruction]. *Moskovskii transport. Nauka i proektirovanie* [Moscow Transport. Science and Design]. 2026, vol. 5.1, no. 1, pp. 20–32.
2. Smirnov A. A., Krokhin S. A. Konstruktivnye resheniya po osnovaniyam i fundamentam pri rekonstruktsii tramvainogo depo imeni P. L. Apakova... [Structural Solutions for Foundations and Foundations during the Reconstruction of the P. L. Apakov Tram Depot...]. *Moskovskii transport. Nauka i proektirovanie* [Moscow Transport. Science and Design]. 2026, vol. 5.1, no. 2, pp. 1–12.
3. SP 98.13330.2018. *Tramvainie i trolleibusnie linii* [Tram and trolleybus lines]. Moscow: Minstroii Rossii; 2018.
4. *Pravila ustroistva elektroustanovok (PUE)* [Electrical Installation Rules (PUE)]. Moscow: NTs ENAS; 2003.
5. *Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoi zashchiti RF № 875n ot 9 dekabrya 2020 g.* [Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation No. 875n dated December 9, 2020].
6. *Tekhnicheskie usloviya na tekhnologicheskoe prisoedinenie... № I-24-00-451563/125 ot 09.09.2024 g. PAO «Rosseti Moskovskii region»* [Technical specifications for technological connection... No. I-24-00-451563/125 dated September 9, 2024. PJSC Rosseti Moscow Region].
7. *Tekhnicheskie usloviya na vibroizolyatsionnie mati: TU 22.21.42-002-02488336-2018 i dr.* [Technical specifications for vibration isolation mats: TU 22.21.42-002-02488336-2018 and others].
8. *SP 441.1325800.2019. Zashchita zdaniy ot vibratsii, sozdavaemoi zheleznodorozhnim transportom* [Protection of buildings from vibration generated by rail transport]. Moscow: Minstroii Rossii; 2019.
9. *GOST R ISO 14837-1-2007. Shum i vibratsiya, sozdavaemие dvizheniem relsovogo transporta* [Noise and vibration generated by rail transport movement]. Moscow: Standartinform; 2008.
10. *GOST 12.1.012-90. Vibratsionnaya bezopasnost* [Vibration safety]. Moscow: Standartinform; 2005.

11. GOST 12.1.030-81. *Elektrobezopasnost. Zashchitnoe zazemlenie, zanulenie* [Electrical safety. Protective grounding, neutral grounding]. Moscow: Standartinform; 2001.
12. GOST 10434-82. *Soedineniya kontaktne elektricheskie* [Electrical contact connections]. Moscow: Standartinform; 2007.
13. Kupchikova N. V. Eksperimentalnie issledovaniya po zakrepleniyu slabikh gruntov... [Experimental studies on stabilization of soft soils...]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Civil Engineers' Bulletin]. 2014, no.3 (44), pp. 123–132.
14. Fedorov V. S., Lazutkin Yu. V., Kupchikova N. V. Planirovanie eksperimenta po otsenke vliyaniya kompleksnosti sochetaniya dinamicheskikh vozdei-stvii... [Planning an experiment to assess the impact of a complex combination of dynamic impacts...]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2025, no. 4 (120), pp. 71–81. DOI: 10.33979/2073-7416-2025-120-4-71-81.
15. Korolev V. V., Shishkina I. V., Knyazev S. S. Novie konstruktivnye puti relsoshpalnoi reshetki... [New track designs for rail and sleeper grids...]. *Sovremennye problemi sovershenstvovaniya raboty zheleznodorozhnogo transporta* [Modern Problems of Improving the Operation of Rail Transport]. 2017, no. 13, pp. 78–84.
16. Paraskevopulo Yu. G., Sultanov N. N. Sposobi snizheniya shuma i vibratsii ot tramvaya pri stroitelstve tramvainikh putei v gorodakh [Methods for reducing noise and vibration from trams during the construction of tram tracks in cities]. *Tekhnosfernaya i ekologicheskaya bezopasnost na transporte (TEB-TRANS-2014) : materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Sankt-Peterburg, 22–24 oktyabrya 2014 goda* [Technosphere and Environmental Safety in Transport (TEB-TRANS-2014): Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, October 22–24, 2014]. Saint Petersburg: Peterburgskii gosudarstvennii universitet putei soobshcheniya Imperatora Aleksandra I; 2014, pp. 184–188.
17. Fedorov V. S., Lazutkin Yu. V., Kupchikova N. V. Planirovanie eksperimenta po otsenke vliyaniya kompleksnosti sochetaniya dinamicheskikh vozdei-stvii ot nazemnogo i podzemnogo transporta [Planning an experiment to assess the impact of a complex combination of dynamic impacts from surface and underground transport]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2025, no. 4 (120), pp. 71–81. DOI 10.33979/2073-7416-2025-120-4-71-81.
18. Loktev A. A., Loktev D. A., Illarionova L. A. Modelirovanie vozdeistviya gorodskogo relsovogo transporta na okruzhayushchuyu zastroiku [Modeling the Impact of Urban Rail Transport on Surrounding Development]. *Transport. Transportnie sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport Facilities. Ecology]. 2023 no. 1, pp. 52–60. DOI 10.15593/24111678/2023.01.07.
19. Lazutkin Yu. V. Vliyaniye sochetaniya dinamicheskikh vozdeistvii ot nazemnogo i podzemnogo transporta v usloviyakh plotnoi zastroiki megapolisa [The Impact of a Combination of Dynamic Impacts from Surface and Underground Transport in Densely Built-Up Megalopolises]. *Inzhenerno-stroitelnyi vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2025, no. 1 (51), pp. 28–36. DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-28-36.
20. Dudkin Ye. P., Chernyaeva V. A. Problemy okhrani truda i geoekologicheskoi opasnosti gorodskogo transporta [Problems of labor protection and geoeological hazards of urban transport]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti* [Technologies of technosphere safety]. 2014, no. 1 (53), pp. 29.

© Ю. В. Лазуткин, Н. В. Купчикова, А. А. Еремеев

Ссылка для цитирования:

Лазуткин Ю. В., Купчикова Н. В., Еремеев А. А. Комплексные инженерные решения при реконструкции трамвайного депо имени п. л. апакова: от системы электроснабжения до защиты от транспортной вибрации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 80–86.

УДК 004.4:69
DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-86-93

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ С ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТИМ-МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Н. В. Купчикова, И. А. Демкина, Е. О. Шкруднев

Купчикова Наталья Викторовна, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Демкина Ирина Александровна, студент, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация;

Шкруднев Егор Олегович, студент, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Объект исследования – программный модуль для автоматизированной проверки ТИМ-моделей зданий и сооружений в формате IFC при прохождении государственной экспертизы проектно-сметной документации. Актуальность обусловлена низкой интеллектуализацией существующих процессов экспертизы, преобладанием ручных и визуальных проверок, отсутствием автоматизированной верификации нормативных требований, что приводит к высокой трудоемкости, субъективности и снижению скорости экспертизы. Метод основан на создании веб-приложения на стеке Python/FastAPI с использованием библиотек ifcopenshell и ifctester для парсинга IFC-файлов и валидации по спецификациям IDS. Реализована двухколоночная схема интерфейса, включающая загрузку моделей, выбор видов проверок (нормативы, коллизии, IDS), отображение результатов с визуализацией нарушений. Для семантического поиска по базе нормативных документов применена RAG-система ИИ-ассистента. Разработанный модуль позволяет выполнять проверку IFC-моделей по ГОСТ, СП, СНиП, выявлять физические и логические коллизии, проводить валидацию по IDS-файлам, формировать детализированные отчеты. Интерфейс содержит интерактивные элементы управления, таймер выполнения, плавающее окно ассистента, адаптивную верстку. Предложенное решение обеспечивает комплексную автоматизацию ключевых этапов экспертизы ТИМ-моделей, снижает влияние человеческого фактора, повышает скорость проверки и не требует установки дополнительного ПО на стороне пользователя.

Ключевые слова: ТИМ; информационное моделирование зданий; государственная экспертиза; IFC; проверка модели; коллизии; IDS; искусственный интеллект; RAG; веб-интерфейс; автоматизация экспертизы; нормативные документы.