

для дальнейших исследований и практических разработок, способствующих формированию устойчивых и безопасных транспортных систем будущего.

Список литературы

- 1 VC.RU. – URL: <https://vc.ru/id3649586/1643968-innovacii-v-bezopasnosti-avtomobilei-kak-tehnologii-spasayut-zhizni> (дата обращения: 28.09.2025).
- 2 HANSTON. – URL: <https://hanston.ru/press-centr/transportnaya-bezopasnost-innovacionnye-tehnologii-i-sovremennyye-metody-zaschity> (дата обращения: 28.09.2025).
- 3 Смирнов, Ю. А. Электромобиль: инфраструктура и электротехнические компоненты : учеб. пособие / Ю. А. Смирнов. – СПб : Лань, 2021. – 476 с.

УДК 624.042:625.41

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АНКЕРНЫХ УЗЛОВ ЭСТАКАД ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ uST С ВЫРАБОТКОЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ю. А. ШЕБЗУХОВ, В. Н. ГАРАНИН

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

Анкерные узлы являются критически важными элементами рельсо-струнных эстакад транспортных комплексов uST [1, 2]. Их преждевременный выход из строя снижает ресурс опор, увеличивает затраты на эксплуатацию и снижает общую безопасность системы. Основными причинами их ограниченного ресурса являются коррозионные процессы и усталостное разрушение под действием динамических нагрузок и вибраций [3].

Важной особенностью работы указанных узлов являются воспринимаемые нагрузки от сил натяжения путевых структур и от движения транспортных средств – Юнимобилей [4]. По этой причине требуется системный подход к повышению долговечности, сочетающий использование таких научных подходов, как идентификация внешних факторов, численное моделирование, патентно-литературный анализ и др.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести анализ конструкций существующих узлов и условий их эксплуатации с выделением факторов, определяющих долговечность по критериям коррозионной стойкости и усталостной прочности;
- разработать 3D-модель базового узла и выполнить математическое определение влияния факторов (силы, вибрации, окружающая среда) на геометрию и скорость развития коррозии;
- выполнить анализ литературных и патентных источников для оценки применимости известных решений;
- разработать технические решения по модернизации существующего узла;
- разработать 3D-модель модернизированного узла и анализ его долговечности;
- определить закономерности влияния факторов на конструктивные элементы для формирования типовых технических заданий.

Для решения указанных задач необходим комбинированный подход, включающий:

- численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ) для оценки статических и динамических напряжений, собственных частот и мод колебаний;
- многофакторное моделирование коррозионного процесса с учётом геометрии, материалов и микроклиматических условий (модели экспоненциального/линейного распространения коррозии для разных сред);
- усталостный анализ по интегральным критериям накопленной деформации и циклической прочности;
- оптимизацию конструктивных решений по критериям долговечности, технологичности и экономичности.

Критериями оценки результатов МКЭ и коррозионного моделирования для исходной и модернизированной моделей являются снижение максимальных эквивалентных напряжений при рабочих режимах, повышение числа циклов до усталостного разрушения по выбранному уровню надёжно-

сти, снижение скорости локальной утраты сечения по моделям коррозии, экономическая оценка срока окупаемости модернизации через уменьшение затрат на техобслуживание и замену узлов.

Несомненно, научное исследование должно проводиться в соответствии с СТБ 1080-2011, а достоверность результатов может быть обеспечена только верификацией исходных данных и применением современных программных комплексов для выполнения конечно-элементного анализа и коррозионного моделирования.

Решение поставленных задач позволит в результате:

- классифицировать и систематизировать внешние факторы, влияющие на долговечность анкерных узлов транспортных комплексов uST, с ранжированием по степени их влияния на возникающие коррозию и усталость;

- получить математические зависимости влияния силовых и климатических факторов на изменение геометрии узла и на темп развития коррозии;

- сформировать технические решения для модернизации узла, включающие конструктивные изменения, подбор материалов и покрытий, методы защиты от вибрации и организационные мероприятия обслуживания;

- провести сравнительный анализ долговечности базовой и модернизированной конструкций анкерного узла на основе разработанных 3D моделей;

- получить набор закономерностей и эмпирических формул для формирования технических заданий под различные исходные данные;

- адаптировать механико-коррозионное моделирование и практические конструктивные решения к производственным возможностям ЗАО «Струнные технологии», которое разрабатывает транспортные комплексы uST.

Выполнение соответствующей научно-исследовательской работы на практике позволит:

- оптимизировать геометрию узла, например, увеличить радиусы закруглений в критических местах, перераспределить ребра жесткости, что приведет к снижению концентрации напряжений;

- подобрать материалы и антикоррозионную защиту на основе коррозионностойких сплавов в узловых элементах и комбинации слоёв защиты (например, гальванические покрытия в сочетании с лакокрасочными или органическими покрытиями) с учётом эксплуатационных температур и агрессивности среды;

- адекватно применять конструктивные демпферы и изоляцию вибраций для снижения амплитуды циклических напряжений;

- повысить модульность конструкций за счет обеспечения заменяемости высоконагруженных элементов без демонтажа крупной части опоры;

- организовать непрерывный мониторинг состояния конструкции путем интеграции датчиков вибрации и коррозии для прогнозирования ресурса и планирования технического обслуживания;

- предложить технологические решения по защите сварных швов и мест соединений от локальной коррозии;

- разработать регламент контрольных испытаний и критериев приёмки модернизированных узлов.

Предложенный комплексный подход позволит снизить уровень вибраций и связанное усталостное разрушение в сложно нагруженных узлах, уменьшить частоту капитального ремонта и расходы на их обслуживание, увеличить эксплуатационный ресурс и, как следствие, повысить безопасность и надёжность транспортных комплексов uST. По этой причине полученные результаты имеют высокий потенциал применения и внедрения как на пилотных линиях, так и при подготовке технических заданий для серийного производства комплексов.

Таким образом, предлагаемая работа по повышению долговечности анкерных узлов обеспечивает системный переход от анализа факторов повреждаемости к практическим конструкторским решениям, адаптированным к производственным возможностям ЗАО «Струнные технологии». Результаты работы позволят найти и реализовать способы повышения долговечности и безопасности анкерных узлов не только рельсо-струнных эстакад uST, но и аналогичных элементов других наземных транспортных комплексов.

Список литературы

1 Юницкий, А. Э. Транспортно-инфраструктурные комплексы Юницкого как комплексное решение транспортных проблем в области энергоэффективности, экологичности и безопасности / А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский // Транспорт России: проблемы и перспективы : материалы междунар. науч.-практ. конф., 9–10 нояб. 2022 г., г. С.-Петербург. – СПб. : ИПТ РАН, 2022. – С. 139.

2 Юницкий, А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакросс : ПНБ принт, 2019. – 576 с.

3 Беляев, А. К. Современные проблемы усталости и разрушения машиностроительных и строительных конструкций / А. К. Беляев, А. А. Беляев, А. В. Гадолина // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2020. – № 7 (103). – С. 1–15.

4 Юницкий, А. Э. Влияние внешних факторов на вероятность возникновения резонанса в системе «струна – подвижной состав» // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 2. – С. 79–82.

УДК 625.7

ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ АКТИВНОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ: НАСКОЛЬКО ПЕШЕХОДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГОТОВА К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

Н. И. ШИШКО

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Ю. ДАШКОВСКИЙ

Государственное предприятие «Белгипродор», г. Минск

Современное общество не стоит на месте, постоянно появляются новые тренды, направления и веяния. Порой они являются просто маркетинговыми ходами для продвижения очередной партии чьей-то продукции, а порой вызваны действительно важными изменениями и тенденциями в мире.

Популяризация активного образа жизни: использование средств персональной мобильности (далее – СПМ) при передвижении, таких как велосипеды, самокаты и просто ходьба пешком, в настоящее время активно продолжает продвигаться в массы. Особое внимание также привлекается здесь и к тому аспекту, что все эти виды средств передвижения являются «экологически чистыми», не наносящими вреда окружающей среде.

Несомненно, здоровье населения – это один из немаловажных факторов, оказывающих влияние на положительную динамику экономического роста и развития региона, стран в целом. Вопрос обеспечения безопасности передвижения всех групп участников дорожного движения остается актуальным в мировых масштабах по-прежнему, а учитывая рост спроса на дорожную инфраструктуру для обеспечения безопасного передвижения велосипедистов, пешеходов и иных пользователей СПМ, возникает опасение: на сколько существующая инфраструктура готова к полноценному обеспечению инклюзивной и безопасной среды уже сейчас и что еще необходимо предусмотреть, учитывая рост пользователей СПМ и приверженцев «экологически чистых» средств передвижения, для поддержания безопасности передвижения.

В мае 2025 года на восьмой Глобальной неделе безопасности дорожного движения Организации Объединенных Наций, которая проходила под девизом «Обеспечить безопасность пешеходов и велосипедистов», Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) представила новое методическое руководство, призванное содействовать работе правительств по развитию активной мобильности путем повышения ее безопасности [1]. Мировая статистика остается неутешительной – ежегодно погибает около 1,2 млн человек в результате дорожно-транспортных происшествий, четверть от этого числа – это наиболее уязвимые участники дорожного движения: велосипедисты и пешеходы. В целом за период последних пятнадцать лет среднемировые показатели смертности пешеходов немного снизились, а среди велосипедистов – остались на том же уровне. Однако есть ряд регионов, где прирост смертности уязвимых групп участников дорожного движения продолжается [1].

В целом привлечение внимания к активному образу жизни, к использованию «экологически чистых» средств передвижения – верные направления, которые помогут формированию более «здоровых» привычек у населения. Эта задача будет выполнимой при соблюдении условий обеспечения безопасности передвижения, а для этого необходимо полноценное внедрение целого ряда действий и дополнительных мер на правительственном уровне.

Основные направления, по которым рекомендуется проводить работу [1, 2]:

1 Интеграция пешеходного и велосипедного движения в стратегии в области транспорта, здравоохранения, охраны окружающей среды и образования (формирование комплексного понимания задач и подхода к их решению как со стороны населения, так и со стороны правительств и ве-