

*Инновационные контактные провода с повышенной электропроводностью и механической прочностью. Основные организации-правообладатели: Ethicon Endo-Surgery LLC, Saint-Gobain Glass France, ООО НПО «Современные Пожарные Технологии».*

*Электрическая система торможения с преобразованием кинетической энергии в электрическую. Основные организации-правообладатели: Ford Global Technologies LLC, Ethicon Endo-Surgery LLC, Nissan Motor Company Ltd, Тойота Дзидося Кабусики Кайся.*

*Фрикционный механизм дополнительного торможения. Основные организации-правообладатели: Ford Global Technologies LLC, Scania CV AB, Тойота Дзидося Кабусики Кайся, Simens AG.*

*Разработка новых материалов для тормозных колодок (сталь, чугун, керамика, композиты). Основные организации-правообладатели ОАО «РЖД», Ethicon Endo-Surgery Inc.*

*Инновационная составляющая проекта ВСМ Москва – Санкт-Петербург включает разработку отечественного подвижного состава. Головные организации по производству высокоскоростных поездов – компания «Синара» и ее дочернее предприятие «Уральские локомотивы».*

Проведенный анализ патентного фонда говорит о том, что отечественные изобретатели вносят достойный вклад в решение проблем, связанных с развитием высокоскоростного транспорта. Более того, разрабатываемые технологии и решения найдут (и находят) применение не только в ж.-д. отрасли, но и в других сферах народного хозяйства, способствуя развитию транспортной инфраструктуры страны, стимулируя производство новых материалов и оборудования [6].

В целом уже сейчас можно говорить о том, что проект ВСМ Москва – Санкт-Петербург является катализатором технологического развития России, так как открывает новые возможности для применения инновационных решений в инфраструктурных проектах различного масштаба.

#### **Список литературы**

- 1 **Бухтенкова, А. В.** Инновационные решения в рамках строительства первой высокоскоростной магистрали Москва – Санкт Петербург / А. В. Бухтенкова, М. В. Волкова // Техника и технология транспорта. – 2021. – № 2 (21). – С. 16. – URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N21-16TI221.pdf> (дата обращения : 10.08.2025).
- 2 **Валинский, О. С.** Научное обеспечение проектирования и строительства высокоскоростных железнодорожных магистралей / О. С. Валинский, И. П. Киселёв // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2024. – № 1 (110). – С. 11–28.
- 3 **Помыткина, Н. А.** Высокоскоростные магистрали России и их влияние на экономику / Н. А. Помыткина, Н. В. Ко-чарин // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 6. – С. 13–17.
- 4 Основополагающие требования к конструкции земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий / А. Ф. Колос, А. В. Петряев, И. В. Колос [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. – 2018. – № 1. – С. 36–48.
- 5 **Никитин А. Б.** Технические нормы и требования к системам автоматики и телемеханики высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт Петербург / А. Б. Никитин, В. В. Моисеев // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2024. – № 1 (110). – С. 49–52.
- 6 **Кашкин, Н. В.** О развитии в России высокоскоростного движения в 2017–2023 годах и на ближайшую перспективу до 2035 года / Н. В. Кашкин, А. Ю. Трошин // Транспортное строительство. – 2023. – № 4. – С. 2–6.

УДК 004.942:656.2

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*A. A. ЕРОФЕЕВ, И. Н. БАБАРИКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Динамика современного транспортного рынка и растущие требования со стороны клиентов создают серьёзные вызовы для предприятий транспорта, связанные с необходимостью поддерживать качество транспортных услуг на должном уровне. Клиенты ожидают быструю и своевременную доставку грузов при безусловном обеспечении безопасности перевозок, при этом транспортные услуги должны быть гибкими, адаптированными под индивидуальные потребности каждого отдельного клиента. Для того чтобы сохранить конкурентоспособность, железнодорожный транспорт должен своевременно адаптироваться под современные потребности грузовладельцев. Это требует от железных дорог эффективного распоряжения имеющимися техническими средствами, такими как путевая инфраструктура и подвижной состав, равно как и непрерывного поддержания их в тех-

нически исправном и работоспособном состоянии. Кроме того, требуется оперативное и точное реагирование на нештатные ситуации, с тем чтобы минимизировать их негативные последствия. Развитие информационных технологий способно внести значительный вклад в решение указанных задач. Одним из наиболее перспективных способов применения современных достижений в управлении производственным процессом является создание цифровых двойников (ЦД) [1].

Технология «Цифровой двойник» (англ. *«Digital Twin»*) стремительно набирает популярность в последние годы, и во многих отраслях радикально изменяет подходы к оперативному управлению. Под ЦД понимается виртуальный клон некоей одушевлённой или неодушевлённой сущности, который может обмениваться информацией и обратной связью между реальным и цифровым миром. ЦД можно рассматривать как результат объединения многих передовых технологий, среди которых ключевыми являются следующие [2].

1 Интернет вещей. Функционирование ЦД требует обязательного наличия датчиков, которые собирают данные о состоянии моделируемого объекта. Помимо сбора данных от датчиков необходим обмен информацией между всеми физическими устройствами, задействованными в функционировании ЦД, такими как исполнительные и вычислительные устройства, что обуславливает применение технологии интернета вещей в создании ЦД.

2 Облачные вычисления. Под ними понимается модель предоставления услуг информационно-коммуникационных технологий по компьютерной сети для сбора и обработки информации. Облачные службы включают в себя физические сетевые устройства, серверы и хранилища, программное обеспечение, операционные системы и приложения, то есть прикладные компьютерные программы. Целью облачных служб является предоставление конечным пользователям безопасных, надежных и мощных вычислительных возможностей для своих пользователей. Это эффективная технология, которая позволяет пользователям, таким как железные дороги, получить за умеренную плату в распоряжение все преимущества развитой ИТ-инфраструктуры, без необходимости создавать собственные вычислительные центры, что может быть долго, дорого и для чего у железных дорог, как правило, нет необходимых компетенций.

3 Анализ биг data. Термин «биг data» происходит от английского Big Data, что означает «Большие данные». Под ним понимается массив информации значительного объема, полученной из широкого спектра источников, который невозможно обработать традиционными методами, такими как экспертный анализ, в силу слишком большого количества информации. Для обработки биг data были выработаны специальные инструменты, такие как статистический анализ и машинное обучение. Их использование позволяет принимать оптимальные управлекческие решения, повысить уровень безопасности и выявлять глубинные причины тех или иных проблем.

4 Искусственный интеллект. Существует множество подходов к определению искусственного интеллекта, в том числе философских и метафизических, однако в технике под искусственным интеллектом (ИИ), как правило, понимаются программные решения, основанные на методах нелинейной оптимизации, применяемых к большим массивам предварительно подготовленных данных. В результате такие системы приобретают способность решать задачи, не входившие в исходный (обучающий) набор, демонстрируя свойства обобщения и адаптации. Технологии ИИ активно внедряются во все сферы человеческой деятельности, и ЦД не являются исключением. Применительно к ЖД транспорту они имеют большой потенциал для повышения безопасности движения, снижения себестоимости транспортных услуг и решения оптимизационных задач.

Сфера применения ЦД включают поддержку принятия управлекческих решений в промышленности, обучение, постановку диагнозов в медицине, прогнозирование выхода из строя оборудования. В последнее время ЦД широко используется для обслуживания пассажиров на железнодорожном транспорте, однако в целом по отрасли данная технология находится всё ещё в стадии становления. Тем не менее уже на данном этапе существуют масштабные проекты цифровых двойников для железнодорожного транспорта (ЦДЖ), которые находят применение в производственной деятельности [1].

Примером может служить ЦДЖ для железных дорог Германии [3]. Его разработкой занимается структурное подразделение Deutsche Bahn Digitale Schiene Deutschland («Цифровая ЖД для Германии») в сотрудничестве с корпорацией NVIDIA. В нём должна быть физически точно отражена вся сеть железных дорог Германии, насчитывающая около 5700 станций и 33000 км путей. Уделяется внимание визуальному представлению моделируемых объектов, которые должны быть в 3D и фо-

тореалистичными. Развитие ЦД должно дать возможность увеличивать пропускную способность инфраструктуры без строительства новых ЖД путей, создать условия для автоматического вождения поездов с минимальными интервалами и высоким уровнем безопасности. Ожидается, что технологии NVIDIA, в частности мультивселенной Omniverse, могут стать началом воплощения в жизнь видения полностью автоматической железной дороги, которая будет иметь лучшие показатели провозной способности, эффективности и качества, сможет успешно конкурировать с автомобильным транспортом и уменьшить выбросы углерода в атмосферу. Когда ЦД будет идеально синхронизирован с реальным миром, он может быть использован для оптимизационных тестов и для оценки сценариев «что если», чтобы прогнозировать последствия тех или иных изменений в системе.

Италия [4] также работает над созданием цифрового двойника для своей железной дороги, которая насчитывает 16000 км путей. Его разработкой занимается компания «Transportation and Logistics Business Unit at AlmavivA». ЦД включает в себя все объекты железнодорожной инфраструктуры, такие как станции, мосты, тоннели, объекты энергоснабжения. Так же, как и в Германии, ведутся работы над созданием 3D реплики реальной ЖД. Одним из способов применения цифрового клона в Италии видится улучшение управляемости системы, поскольку менеджеры линейного уровня получат доступ к исчерпывающей информации об инфраструктуре и смогут благодаря этому принимать решения без консультаций со специалистами на более высоком уровне. Более того, это должно мотивировать линейных менеджеров быть более проактивным и предупреждать проблемы вместо того, чтобы на них реагировать. Уже на настоящем этапе развития ЦКЖ в Италии он даёт хорошие результаты в том, что касается ускорения бизнес-процессов за счёт быстрого доступа специалистов ко всей нужной информации.

ЦД может использоваться также для контроля за состоянием объектов инфраструктуры, таких как мосты, с использованием технологии SHM (structure health monitoring – структурный мониторинг исправности). Под ним понимается процесс оценки состояния, объекта основанный на информации от установленной на данном объекте аппаратуры [5]. Данный процесс включает в себя четыре фазы.

1 Измерения. Комплекс аппаратуры, расположенный на объекте, собирает сведения об его состоянии, которые можно контролировать и анализировать.

2 Мониторинг, для обеспечения которого требуются технологии передачи информации и её отображения.

3 Анализ, который понимается как набор техник, которые на основании данных, поступающих от датчиков, позволяют делать выводы о состоянии контролируемого объекта и распознавать неисправности.

4 Поддержка принятия решений, касающихся обслуживания контролируемого объекта.

Известен экспериментальный пример использования ЦД для мониторинга состояния одного из ЖД мостов в Испании [5]. Для сбора информации используются акселерометры, установленные в контролируемых точках моста. Информация от них концентрируется в шлюзе, с которым датчики объединены при помощи технологии Wi-Fi. Чтобы не перегружать систему избыtkом информации и сократить потребление энергии датчиками, сбор информации запускается только при движении поездов по мосту. Электроснабжение датчиков и шлюза является автономным и осуществляется с использованием солнечных панелей. Со шлюза информация передаётся в локальную сеть, где принимается в режиме реального времени и обрабатывается с сохранением в базе данных. Далее информация поступает в облачную сеть. В облачной сети информация сохраняется в «озере данных» в виде, пригодном для машинного обучения, и на основании данной информации происходит собственно машинное обучение, цель которого – научиться выявлять структурные дефекты на основе данных о вибрациях элементов моста при проследовании по нему поездов. Например, увеличение величин вибраций при прочих равных условиях (то есть при проследовании сходных по параметрам поездов), лежащих в определённых диапазонах частот, позволяет сделать вывод о снижении жёсткости конструкции. Появление новых пиков вибраций, то есть интенсивных вибраций на таких частотах, где раньше их не наблюдалось, также может означать, что конструкции нанесён вред. Это происходит, например, когда из-за изменений амортизационных свойств элементов моста его колебания продолжаются некоторое время после проследования поезда. Достигнутая при машинном обучении точность выявления отклонений от нормы превысила 99,9 %. Однако исследователями сделан вывод, что такая технология мониторинга состояния мостов является дорогостоящей

и применима лишь для наиболее важных или же находящихся в угрожающем техническом состоянии мостов.

Другим перспективным направлением использования ЦД на железнодорожном транспорте является обучение персонала. Они незаменимы при отработке действий в опасных ситуациях, где в реальности человек может ошибиться только один раз, а также при обучении персонала управлению сложными дорогостоящими техническими объектами, особенно если они существуют в единственном экземпляре. Примером второго могут служить крупные железнодорожные станции, каждая из которых имеет некие особые местные условия, и при этом ошибки в управлении ими могут иметь тяжёлые последствия. Использование ЦД в обучении имеет множество преимуществ. Это экономит ресурсы по сравнению с обучением на реальных объектах, позволяет отрабатывать широкий диапазон различных ситуаций, в том числе опасных и редко встречающихся.

При внедрении ЦД на железнодорожном транспорте важно принимать в расчёт специфику, обусловленную высокими требованиями безопасности и надёжности, предъявляемыми к железнодорожному транспорту. Скорость цифровизации на ЖД ограничивается наличием строгих нормативов по безопасности, которым обязаны следовать перевозчики [2]. Необходимо постоянно обеспечивать соблюдение требований информационной безопасности при сборе, хранении и обработке информации, поскольку сбой, вызванный ошибками в программном обеспечении, поломкой оборудования или злонамеренным вмешательством, может иметь самые тяжёлые последствия вплоть до массовой гибели людей. Внедрение цифровых двойников связано с кратным ростом числа датчиков и объёма передаваемой от них информации, что требует принятия мер для обеспечения её конфиденциальности, таких как использование шифрования и протоколов для контроля целостности переданной информации. Также необходимы системы контроля и управления доступом и надежные механизмы аутентификации. В случае применения ЦД для обслуживания пассажиров приобретает важность обеспечение сохранности персональных данных пассажиров.

#### Список литературы

- 1 Werbińska-Wojciechowska, S. Digital Twin Approach for Operation and Maintenance of Transportation System – Systematic Review / S. Werbińska-Wojciechowska, R. Giel, K. Winiarska // Sensors. – 2024. – 24 (18), 6069. – <http://doi.org/10.3390/s24186069>.
- 2 Digitalization of railway transportation through AI-powered services: digital twin trains / S. Sarp, M. Kuzlu, V. Jovanovic [et al.] // European Transport Research Review. – 2024. – 16.10.1186/s12544-024-00679-5.
- 3 Всемирный геоматический журнал. – URL: <https://www.gim-international.com/content/news/germany-builds-digital-twin-of-rail-network-in-nvidia-omniverse>.
- 4 Прогноз от Нутаникс. – URL: <https://www.nutanix.com/theforecastbynutanix/industry/how-digital-twin-technology-is-helping-build-a-smart-railway-system-in-italy> (дата обращения: 19.10.2025).
- 5 Armijo, A. Integration of Railway Bridge Structural Health Monitoring into the Internet of Things with a Digital Twin: A Case Study // A. Armijo, D. Zamora-Sánchez // Sensors. – 2024. – 24 (7), 2115. – <http://doi.org/10.20944/preprints202401.1805.v1>.

УДК 656.21/22

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТКЛОНЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

A. A. ЕРОФЕЕВ, A. A. НАУМЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Технология управления сортировочной станцией базируется на многоуровневом планировании: от годовых и квартальных планов до оперативного планирования на сутки и часы смены [1]. Эффективность работы железнодорожной станции напрямую зависит от качества ее планирования. Основная задача сменно-суточного планирования – своевременная доставка груза на станции назначения с учетом минимальных затрат [2].