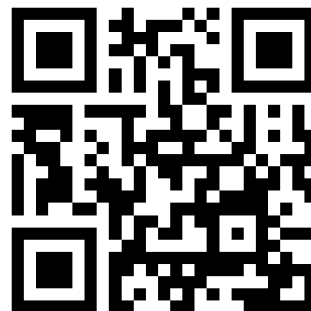


УДК 339.97

**РАСШИРЕНИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ****Денисов С.Г.**

Северо-Западный институт управления – филиал ФГБОУВО  
«Российская академия народного хозяйства  
и государственной службы при президенте  
Российской Федерации»

**EXPANDING THE SCOPE OF DIGITAL TWINS****Denisov S.G.**

*Northwestern Institute of Management – branch of the Federal State Budgetary Educational  
Institution "Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President  
of the Russian Federation"*

**Аннотация**

В данной статье показано, как цифровые двойники, базирующиеся на целом ряде эволюционирующих технологий, расширяют сферу своего применения в новых отраслях и приложениях, на примере отрасли автомобилестроения, аэрокосмической отрасли, в судостроении и эксплуатации водного транспорта, на железнодорожном транспорте, в архитектурном проектировании и строительстве.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, технологии цифровизации, цифровые инструменты, имитационная модель, виртуальный прототип, цифровая модель, цифровой мониторинг.

**Abstract**

This article shows how digital twins based on a number of evolving technologies are expanding their scope of application in new industries and applications, using the example of the automotive industry, aerospace industry, shipbuilding and operation of water transport, railway transport, architectural design and construction.

**Keywords:** digital twin, digitalization technologies, digital tools, simulation model, virtual prototype, digital model, digital monitoring.

**Ссылка для цитирования:** Денисов С.Г. Расширение сферы применения цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 4 (32). – С. 18-25. – EDN JJOPLU.

Проанализировав опыт компаний в сфере цифровых двойников (далее – ЦД) и широкий ряд научных материалов в исследуемой области, представляет интерес рассмотреть конкретные примеры использования данной технологии в разных отраслях, например, в автомобилестроении, аэрокосмической отрасли, в судостроении и эксплуатации водного транспорта, на железнодорожном транспорте, в архитектурном проектировании и строительстве. Кроме того, среди проектов, которые разработчики позиционируют как цифровые двойники в разных индустриях, ЦД – следует рассматривать как один из важнейших инструментов в индустрии создания «умных» городов. Анализ наиболее значимых технологических тенденций показывает, что большинству производственных организаций в разных отраслях, чтобы оставаться актуальными в

условиях современной экономики необходимо осуществлять активные проекты цифровой трансформации [1]. В совокупности данные факторы приводят к экономическому росту как национальных, так и глобальных экономик, увеличению объемов товарооборота и участия стран в международной торговле [2].

Автомобилестроение – это высокотехнологичная отрасль с массовым производством, которая лидирует в плане внедрения технологий цифровизации. Общий вектор всех этих изменений – это переход к практике «принятия решений, основанных на данных», которых становится все больше на всех этапах создания и эксплуатации автомобиля. Рост потребности в объединении цифровых инструментов в рамках общей платформы стимулирует внедрение технологии ЦД крупнейшими автопроизводите-

лями. ЦД дает возможность создать высокоадекватные модели автомобиля и сопутствующих процессов, позволяя оптимизировать изделие и сервисы на его основе на всех этапах, включая этапы создания концепции автомобиля, его проектирование, изготовление компонентов, сборку, складирование, продажу, обслуживание и утилизацию. Целесообразно отметить, какие проблемы удастся решить с помощью ЦД на этих этапах.

Использование технологии ЦД позволяет осуществить быстрое виртуальное тестирование, что обеспечивает существенное снижение затрат за счет проведения лишь незначительного количества испытаний в реальной аэродинамической трубе. Таким образом, можно констатировать, что ЦД значительно сокращают потребности и расходы, связанные с тест-драйвами, поскольку виртуальный тест-драйв, сводит к минимуму число дорогих физических прототипов. ЦД также позволяет решить многие задачи на этапе производства, которые возникают в условиях увеличения количества моделей, увеличения персонализации бизнеса и усложнения организации современных производственных процессов. Цифровая обработка и цифровой анализ изображений становится все более важной задачей в системах промышленного контроля, управления движущимися аппаратами и обработкой данных дистанционного зондирования, которые относятся к задачам ЦД [3].

Иными словами, ЦД становится интеллектуальным помощником человека на разных этапах, в том числе выступает в качестве основы для создания тренажеров, основанных на реальных процессах. Нехватка квалифицированных кадров, большая мобильность персонала, более частая смена работы требуют быстрого переучивания. Кадры с универсальным опытом уходят. Количество новых направлений и технологий так быстро растет, что появляется все больше специалистов узкого профиля. Есть также проблема потери уникального опыта с уходом на пенсию специалистов с многолетним опытом. Разрыв поколений наблюдается особенно остро в отечественной индустрии, где был период малой востребованности инженерных кадров. Все это стимулирует внедрение тренажеров на базе ЦД, которые позволяют увеличить надежность работ путем сбора информации о текущем местонахождении активов и анализа

потенциально опасных ситуаций при переналадке производства, предотвратить сбой в работе оборудования.

ЦД весьма эффективен и на этапе маркетинга и продаж. Для автопроизводителей важно использовать информацию от транспортных средств, от клиентов и от партнеров по сбыту для постоянного улучшения характеристик их автомобилей, но подчас эта ценная информация фиксируется бессистемно, данные оказываются разрозненными. ЦД позволяет сохранить и интегрировать подобный опыт. Поможет ЦД и в отслеживании истории изменений в автомобиле на протяжении его жизненного цикла, в том числе и при смене автовладельца. При смене собственности история обслуживания транспортного средства может потеряться из-за отсутствия интеграции учетных ИТ-систем. Остаточная стоимость машины часто бывает занижена из-за отсутствия прозрачности истории использования. ЦД автомобиля позволяет хранить все данные о производительности, включая данные датчиков, техосмотров, историю обслуживания, данные об изменении конфигурации, замене деталей и гарантии. Одна из современных тенденций – это переход на сервисную модель, которая предполагает, что клиентам выгоднее платить поставщику, основываясь на использовании функций автомобиля, а не платить авансом за все. Следуя этой тенденции, производители могут поддерживать ЦД для каждого VIN-номера (идентификационный номер транспортного средства) и по запросу пользователя включать/отключать определенные функции на определенный период времени.

Считается, что в России технология ЦД впервые была реализована именно в области автомобильной промышленности, в рамках проекта «Кортеж», – для разработки единой модульной платформы и проектирования кузовов лимузина, седана, минивэна и внедорожника [4]. Проект автомобиля для первых лиц государства требовал обеспечения комфорта премиум-класса в сочетании с уникальными характеристиками безопасности. За проектирование кузова и виртуальные краш-тесты отвечали специалисты Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» Санкт-Петербургского политехнического университета (далее – СПбПУ).

В рамках создания ЦД специалистами Инжинирингового центра СПбПУ были разработаны многоуровневые матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений.

Построенная модель позволила провести десятки тысяч испытаний на виртуальных моделях и с первого раза пройти необходимые натурные испытания [4,8].

По данным ПАО «КАМАЗ», на автогиганте активно ведутся работы по созданию ЦД производства. В 2018 г. ПАО «КАМАЗ» и СПбПУ начали сотрудничество по проекту «Универсальная модульная платформа автобуса, электробуса, троллейбуса» [4]. Главным исполнителем проекта выступает Инжиниринговый центр (CompMechLab) СПбПУ. Целью проекта является создание инновационной универсальной пассажирской платформы

(далее – УПП) для нового модельного ряда автобусов, электробусов, троллейбусов с применением виртуальных испытаний на соответствие сертификационным требованиям. В проекте используются ЦД различных вариантов исполнения универсальной пассажирской платформы и ее производства. В проекте применяются передовые производственные технологии: новые и перспективные материалы специального назначения, аддитивные технологии производства, промышленная робототехника, разработка цифровых двойников различных вариантов исполнения УПП, ее элементов и сопутствующего производства, а также разработка виртуальных испытательных полигонов и проведение виртуальных испытаний УПП на соответствие сертификационным требованиям.

О внедрении технологии ЦД сообщают также специалисты Ульяновского автомобильного завода. По данным ИТ-директора УАЗа, на предприятии осуществлялся проект «Цифровой двойник изделия», который на четверть ускорил выпуск УАЗ «Патриот».

Технология ЦД в аэрокосмической отрасли в существенной мере направлена на повышение уровня безопасности, исключение вероятности нештатных ситуаций и предотвращение аварий. Аэрокосмическая отрасль, безусловно, требует особой адаптации к аварийным ситуациям. На виртуальных моделях можно просчитать нештатные ситуации, которые невозможно отработать при летных испытаниях. Вероятно, именно поэтому специалисты аэрокосмической промышленности были первопроходцами в использовании ЦД для управления летательными аппаратами и обеспечения их эксплуатации.

Наибольшее число публикаций, связанных с применением ЦД в авиационной отрасли, относится к стадии управления техническим состоянием самолета. Если первые системы управления техническим состоянием самолета контролировали только несколько ключевых элементов двигателя или планера, то сегодня, с развитием IoT, мониторинг сотен параметров стал реальностью. Целый ряд компаний объявил о создании ЦД авиационных двигателей и об использовании последних для обеспечения большей безопасности полетов. Реактивные двигатели являются сложнейшими агрегатами, производство которых доступно крайне узкому кругу компаний, каждая из которых обратилась к использованию технологии ЦД. Элементы двигателя работают при экстремальных условиях. Сегодняшние авиационные двигатели имеют системы сбора и передачи данных, которые могут отслеживать и хранить данные, измеряемые в петабайтах. Эти данные могут быть основой для работы ЦД летательного аппарата, позволяющего проводить расширенную аналитику, прогнозировать сбои и снижать затраты на обслуживание. Как правило, в научной литературе встречается анализ моделей ЦД, отражающих различные этапы жизненного цикла изделия. При этом этапы жизненного цикла рассматриваются как последовательные этапы на временной прямой [5]. ЦД позволяет рассчитывать параметры – температуру, давление, скорость воздушного потока, которые должны быть обеспечены в разных точках двигателя при его эксплуатации. После того как двигатель изготовлен, на него устанавливают примерно тысячу датчиков, которые измеряют параметры в критических точках. Операторы имеют возможность сравнить данные, собранные датчиками, с аналогичными данными, полученными с ЦД двигателя (ЦД может проходить те же режимы, которые испытывает двигатель, когда он эксплуатируется в различных условиях и подвергается износу). Если наборы данных с физического и виртуального двойников не совпадают, следовательно, в двигателе происходит что-то нежелательное, и, вероятно, он нуждается в ремонте. Понимание того, как каждый отдельный двигатель проходит свой жизненный цикл, помогает разработчикам создавать конструкции нового поколения. Одна из важнейших особенностей ЦД заключается в том, что он учитывает огромное количество факторов, с которыми сталкивается

двигатель в условиях реальной эксплуатации: на некоторых рейсах больше людей, чем на других (что создает большую нагрузку на двигатель), в разных городах разный климат (наличие песка в воздухе, повышенные или пониженные влажность и температура), разные пилоты имеют свои особенности пилотирования. И от всех этих факторов будет зависеть режим работы двигателя и расход топлива. Каждый ЦД анализирует весь этот «жизненный опыт», и в совокупности это дает общее понимание картины, помогает настраивать действующие и модифицировать будущие конструкции двигателей. «Наработки» ЦД помогают сформировать рекомендации для эксплуатации двигателя с определенным сроком службы, получить статистику на основе персональных историй и понять, как создавать и эксплуатировать новые двигатели.

Технологии ЦД применяются и в отечественной авиационной промышленности. Например, по данным компании «Ростех», АО «ОДК» (Объединенная двигателестроительная корпорация) использует цифровые двойники при проектировании, производстве и эксплуатации двигателей SaM146, ПД-14, ПД-35, морских газотурбинных двигателей и двигателя для Су-57.

Самая большая проблема, с которой сталкивается авиационная отрасль, – это сложность и дороговизна обслуживания летательных аппаратов. Расходы на техническое обслуживание и ремонт воздушных судов продолжают расти, несмотря на все нововведения в методах технического обслуживания. Качественная поддержка самолетов – это снижение рисков отмены рейсов из-за незапланированного технического обслуживания и, следовательно, залог предоставления высокого уровня сервиса для клиентов. Требуется огромные затраты, чтобы гарантировать, что все части самолета готовы к работе, а проведение проверок перед каждым полетом для обеспечения необходимого уровня безопасности требует немалых людских ресурсов. У специалистов есть предел в восприятии информации, и в этой связи использование технологий ЦД, которая позволяет автоматизировать мониторинг состояния и структуры деталей самолета в реальном времени, весьма перспективно. Об использовании ЦД для мониторинга состояния самолетов свидетельствуют не только крупнейшие авиационные компании. Например, один из лидеров на рынке сельского хозяйства – компания AmVac, сообщает, что ей удалось

повысить эффективность своих летательных аппаратов (самолетов, дронов) для мониторинга полей коммерческих сельскохозяйственных культур именно за счет применения ЦД для анализа и прогнозирования состояния и технического обслуживания самолетов. С помощью ЦД авиакомпании могут с высокой точностью прогнозировать оставшийся ресурс критически важных систем, осуществлять упреждающее обслуживание двигателей и других систем, чтобы повысить эксплуатационную готовность и эффективность, продлить полезный жизненный цикл и снизить стоимость обслуживания. ЦД способны смягчать последствия повреждений или деградации материалов, активируя механизмы самовосстановления или рекомендуя изменения в режиме полета для уменьшения нагрузки, увеличения продолжительности жизни систем и надежности полета.

Судя по числу публикаций о применении ЦД в судостроении, эта отрасль отстает от автомобилестроительной и авиационно-космической отраслей. Учитывая достаточно длительный цикл разработки в судостроительной отрасли, она медленнее внедряет современные решения в области цифрового проектирования. Тем не менее конкуренция заставляет проводить цифровизацию на судостроительных верфях. А такие сопутствующие процессы, как, например, рост общественного давления, направленного на сокращение выбросов оксидов углерода и других вредных воздействий на морские экосистемы, стимулируют применение цифровых технологий и технологий ЦД в том числе.

Российские судостроители также сообщают о том, что активно внедряют цифровые технологии и занимаются созданием ЦД. Так, Средне-Невский Судостроительный Завод (СНСЗ) еще в 2017 г. объявил о реализации программы «цифровая верфь». В рамках этой программы было запланировано создание ЦД, которые позволяют проводить виртуальные испытания, существенно сократив затраты предприятия. По словам руководства, проект предполагает интеграцию всех программных продуктов, которые будут использованы в производственной деятельности верфи, создание электронного каталога и базы данных, описывающих весь продукт, начиная от базовых свойств материалов и комплектующих и заканчивая списком поставщиков. Проект предполагает также создание цифровых

двойников, на которых можно провести виртуальные испытания, что позволит минимизировать затраты, сокращать время, менять конфигурацию изделий. Санкт-Петербургским морским бюро машиностроения «Малахит», решается задача создания ЦД атомной подводной лодки, воспроизводящего не только форму, но также свойства и поведение уже построенного объекта.

Железная дорога – это сложная, многокомпонентная транспортная система, расположенная на большой площади. В отрасли активно осваивают технологии ЦД для моделирования как элементов и систем подвижного состава, так и поведения потоков поездов, а также для прогнозирования обслуживания инфраструктуры и оптимизации ремонтных работ.

В России также ведутся работы по созданию ЦД для нужд железнодорожной отрасли. В частности, в научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта «ВНИИЖТ» разрабатываются ЦД верхнего строения пути, локомотива, перевозочного процесса. Кроме того, во ВНИИЖТ реализован ЦД подвижного состава, который включает в себя модели узлов и процессов, происходящих в несущих элементах. Разработан ЦД электродвигателя НБ-418К6, что позволило существенно увеличить срок его службы. Создан ЦД, в основе которого лежит прогнозная макро-модель движения поездов, имитирующая работу не только физических устройств, но и комплекс процессов, связанных с управлением движения поездов. В 2019 г., в научном центре «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» АО «ВНИИЖТ» фактически была создана модель цифровой железной дороги, позволяющая прогнозировать транспортную ситуацию на заданный горизонт времени. Основой ЦД является имитационная модель, воспроизводящая процессы движения поездов с учетом параметров инфраструктуры и условий пропуска, характеристик потоков и системы организации «окон» для проведения ремонтных работ. Созданный инструмент позволяет прогнозировать пропуск потока поездов с учетом возможностей инфраструктуры участков, а также прогнозировать сценарии развития инфраструктуры. Российская железнодорожная отрасль активно развивается: прокладываются скоростные магистрали, внедряются передовые технологии, осуществляется цифровизация и автоматизация ряда процессов, в

том числе разрабатываются проекты класса ЦД. Например, в рамках «Трансмашхолдинга» на Новочеркасском электровозостроительном заводе реализуется проект «Цифровой завод». В рамках проекта запущено более 40 мероприятий, направленных на сбор фактических данных из разных сегментов деятельности предприятия. На основе этих данных рассчитывается технологический процесс, который включает: производство, контроль загрузки оборудования, планово-предупредительные ремонты оборудования, контроль логистики и трудовых ресурсов.

В строительной индустрии и в архитектурном проектировании возникают задачи, сходные с теми, которые были рассмотрены выше (применительно к задачам машиностроения), хотя, конечно, в них есть своя специфика. Разработчики строительных конструкций, создающие новый проект, должны обеспечить соответствие новых решений всем требованиям безопасности, провести натурные испытания, которые требуют времени и больших финансовых вложений. Возможность протестировать свои идеи на виртуальных моделях, в которых учитывается максимальное число факторов влияния внешних условий, таких как погода, климат, ветровая нагрузка и т. п., существенно сокращает время разработки и вывода объекта на рынок. Что, собственно, и приводит к необходимости и целесообразности использования технологии ЦД, которая позволяет осуществлять проведение испытаний на виртуальных прототипах и экономит существенные средства. Технологии виртуализации являются неотъемлемой частью современной IT-инфраструктуры, так как они позволяют значительно ускорить внедрение новых и оптимизировать затраты на поддержку существующих информационных систем и услуг [6]. При этом виртуальные испытания позволяют моделировать ситуации, которые практически невозможно имитировать при проведении натуральных испытаний, например, когда речь идет о моделировании стихийных бедствий, таких как землетрясение или цунами. ЦД в строительной отрасли применяются не только на стадии проектирования, но и на стадии обслуживания городской инфраструктуры. Доступ к моделям, которые постоянно синхронизируются с реальным объектом, дает возможность проанализировать различные траектории выполнения строительных работ, оценить их эффективность,

стоимость и выбрать наиболее оптимальные, оценить прогресс выполнения работ и степень соответствия планам и спецификациям. Технологии современных микропроцессоров, увеличение производительности локальных сетей и сетей WAN (в т.ч. беспроводных) обеспечивают возможность виртуализации практически каждого элемента IT-индустрии и при необходимости реализации его как масштабируемого облачного сервиса [7]. Цифровизация в строительной отрасли инициировала целый ряд IoT-проектов, в рамках которых датчики могут контролировать большое число параметров, получая информацию о проблемах с техническим обслуживанием (утечки воды, повреждение сооружений, нарушение климатических параметров и т. д.). Таким образом, преодоление проблемы слабой интеграции между системами автоматизации достигается за счет применения технологии ЦД.

Приложения класса ЦД набирают популярность в проектировании урбанистической среды на разных этапах ее жизненного цикла. Данные приложения по своей функциональности пересекаются с программным обеспечением BIM (Building Information Modeling). Причем на этапе проектирования BIM и ЦД имеют наибольшее пересечение. Развитие систем BIM дает возможность говорить о создании нового класса информационных моделей со свойствами ЦД, позволяя обеспечить бережливое и эффективное управление инженерными и сервисными системами здания во взаимной увязке с городской инфраструктурой. ЦД здания позволяет повысить эффективность управления имуществом комплексом и его стоимостными параметрами за счет обратной связи с резидентами, посетителями и тонкой настройкой сервисного меню.

Позднее в строительной индустрии стали развиваться приложения, основанные на анализе коммерческой недвижимости для увеличения эффективности использования пространства, что поставило новые задачи моделирования и оптимизации взаимодействия человека с городской средой, которые стали успешно решаться на базе технологии ЦД. В основе такого ЦД лежит модель, генерирующая информацию о текущем состоянии подсистем, с учетом влияния внешних воздействий, погодных условий и поведения людей, и позволяющая прогнозировать какие системы и при каких условиях могут выйти из строя. Причем данная модель постоянно развивается по мере

эксплуатации конкретного объекта. По мере того, как при проектировании здания все в большей степени пытаются учитывать запросы клиентов, требуются моделирование поведения людей и анализ возможности изменения дизайна пространства под их предпочтения, в ЦД здания добавляется очередной «слой» оптимизационных задач. Вполне вероятно, что ЦД со временем полностью заменит BIM продукты даже на таких этапах жизненного цикла, как проектирование и сборка объекта. Со временем появятся интегрированные ЦД, которые могут оптимизировать все этапы создания зданий и сооружений, включая проектирование, оптимизацию работ на строительной площадке, введение в эксплуатацию, поддержку и утилизацию урбанистической среды.

Важное применение ЦД в строительной отрасли – это мониторинг и анализ строящихся объектов. Захват данных в виде 3D-моделей реальности высокой точности (с привязкой к местности) позволяет интегрировать работу многочисленных проектных групп (создать так называемый «единый источник истины»), значительно снижает потребность в физическом посещении объекта. Существенное ускорение в создании подобного рода моделей обеспечивают новые технологии захвата и обработки данных. В частности, активно применяется лазерное сканирование. Полученная таким образом цифровая модель может использоваться для контроля качества строительства и актуализации исполнительной документации объекта, подлежащего реконструкции. Традиционные способы сбора информации о геометрии объекта связаны с множеством стыковки фрагментов, что влечет ошибки за счет так называемого человеческого фактора и часто приводит к необходимости повторных выездов на объект и, соответственно, к увеличению сроков строительства. Лазерное сканирование позволяет минимизировать ошибки вышеописанных подходов. Технология лазерного сканирования приводит к существенному сокращению полевых работ, а избыточный объем данных лазерного сканирования дает возможность получить максимально объективную информацию. Современный лазерный сканер позволяет производить до нескольких сотен тысяч измерений в секунду в зависимости от требуемой плотности и точности измерений. Полученный набор (облако точек) представляется в виде трехмерной

модели на базе огромного объема исходной измерительной информации. В современных моделях осуществляется интеграция фотокамеры и лазерного сканера в одном устройстве, что упрощает задачу идентификации объектов, позволяя совмещать облака точек и цифровые фотографии. Лазерное сканирование дает возможность существенно увеличить точность геометрической модели, оперативно и точно контролировать отклонения реального объекта от проектного, создавать 2D-чертежи (планы, проекции, разрезы, сечения и т. п.). Облака точек могут составлять терабайты информации и с высокой точностью описывать объекты инженерной инфраструктуры. Сканирование больших объектов позволяет осуществлять мониторинг профиля застройки целых кварталов, а использование съемки с беспилотных летательных аппаратов способствует совершенствованию создания трехмерных моделей.

ЦД также может быть эффективен для оптимизации работ на строительной площадке. Согласно данным стройиндустрии, около 25% производительного времени тратится на ненужное перемещение и обработку материалов. Технология ЦД, обеспечивая автоматизированный мониторинг использования техники и материалов, отслеживания отходов, перемещения работников по строительной площадке, позволяет более эффективно подходить к управлению ресурсами. ЦД подобного рода может также использоваться спасательными командами в случае чрезвычайной ситуации. Важно подчеркнуть, что цифровой мониторинг строительной площадки в реальном времени с использованием ЦД позволяет предотвратить рискованное поведение людей, использование небезопасных материалов и деятельность в опасных зонах. Таким образом, благодаря ЦД можно существенно увеличить безопасность строительных работ.

Важна и весьма существенна роль ЦД в индустрии создания «умных» зданий для построения систем повышения операционной эффективности и оптимизации энергопотребления как на уровне отдельных зданий, так и на уровне целых кварталов.

Бесперебойная работа транспортной инфраструктуры является крайне важной для жизни любого города. И эта задача также может быть решена с помощью технологии ЦД.

ЦД – это важный инструмент в индустрии создания «умных» городов (Smart Cities), который позволяет объединить средства автоматизации внутри дома, соединить умные здания между собой, а также с другими элементами инфраструктуры. ЦД, связанные с моделированием больших участков городской инфраструктуры, могут решать проблемы уровня города, учитывая взаимосвязанности между критически важными инфраструктурами, такими как транспорт, водоснабжение и энергетика, а также взаимодействие с социальными процессами. При этом каждая из этих инфраструктур сама по себе является сложной системой. Концепция цифровых двойников городов объединяет многие технологии и интересна компаниям, занятым разными аспектами создания «умных» городов. ЦД города – это виртуальная копия физических объектов города, которые связаны с цифровой копией постоянным информационным обменом. По сути, здесь реализуется та же концепция, что и в создании ЦД промышленных объектов, с той разницей, что рассматривается не промышленная, а городская инфраструктура.

Моделируемыми объектами могут быть не только здания, но также дороги, коммуникации и другие элементы инфраструктуры, и, городские сервисы. В то время, когда экологические проблемы усиливаются из-за быстрой урбанизации, включение ЦД в городское планирование и управление городским хозяйством может оптимизировать трафик, снизить вред, наносимый окружающей среде, улучшить качество жизни горожан. Для связи модели с физическими объектами используются как исполнительные устройства и механизмы, так и различного рода датчики, которые поставляют информацию о геометрии объектов инфраструктуры, маршрутах движения транспорта и пешеходов, экологических и погодных условиях и т. п. Поскольку «умные» города представляют собой сложные экосистемы, в которых множество элементов являются взаимосвязанными, использование ЦД может помочь определить скрытые зависимости влияния одного объекта на другой. Например, оценить влияние изменений погоды или транспортных пробок в отдельных районах на инвестиции в недвижимость.

В последнее десятилетие ЦД получили широкое распространение в самых разных отраслях экономики, однако наибольшее положительное влияние данной технологии

проявляется в промышленности. Разработка и применение ЦД обеспечивает промышленным компаниям переход на новый уровень технологического развития, позволяет в кратчайшие сроки создавать глобально конкурентоспособную продукцию нового поколения и способствует достижению лидирующих позиций на мировых рынках [8].

Таким образом, по результатам анализа примеров использования технологии ЦД в отдельных ключевых отраслях, можно констатировать, что данная технология позволяет решать широкий спектр задач и весьма востребована.

### Список литературы

1. Денисов С.Г. Технологические тенденции, определяющие будущее управления жизненным циклом продукции в условиях цифровой трансформации // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 2(30). – С. 10-13. – EDN QXHDPO.

2. Мантусов В.Б., Афонин Д.Н., Афонин П.Н., Данько Д.Ю. Цифровой фактический контроль: тренд современности. – Российская таможенная академия, Санкт-Петербургский имени В. Б. Бобкова филиал. – Санкт-Петербург: Российская таможенная академия, 2019. – 200 с. – ISBN 978-5-9590-1113-0. – EDN FERUEO.

3. Денисов С.Г. Программное обеспечение для физической части цифрового двойника и связи его элементов // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 3(31). – С. 10-14. – EDN SGDDIC.

4. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. – М.: ООО «АльянсПринт». – 2020. – 401 с.

5. Денисов С.Г. Влияние трендов облачных технологий и периферийных вычислений на технологии цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т.7. – № 3(27). – С.9– 13. – EDN IWZCNU.

6. Афонин Д.Н. Возможности, перспективы и проблемы виртуализации в Федеральной таможенной службе России // Бюллетень инновационных технологий. – 2020. – Т. 4. – № 2(14). – С. 52-55. – EDN HMKSVT.

7. Афонин Д.Н. Виртуализация, классификация и области применения в ФТС России. Возможности виртуализации. Системы и среды виртуализации: Учебное пособие. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2020. – 104 с. – ISBN 978-5-4365-5385-6. – EDN MMJJRO.

8. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / под ред. А. И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с.

Поступила в редакцию 04.10.2024

### Сведения об авторе:

*Денисов Сергей Генрихович* – доцент кафедры таможенного администрирования Северо-Западного института управления – филиала ФГБОУВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», кандидат технических наук, e-mail: denisov-sg@ranepa.ru



Электронный научно-практический журнал "Бюллетень инновационных технологий" (ISSN 2520–2839) является сетевым средством массовой информации регистрационный номер Эл № ФС77-73203 по вопросам публикации в Журнале обращайтесь по адресу [bitjournal@yandex.ru](mailto:bitjournal@yandex.ru)