

УДК 332.14

<https://doi.org/10.25686/2306-2800.2022.3-4.91>

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ГОРОДОВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА

А. В. Мухачёва^{1✉}, О. Э. Иванова², А. А. Парфенов³

¹ Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова,
Российская Федерация, 117997, Москва, Стремянный переулок, 36

² Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
Российская Федерация, 173015, Великий Новгород, ул. Псковская, 3

³ Псковский государственный университет,
Российская Федерация, 180000, Псков, пл. Ленина, 2
oblakkko@mail.ru✉

Аннотация. Цифровизация является неотъемлемой частью современного мира и оказывает огромное влияние на развитие городов. В данной работе рассмотрены понятие цифрового двойника города, его сущность и функции, приведены конкретные примеры и подробно описаны возможности цифровых двойников зарубежных и российских городов, а также представлена информация о платформах создания цифровых моделей городов. Цифровой двойник будет являться для города той виртуальной платформой, которая содержит в себе всю необходимую информацию для оптимизации городских процессов. Он позволит видеть прошлое города, анализировать его настоящее и моделировать будущее, что, несомненно, способствует наиболее эффективному развитию городской инфраструктуры и повышает уровень жизни населения.

Ключевые слова: цифровой двойник; инфраструктура города; цифровая модель; цифровизация

Введение. Благодаря активной цифровизации перед нами открывается множество самых разных возможностей, которые уже сегодня оказывают повсеместное влияние и заметно ускоряют процесс развития во всех сферах жизни. Цифровизация является мегатрендом развития современной экономики и определяет необходимость внедрения сквозных цифровых технологий, таких как искусственный интеллект, BigData, VR/AR, в управление территориями. Создание цифрового двойника города будет являться одним из самых удобных и перспективных вариантов цифровизации городов, так как предоставляет возможности для наиболее эффективного планирования и контроля городских процессов. Цифровое моделирование городов сегодня является необходимостью для развития региональных центров и в особенности городов-

миллионников для оптимизации логистических потоков, градостроительного плана, управления экологической обстановкой, обеспечения безопасности и пр. Уже сегодня в самых развитых и крупных городах мира созданы цифровые двойники, в ряде случаев – ещё на этапе проектирования города. Актуальность темы обусловлена необходимостью активной цифровизации городской среды с целью повышения эффективности управления ею, поддержания и роста качества жизни населения, обеспечения охраны экологии и правопорядка и решения многих других задач муниципального развития.

Результаты исследования позволили провести анализ возможностей и функционала цифровых двойников городов, в том числе на примере конкретных цифровых моделей городов мира, продемонстрировать их преимущества по сравнению

© Мухачёва А. В., Иванова О. Э., Парфенов А. А., 2022.

Для цитирования: Мухачёва А. В., Иванова О. Э., Парфенов А. А. Цифровые двойники городов: возможности и преимущества // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Экономика и управление. 2022. № 3-4 (55). С. 91-101. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2800.2022.3-4.91>

с консервативными методами управления. Научная новизна исследования заключается в систематизации данных о функционале и возможностях цифровых двойников города на примере конкретных цифровых моделей муниципалитета России и мира на основе обширного анализа эмпирического материала (сайтов компаний – разработчиков цифровых двойников, платформ цифровых моделей и пр.).

Цель проводимого исследования заключается в рассмотрении возможностей и преимуществ цифровых двойников города, анализе существующих цифровых двойников городов мира. Объект исследования – цифровые двойники (модели) городов России и мира.

Результаты исследования. Цифровой двойник (Digital Twins) – это виртуальная модель какого-либо физического объекта или процесса, которая точно отражает форму, свойства и поведение оригинала в тех или иных условиях окружающей среды. Иными словами, это цифровая копия реального объекта, которая помогает наиболее эффективно управлять им. Он может отражать как одну, так и несколько взаимозависимых систем объекта представления. В большинстве случаев цифровой двойник используется в связке с материальным объектом в течение всего жизненного цикла объекта [1].

Цифровой двойник городской экосистемы должен интегрировать в себе возможности большинства современных цифровых технологий: большие данные (BigData), искусственный интеллект, новые производственные технологии, сенсорику и компоненты робототехники, технологии беспроводной связи, нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей (AR/VR) и пр.

Ряд учёных-математиков считает термин «цифровой двойник» новомодным названием давно известных в науке имитационных математических моделей. Имитационное математическое моделирование представляет собой численный метод исследования сложных систем, эле-

менты которых описаны разнородным математическим аппаратом и объединены связующей информационной моделью. Между тем создание такой модели (соответствующей понятию «цифровой двойник») является дорогостоящим способом исследований в силу его уникальности (каждая модель – штучный товар), позволяет так формировать исходные данные, что они в реальной природе не могут существовать (работа системы в аварийном или несуществующем режиме, crash-тесты) [2].

Термин «цифровой двойник» был популяризирован в 2003 году Майклом Гривсом, помощником директора Центра управления жизненным циклом и инновациями, который описал его в статье «Цифровые двойники и превосходство в производстве на основе виртуального прототипа завода». Гривс утверждал, что применение цифрового двойника происходит на протяжении всего жизненного цикла изделия с целью обеспечения его высокого уровня качества для потребителей. Однако сам термин придумал малоизвестный инженер NASA.

Первой цифровые двойники стала использовать компания General Electric для анализа и повышения эффективности своих ветровых турбин и авиационных двигателей. На сегодняшний день компания создала уже более полумиллиона цифровых двойников для широкого спектра продуктов, процессов и систем. Далее их внедрили в свою работу Boeing, Airbus, Siemens, Dassault и др. NASA каждое новое оборудование тестирует вначале в виртуальной среде. Устройства не производятся физически до тех пор, пока их цифровые двойники не станут удовлетворять всем требуемым характеристикам.

Гривс писал о том, что желательно визуальное повторение облика исходного объекта, но его отсутствие не является критичным. Гораздо более важным является то, что объект должен вести себя реалистично при проведении различных ис-

пытаний, а также наличие возможности получения информации, сформированной с помощью искусственного интеллекта, с оценкой текущего состояния объекта. Оба эти пункта также описывают традиционное применение имитационной модели для решения реальных задач.

Таким образом, цифровой двойник – это цифровое представление продукта, процесса или услуги, используемое для мониторинга, анализа и улучшения его производительности; «мост между физическим и цифровым миром». Драйверами развития цифровых двойников города являются технологии «больших данных» и «интернета вещей» (IoT — Internet of Things) [3].

На данный момент цифровые двойники имеют широкую область применения, поэтому их наполнение и функциональность могут сильно отличаться и зависеть в первую очередь от поставленных целей и стадии жизненного цикла объекта.

В целом цифровые двойники нужны для решения следующих задач:

- моделирование событий, которые происходят с реальным объектом при определённых обстоятельствах, условиях;
- значительное снижение затрат на создание и внедрение инноваций, испытания которых в реальных условиях обойдутся очень дорого;
- экономия времени и за счёт возможности удалённого доступа к одной и той же информационной модели для разных сотрудников;
- сдерживание негативного влияния на окружающую среду;
- своевременное выявление технических проблем до наступления серьёзных последствий;
- оценка производительности технологий, оборудования, отдельных компонентов;
- точное определение степени износа оборудования, чтобы можно было заменить детали или оборудование в целом до критичных сбоев;

- снижение рисков, связанных с безопасностью людей, и т. д.

Таким образом, концепция «цифрового двойника» обеспечивает создание и поддержку цифровых моделей объектов и процессов реального мира [3].

Для создания цифрового двойника объекта или системы необходимы сам реальный объект или система с установленными на нём специальными датчиками, специальное программное обеспечение – платформа для создания цифрового двойника, неразрывная связь между материальным и компьютерным оборудованием [4].

Цифровые двойники города. Цифровой двойник города (Digital Twin City) – это цифровая модель реального города, на основе которой можно проводить анализ жизненных циклов различных объектов городской инфраструктуры, его реакцию на всевозможные изменения и внешние воздействия. Иными словами, это точная копия реального города в компьютерной реальности, информация к которому будет собираться с помощью разного рода датчиков, беспилотных летательных аппаратов или других инструментов IoT (Internet of Things) и промышленных IoT [1].

Цифровой двойник города может решать следующие проблемы/вопросы: увеличение городской популяции жителей; обеспечение жителей различными благами, приемлемыми по стоимости (аренда, вода, вывоз мусора, транспорта, энергия и т. д.); снос или реконструкция проблемных районов и инфраструктуры (вопросы, которые связаны с модернизацией территории; вопросы, касающиеся загрязнения окружающей среды, изменения климата, потребления природных ресурсов и т. п.); получение большей отдачи при ограничении бюджета. То есть решается вопрос, как и каким образом осуществить модернизацию и развитие города или территории при ограничении бюджета. На рис. 1 представлены рабочие процессы цифрового двойника города [5].



Рис. 1. Рабочие процессы цифрового двойника города (сост. по: [5]).

В большинстве случаев создание цифрового двойника целого города осуществляется в рамках проекта «Умный город» (Smart City). Этот проект связан с цифровизацией города и направлен на улучшение качества жизни граждан благодаря внедрению в городскую структуру инновационных технологий и интернет-вещей. Данную концепцию «умного города» внедряют уже десятки мегаполисов по всему миру: Нью-Йорк, Бостон, Сингапур, Стокгольм, Токио, Хельсинки, Москва и др. Очевидно, что именно цифровой двойник поможет в большей мере увидеть общую картину города, его недостатки и значительно ускорит процесс его развития и, соответственно, повыше-

ния качества жизни населения, на что, собственно, и направлен проект Smart City [6, 7].

Пример цифрового двойника города за границей. Smart Nation Сингапур хотел разработать умную городскую среду для планирования всех сфер жизни – от экстренной эвакуации до комфортной городской жизни. Для достижения этой цели правительство Сингапура приняло решение использовать предложение Dassault Systèmes Smart City под названием 3DEXPERIENCECity, которое позволило создать динамичную 3D-цифровую модель города и подключить всех, кто заинтересован в создании безопасной контролируемой среды (рис. 2).



Рис. 2. «Виртуальный Сингапур», работающий на 3DEXPERIENCE platform (цит. по: [8])

Благодаря изображениям и данным, собранным из различных государственных учреждений, а также устаревшим данным и данным в реальном времени «Виртуальный Сингапур» позволяет всем пользователям визуализировать в 3D то, как город будет развиваться со временем в ответ на рост населения, новое строительство и другие крупные события.

Преимущества «Виртуального Сингапура» можно описать в разрезе следующих блоков:

- *Население.* Представление встроенной 3D-информации о городе на платформе в реалистичном виде для подключения, информирования и предоставления услуг, которые улучшают жизнь сообщества;

- *Бизнес.* Использование множества данных и информации на платформе для своей бизнес-аналитики, планирования и эффективного управления ресурсами и операциями, предоставления специализированных услуг;

- *Развитие.* Создание новшеств и технологий для государственно-частного сотрудничества при создании ценности для Сингапура, иными словами, возможность моделирования, симуляции, исследования и разработки любых явлений и процессов;

- *Правительство.* Критический фактор поддержки различных правительственных инициатив по созданию Smart Nation, то есть для правительства «Виртуальный Сингапур» является неким инструментом для принятия определённых решений.

Примеры использования «Виртуального Сингапура»:

1. *Интегрированное моделирование воздействия на окружающую среду.* «Виртуальный Сингапур» предоставляет платформу для оценки такого воздействия на окружающую среду, как ветровой поток, солнечное излучение или распространение шума строительных конструкций в жилом районе. Это позволяет планировщикам оптимизировать землеполь-

зование и проектирование зданий для обеспечения естественной вентиляции и минимизации бликов и шума в городе для улучшения условий жизни;

2. *Городская мобильность.* «Виртуальный Сингапур» способен полностью учитывать обстановку в городе: показывает всевозможные доступные или запрещённые зоны; определяет, где можно или нельзя построить дорогу и где нужно внести какие-либо изменения;

3. *Городской кокпит / Дорожные работы.* Панель управления дорожными работами помогает улучшить сотрудничество между учреждениями, объединяя ряд геолокационных данных в единый источник, обеспечивая представление о взаимодействиях между существующими и предлагаемыми дорожными работами, а также о влиянии дорожных работ на другие заинтересованные стороны в рамках отдельных лиц, районов и города в целом;

4. *Анализ потенциала производства солнечной энергии.* В «Виртуальном Сингапуре» доступны такие данные, как высота зданий, поверхность крыш и количество солнечного света. Это позволяет градостроителям анализировать, какие здания имеют более высокий потенциал для производства солнечной энергии и, следовательно, лучше подходят для установки солнечных панелей. Дальнейший анализ может позволить планировщикам оценить, сколько солнечной энергии может быть произведено в обычный день, а также экономию энергии и затрат. Virtual Yuhua продемонстрировала, что путём перекрёстных ссылок на исторические данные, собранные из соседних зданий, этот анализ может быть подтверждён и скорректирован с учётом сезонных колебаний, чтобы отразить ещё более точную и детальную проекцию [9].

Цифровые двойники городов в России. К сожалению, на данный момент города России только осваивают концепцию цифровых двойников городов, однако многие регионы стремятся к цифровизации. Уже сейчас можно привести некоторые приме-

ры пилотных версий цифровых моделей территории российских городов [10, 11].

Компания «МегаФон» активно занимается развитием в России концепции «Умный город», и к июню 2019 года ею был создан работающий цифровой двойник Кронштадта (рис. 3). Он включает в себя объединённые из различных источников информации данные, которые необходимы для эффективного планирования городской жизни и управления муниципалитетами.

Цифровой двойник Кронштадта используется как тестовая площадка градостроительных проектов, осуществляет «умное» планирование городской среды, тестирование инноваций при оптимальных затратах, полный контроль состояния городских объектов благодаря высокоточным

данным, получает данные о маршрутах общественного транспорта, проводит оптимизацию транспортных систем на основе анализа загруженности маршрутов, осуществляет наиболее эффективное планирование и контроль развития территории. То есть имеется возможность анализа строительных проектов в реальном городском окружении и контроля за ходом строительных работ, например, при помощи камер.

На каждый объект заведён паспорт с различными данными о нём. Это предоставляет широкие возможности для геоаналитики. Двойник способен определить перспективные области развития и выявить проблемные зоны, анализировать нагрузку на социальные структуры, определить зоны шаговой доступности до объектов (рис. 4).



Рис. 3. Трёхмерная модель Кронштадта (цит. по: [12])

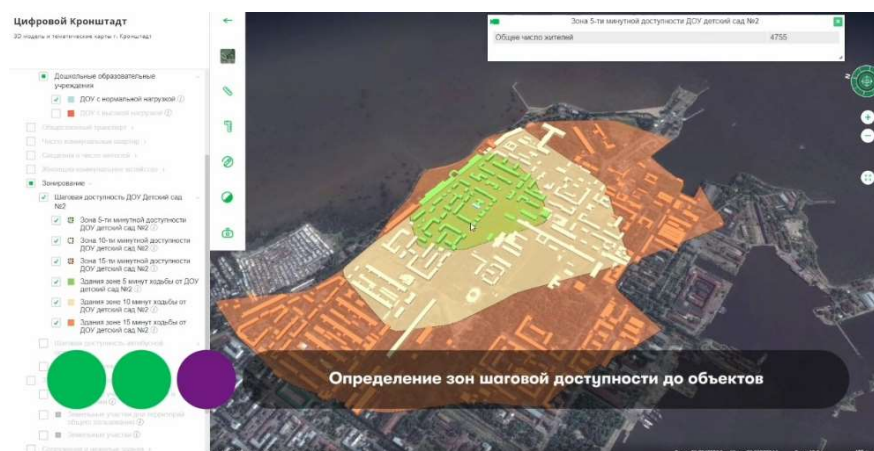


Рис. 4. Данные о зонах шаговой доступности до объектов (сост. по: [12])

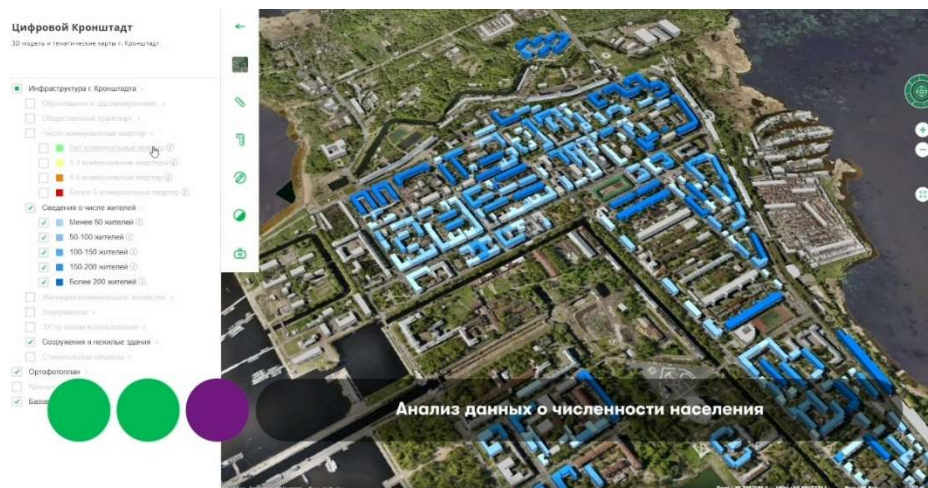


Рис. 5. Данные о численности населения (сост. по: [12])

Цифровые модели городов позволяют проводить предиктивный анализ по тематическим параметрам, например осуществлять аналитику по параметру «коммунальные квартиры» (цифровой двойник Кронштадта может определить количество квартир в здании, их тип и т. п.), прогнозирование в сфере ЖКХ на примере данных по ремонту кровельных покрытий, получать данные о численности населения (рис. 5).

Цифровой двойник Кронштадта является лишь пилотной версией, но он уже показал свои преимущества. Благодаря ему, например, был обнаружен один из недостатков при рассмотрении данных о детских садах города. Как выяснилось, они перегружены более чем на 130 %. Чтобы нормализовать загруженность, необходимо открывать новые учреждения. Цифровой двойник Кронштадта не только выявит проблему, но и предложит оптимальное решение. Он рекомендует наиболее подходящий для детского сада микрорайон и рассчитывает то, на какое количество детей он должен быть. После возможного перехода платформы с пилотной версии на полноценную рабочую появится возможность в режиме реального времени наблюдать за количеством детей, которые посетили детский сад в каждый конкретный день. Такая возможность будет способствовать оптимизации бюджетных средств и повысит эффективность их применения [12].

В сфере оцифровки городов также смогли продвинуться Москва и Санкт-Петербург. В этих городах уже утверждены дорожные карты по созданию виртуальных моделей, собираются методические рекомендации участников рынка, происходит оцифровка городского пространства, планируется полный переход к проектированию при помощи технологии BIM-моделирования. Москва в рамках проекта «Умный город» уже способна определить приоритеты, цели и задачи управления городом, которые будут способствовать развитию цифровизации Москвы до 2030 года.

Цифровые двойники города уже находятся на стадии разработки в Калуге, Тюмени, Кемерово, Казани, Екатеринбурге и др. [13, 14].

Цифровые платформы. Для создания цифровых двойников города используются:

1. 3DEXPERIENCE platform от Dassault Systèmes. Данная платформа позволяет инноваторам следующего поколения дополнять реальный мир виртуальным: создавать, проектировать и тестировать новые возможности, необходимые в завтрашней устойчивой экономике, от идеи до доставки на рынок и использования. Есть три основных примера использования 3DEXPERIENCE platform в целях создания цифрового двойника города: Virtual Singapore, Rennes Metropole и Jaipur.

2. Платформа OpenCities Planner от Bentley. Это облачное приложение, которое позволяет визуализировать 2D-, 3D- и ГИС-данные в 3D-мире и способен поддерживать большие объёмы данных и различные системы координат. Данная платформа даёт возможность проектировать, визуализировать и передавать проекты от крупномасштабных городских разработок до детальных архитектурных проектов. OpenCities Planner работает на базе Microsoft Azure. Она масштабируется для поддержки пользователей по всему миру и способна обеспечить надёжную производительность и многоуровневую безопасность благодаря обширной сети обработки данных Microsoft. OpenCities Planner полностью основана на Интернете и не содержит других программных модулей, поэтому для использования потребуется лишь веб-браузер. Детализация объектов может быть достаточно разной и зависит от того, какие цели ставит организация, которая предоставляет эти данные для населения.

3. DigiCity (российская компания). Эта платформа создаёт единую экосистему в

целях совершенствования городской инфраструктуры, сельского хозяйства или промышленного производства [14–16]. Также существуют и другие платформы для создания цифровых двойников городов.

Выводы. Создание цифрового двойника на сегодня является важной частью цифровизации города. Благодаря ему открывается много возможностей по оптимизации всех городских процессов, что значительно облегчит и ускорит процесс развития инфраструктуры. Результаты исследования позволили провести анализ возможностей и функционала цифровых двойников городов, в том числе на примере конкретных цифровых моделей городов мира, продемонстрировать их преимущества по сравнению с консервативными методами управления. Цифровизация городской среды будет способствовать повышению качества жизни населения, более эффективному обеспечению охраны экологии и правопорядка, оптимизации логистических потоков и решению многих других задач муниципального развития.

Список литературы

1. Концепция построения цифрового двойника города / С.А. Иванов, К.Ю. Никольская, Г.И. Радченко и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. Т. 9, № 4. С. 5–23. DOI: 10.14529/cmse200401
2. Petrov A. V. Simulation as the basis of digital twin technology // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2018. Vol. 22(10(141)). Pp. 56–66. (In Russ.). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-56-66
3. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review / D. Jones, C. Snider, A. Nassehi et al. // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2020. Vol. 29(A). Pp. 36–52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
4. Romanyuk M., Sukharnikova M., Chekmareva N. Trends of the digital economy development in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 650(1). 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012017
5. Степанов В.В. Цифровые двойники городов, область применения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=laLw7oNTawA> (дата обращения 26.04.2022).
6. Grieves M., Vickers J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems // Transdisciplinary perspectives on complex systems. 2017. Pp. 85–113. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4
7. Spiridonov V.Y, Shabiev S.G. Smart urban planning: Modern technologies for ensuring sustainable territorial development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962(3). 032304. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032304
8. «10 Цифровых двойников городов» – фотогалерея [Электронный ресурс]. URL: <https://mirproekt.ru/smi-o-nas/10-cifrovyyh-dvoynikov-gorodov-fotogalereia-dlia-portala-rbk-nedvijimost/> (дата обращения 24.10.2022).
9. Virtual Singapore [Электронный ресурс]. URL: <https://www.3ds.com/insights/customer-stories/-virtual-singapore> (дата обращения 29.04.2022).
10. Платформа 3DEXPERIENCE [Электронный ресурс]. URL: <https://igatec.com/software/-3dexperience-platform/> (дата обращения 29.04.2022).
11. Digital Twins of the Urban Ecosystem to Ensure the Quality of Life of the Population /

A.V. Mukhacheva, M.N. Ugryumova, I.S. Morozova et al. // International Scientific and Practical Conference Strategy of Development of Regional Ecosystems “Education-Science-Industry” (ISPCR 2021): proceedings of the International Scientific and Practical Conference Strategy of Development of Regional Ecosystems “Education-Science-Industry” (ISPCR 2021). 2022. Pp. 331-338.

12. У Кронштадта появился «цифровой двойник». [Электронный ресурс]. URL: <https://spb.plus.rbc.ru/news/5cfa2b447a8aa9164b9903f2> (дата обращения 28.04.2022).

13. «Цифровой Кронштадт»: МегаФон и Санкт-Петербург представили «Цифрового двойника города» [Электронный ресурс]. URL:

https://corp.megafon.ru/press/news/federalnye_novosti/20190607-1332.html (дата обращения 28.04.2022).

14. Мухачёва А.В., Паттури Я.В. Цифровизация городской среды как фактор повышения качества жизни // Современная мировая экономика: вызовы и реальность: материалы IV Международной научно-практической конференции. Посвящается 100-летию ДОННТУ. Донецк, 2021. С. 117-121.

15. DigiCity [Электронный ресурс]. URL: <https://digncity.io/> (дата обращения 30.10.2022).

16. Multi-Agent Systems and Digital Twins for Smarter Cities / T. Clemen, N. Ahmady-Moghaddam, U. A. Lenfers et al. // Proceedings of the 2021 ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation. 2021. Pp. 45-55. DOI: 10.1145/3437959.3459254

Статья поступила в редакцию 07.11.2022

Принята к публикации 15.12.2022

Информация об авторах

МУХАЧЁВА Анна Валентиновна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры предпринимательства и логистики, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. Область научных интересов – региональная и отраслевая экономика, менеджмент, предпринимательство. Автор 110 публикаций.

ИВАНОВА Ольга Эдуардовна – специалист по внедрению программы воспитания и развития студентов, преподаватель курса саморазвития молодежи, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. Область научных интересов – маркетинг, менеджмент.

ПАРФЕНОВ Арсений Андреевич – кандидат юридических наук, директор научно-исследовательского центра экспертиз и языкового тестирования, Псковский государственный университет. Область научных интересов – отраслевая и региональная экономика, юриспруденция, языковая экспертиза. Автор шести публикаций.

UDC 332.14

<https://doi.org/10.25686/2306-2800.2022.3-4.91>

CITY DIGITAL TWINS: OPPORTUNITIES AND BENEFITS

A. V. Mukhacheva^{1✉}, O. E. Ivanova², A. A. Parfenov³¹ Plekhanov Russian University of Economics,

36, Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russian Federation

² Novgorod State University named after Yaroslav the Wise,

3, Pskovskaya St., Veliky Novgorod, 173015, Russian Federation

³ Pskov State University,

2, Lenin Sq., Pskov, 180000, Russian Federation

oblakkko@mail.ru ✉

Keywords: digital twin; city infrastructure; digital model; digitalization

ABSTRACT

Introduction. Digitalization is a megatrend in modern economic development that determines the need for the integration of end-to-end digital technologies such as Artificial Intelligence (AI), Big Data, Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) into territory management. Today, digital city modeling is indispensable for the development of regional centers and, in particular, million-plus cities to optimize logistics flows, urban planning, environmental management, security, etc. **The aim of the study** is to consider the capabilities and benefits of city digital twins and analyze the existing digital twins of cities around the world. **The object of the study** is city digital twins (models) in Russia and worldwide. **Results.** In most cases, the creation of a digital twin of an entire city is carried out as part of a smart city project which relates to digitalization of the city and aims to improve the quality of life of its citizens through the introduction of innovative technologies and the Internet of things (IoT) into the urban environment. The smart city concept is already being implemented by dozens of megapolises across the globe including New York, Boston, Singapore, Stockholm, Tokyo, Helsinki. At present, cities of Russia are just exploring the concept of city digital twins; however, many regions are striving for digitalization, and there are already examples of pilot versions of the digital models of Russian cities. Moscow and St. Petersburg have made the most progress in urban digitization; in these cities, roadmaps for creating virtual models have already been approved, methodological recommendations from market participants are being collected, the urban space is being digitized, and a full transition to design using the Building Information Modeling (BIM) technology is planned. The digital twin of Kronstadt provides the following opportunities: it can serve as a test site for urban development projects and enables "smart" urban planning, testing innovations at optimum costs, and exercising full control over the state of urban facilities owing to high accuracy data. **Conclusion.** The creation of a digital twin is an essential part of the digitalization of a city. This technology provides numerous opportunities for optimizing all urban processes, which will greatly facilitate and speed up the process of infrastructure development. Digitalization of the urban environment will help improve the quality of life of the population, more effectively ensure environmental protection and law enforcement, optimize logistics flows, and solve many other tasks of municipal development.

REFERENCES

1. Ivanov S.A., Nikolskaya K.Yu., Radchenko G. I. et al. Kontseptsiya postroyeniya tsifrovogo dvoynika goroda [Digital twin of a city]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika* [Bulletin of the South Ural State University. Series "Computational Mathematics and Software Engineering"]. 2020. Vol. 9, No. 4. Pp. 5-23. DOI: 10.14529/cmse20040. (In Russ.).
2. Petrov A. V. Simulation as the basis of digital twin technology. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2018. Vol. 22(10(141)). Pp. 56-66. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-56-66
3. Jones D., Snider C., Nassehi A. et al. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2020. Vol. 29(A). Pp. 36-52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
4. Romanyuk M., Sukharnikova M., Chekmareva N. Trends of the digital economy development in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 650(1). 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012017
5. Stepanov V.V. Tsifrovyye dvoyniki gorodov, oblast' primeneniya [City Digital Twins, scope of application]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v.=laLw7oNTawA> (date of reference: 26.04.2022).

6. Grieves M., Vickers J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems*. 2017. Pp. 85-113. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4
7. Spiridonov V.Y., Shabiev S.G. Smart urban planning: Modern technologies for ensuring sustainable territorial development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 962(3). 032304. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032034
8. 10 tsifrovyykh dvoynikov gorodov – fotogalareya dlya portala «RBK-nedvizhimost'» [10 City Digital Twins – photo gallery for the RBC Real Estate portal]. URL: <https://mirproekt.ru/smi-o-nas/10-cifrovyykh-dvoynikov-gorodov-fotogalareya-dlia-portala-rbk-nedvijimost/> (date of reference: 24.10.2022).
9. Virtual Singapore. URL: <https://www.3ds.com/-insights/customer-stories/virtual-singapore> (date of reference: 29.04.2022).
10. Platforma 3DEXPERIENCE [Platform 3DEXPERIENCE]. URL: <https://igatec.com/software/-3dexperience-platform/> (date of reference: 29.04.2022).
11. Mukhacheva A.V., Ugryumova M.N., Morozova I.S. et al. Digital Twins of the Urban Ecosystem to Ensure the Quality of Life of the Population. *International Scientific and Practical Conference Strategy of Development of Regional Ecosystems "Education-Science-Industry" (ISPCR 2021). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Strategy of Development of Regional Ecosystems "Education-Science-Industry" (ISPCR 2021)*. 2022. Pp. 331-338.
12. U Kronshtadta poyavilsya «tsifrovoy dvoynik» [Kronstadt has got a "digital twin"]. URL: <https://spb.plus.rbc.ru/news/5cfa2b447a8aa9164b9903f2> (date of reference: 28.04.2022).
13. «Tsifrovoy Kronshtadt»: MegaFon i Sankt-Peterburg predstavili «Tsifrovogo dvoynika goroda» ["Digital Kronstadt": MegaFon and St. Petersburg presented the "Digital twin of the city"]. URL: https://corp.megafon.ru/press/news/federalnye_novosti/20190607-1332.html (date of reference: 28.04.2022).
14. Mukhacheva A.V., Patturi Y.V. Tsifrovizatsiya gorodskoy sredy kak faktor povysheniya kachestva zhizni [Digitalization of the urban environment as a factor of increasing the quality of life]. *Sovremennaya mirovaya ekonomika: vyzovy i real'nost'. Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Posvyashchayetsya 100-letiyu DonNTU* [Modern world economy: challenges and reality. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. Dedicated to the 100th anniversary of DonNTU]. Donetsk: DonNTU Publ., 2021. Pp. 117-121. (In Russ.).
15. DigiSity. URL: <https://digicity.io/> (date of reference: 30.10.2022).
16. Clemen T., Ahmady-Moghaddam N., Lenfers U. A. et al. Multi-Agent Systems and Digital Twins for Smarter Cities. *Proceedings of the 2021 ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation*. 2021. Pp. 45-55. DOI: 10.1145/3437959.3459254

The article was received 07.11.2022

Accepted for publication 15.12.2022

For citation: Mukhacheva A. V., Ivanova O. E., Parfenov A. A. City Digital Twins: Opportunities and Benefits. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Economics and Management*. 2022. No. 3-4 (55). Pp. 91-101. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2800.2022.3-4.91>

Information about the authors

Anna V. Mukhacheva – Candidate of Economic Sciences, Docent, Associate Professor, Department of Entrepreneurship and Logistics, Plekhanov Russian University of Economics. Research interests – regional and sectoral economy, management, entrepreneurship. Author of 110 publications.

Olga E. Ivanova – specialist responsible for the introduction of the Student Education and Development Program; lecturer for the Youth Self-Development course, Novgorod State University named after Yaroslav the Wise. Research interests – marketing, management.

Arseny A. Parfenov – Candidate of Juridical Sciences, Director of the Scientific Research Center for Examinations and Language Testing, Pskov State University. Research interests – sectoral and regional economy, jurisprudence, language examination. Author of 6 publications.