

УДК 004.942

РАЗВИТИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Шалина Д.С., Тихонов В.А., Степанова Н.Р.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: d.shalina2011@yandex.ru, vlad-tikhonov-1990@mail.ru, n.r.stepanova@urfu.ru

В статье поднимается проблема неравномерного развития городского пространства. К сожалению, в большинстве современных городов наблюдается усложнение градостроительных систем, сосредоточение всей инфраструктуры в центре города и, как следствие, возникновение гетто-районов на окраинах. Указанная неоднородность может привести к снижению инвестиционной привлекательности города, понижению эффективности управления государственной собственностью, недовольству жителей, перегрузке транспортной сети. В качестве решения проблемы предлагается использовать в стратегическом управлении развития урбанизированных территорий цифровой двойник города. Цифровая модель с постоянно обновляющейся информацией в режиме реального времени способна показать общую картину восприятия всего города. Для доказательства гипотезы были изучены признаки равномерного развития городского пространства и стратегии развития городской территории на примере Екатеринбурга. На основе возможностей цифрового двойника города предложены способы улучшения управления городским пространством по элементам, таким как жилая застройка, социальная инфраструктура, транспорт, экология для организации, планирования и управления. Также описан экономический и социальный эффект от внедрения и применения цифрового двойника города. Результаты исследования показали возможность, актуальность, перспективность и эффективность равномерного развития урбанизированных территорий с помощью цифрового двойника города. Представленная работа выступает предпосылкой для дальнейшего исследования, которое будет направлено на эмпирическое доказательство выдвинутой гипотезы.

Ключевые слова: равномерное развитие, городское планирование, цифровой двойник, градостроительство, город

DEVELOPMENT OF URBANIZED TERRITORIES USING DIGITAL TWINS

Shalina D.S., Tikhonov V.A., Stepanova N.R.

Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: d.shalina2011@yandex.ru, vlad-tikhonov-1990@mail.ru, n.r.stepanova@urfu.ru

The article talks about the problem of uneven development of urban space. Unfortunately, in most modern cities there is a complication of urban planning systems, the concentration of all infrastructure in the city center and, as a result, the emergence of ghetto areas on the outskirts. This heterogeneity can lead to a decrease in the investment attractiveness of the city, a decrease in the efficiency of state property management, discontent of residents, congestion of the transport network. As a solution to the problem, it is proposed to use the digital twin of the city in the strategic management of the development of urbanized territories. A digital model with constantly updated information in real time can show the overall picture of the perception of the entire city. To prove the hypothesis, the signs of the uniform development of urban space and the development strategy of the urban area were studied on the example of Yekaterinburg. Based on the capabilities of the digital twin of the city, ways are prescribed to improve the management of urban space by elements such as residential development, social infrastructure, transport, ecology for organization, planning and management. The economic and social effect of the introduction and application of the digital twin of the city is also described. The results of the study showed the possibility, relevance, prospects, and effectiveness of the uniform development of urbanized territories using the digital twin of the city. The presented work is a prerequisite for further research, which will be aimed at empirical proof of the hypothesis put forward.

Keywords: uniform development, urban planning, digital twin, urban planning, city

Социально-экономическое развитие регионов России характеризуется неравномерностью [1]. Несмотря на равные институциональные условия, субъекты РФ отличаются по уровням экономической эффективности, объемам производства, объемам инвестиций и уровню занятости [2]. Спускаясь на уровень ниже, т.е. к городам, мы видим также элементы их неравномерного развития (городского пространства). Различия формируются в связи с многообразными природно-климатическими условиями, уровнем обеспеченности трудовыми ресурсами и степенью развитости

инфраструктуры [2]. Однако явные отличия можно увидеть и среди административных районов городов России. Таким образом, урбанизированные территории развиваются неравномерно.

Развитие городов сопровождается усложнением градостроительных систем и их управления. Масштабные городские проекты сложны в реализации, что является одной из причин неравномерного развития городского пространства [3]. Города не только увеличивают масштаб, но и наращивают скорость самого развития городской среды [4]. Организация, планирование, управле-

ние и контроль требуют значительного внимания. Еще одной причиной неравномерного развития является фокус на центральной части города и отсюда, как следствие, возможное появление «гетто-районов» [5].

Ситуация неравномерного развития и формирования урбанизированных территорий со временем будет только усугубляться. Могут возникнуть следующие последствия [4–7]:

- перегрузка транспортной сети и неудовлетворительное транспортное обслуживание (транспорт в городе – важный элемент инфраструктуры, определяющий доступность ко всем точкам города);

- развитие новых жилищных районов как неблагоприятных и криминальных и отсутствие достаточной обеспеченности населения коммерческими площадями, социальной инфраструктурой и комфортным благоустройством (новые жилые районы появляются дальше от центра города без соответствующей инфраструктуры);

- снижение эффективности управления государственной собственностью (неравномерность развития городского пространства поспособствует появлению проблем в управлении, так как фокус будет на отдельных районах, а не на городе в целом);

- снижение привлекательности города для жителей и инвесторов и его конкурентоспособности (неравномерное распределение объектов инфраструктуры негативно влияет на жителей города и туристов).

Перечисленные события могут негативно сказаться на общем развитии города. И так называемые «улучшения», возможно, будут производить обратный эффект.

Неравномерное развитие городского пространства – значимая проблема, требующая незамедлительного решения. Последствия рассмотренного феномена подтверждают это.

Развитие городской среды – это прежде всего строительство, реконструкция и техническое перевооружение зданий и сооружений. Строительная отрасль активно внедряет современные технологии, в том числе инновационные, такие как цифровизация [8]. Именно цифровизация становится инструментом повышения совокупной эффективности и конкурентоспособности урбанизированных территорий, умных регионов и городов [7].

Город, как сложный организм, требует управления и контроля в режиме реального времени [3]. Для подобных целей используют модели. Например, BIM-моделирование, которое может ускорить сроки выполнения проекта благодаря

системе автоматизированного проектирования [8]. BIM сосредоточен на определенном объекте. Мы предлагаем использовать более масштабную модель – цифровой двойник города.

В ходе исследования была выдвинута гипотеза о том, что использование цифрового двойника города способно обеспечить равномерное развитие урбанизированных территорий и эффективное управление ими.

Актуальность исследования обусловлена неравномерным развитием городского пространства и дальнейшим ухудшением данной ситуации. Новизна исследования – это предлагаемый для решения проблемы такой инструмент, как цифровой двойник города.

Целью данного исследования является обоснование выдвинутой нами гипотезы о том, что использование цифрового двойника города способно обеспечить равномерное развитие урбанизированных территорий и результативное управление ими.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучить теоретические основы цифрового двойника города;

- проанализировать возможности цифрового двойника города;

- изучить стратегии развития городского пространства на примере Екатеринбурга;

- проанализировать способы использования цифрового двойника города в городском управлении;

- оценить экономический и социальный эффект использования цифрового двойника города.

Исследование базируется на теоретических методах исследования – это анализ, синтез, классификация и сбор информации из различных источников. Данные методы позволяют сформировать общую картину о цифровом двойнике города, проанализировать возможность его использования в решении всевозможных градостроительных проблем, показать экономический и социальный эффект.

Цифровой двойник – это сложная копия или модель объекта, представленная через цифровую информацию. Цифровой двойник может относиться к разным объектам и его составляющим (человек, место, процесс, устройство). Благодаря постоянной и беспрепятственной передаче данных между реальным (физическим) и цифровым объектом облегчается контроль и оптимизируются рабочие процессы [6, 7].

Прежде цифровые двойники использовались в сфере технического проектирования. С недавнего времени потенциал цифровых

двойников начал распространяться и в другие сферы, в том числе в процессы управления городским развитием. При этом возможен как перевод города в цифровую модель (например, цифровой двойник Сингапура), так и создание нового города с дальнейшим воплощением в реальность (например, цифровая модель города Амарвати) [3].

Главной особенностью цифрового двойника является численное моделирование. Именно оно позволяет проанализировать текущее состояние, прогнозировать изменения объекта после определенного периода времени и своевременно принимать меры по предотвращению возникающих проблем. Процесс управления и мониторинга становится беспрепятственным [7].

Цифровой двойник основывается на имитационной модели. Имитационная модель показывает, что будет, если произойдет определенное событие. Цифровой двойник показывает, что происходит сейчас и что будет, если произойдет определенное событие [6, 9]. Цифровой двойник корректирует и поддерживает имитационную модель в режиме реального времени [3, 7, 9].

На базе теоретических основ можно выделить следующие возможности, которые предоставляет цифровой двойник города [7, 9]:

- визуализация и моделирование различных объектов;
- прогнозирование физических процессов для предотвращения негативных ситуаций;
- оперативные обработки и накопление больших массивов данных;
- использование новых технологий для качественного моделирования;
- рассмотрение модели как устойчивого элемента;
- анализ поведения цифрового двойника с реальными данными и в режиме реального времени;
- оценка вероятности аварии или сбоя в данный момент;
- совместная работа в едином цифровом пространстве.

Таким образом, формирование цифрового двойника города может помочь с решением установленных градостроительных проблем, разрабатывать новые модели управления городом и городским пространством.

Качественный экономический рост страны возможен при равномерном экономическом развитии субъектов [2]. Такая же ситуация отмечается и с городом. Чтобы улучшить проживание в городе, необходимо равномерно развивать его городское пространство.

Равномерное развитие урбанизированных территорий характеризуется следующими признаками [10–12]:

1. Многофункциональные зоны, которые имеют необходимую инфраструктуру вне зависимости от удаленности от центра города.

2. Шаговая доступность объектов социальной инфраструктуры.

3. Зеленая справедливость, равномерное расположение зеленых общественных зон в каждом районе города.

4. Транспортная доступность и мобильность.

5. Экологическая устойчивость.

6. Внедрение систем «умного города» во всех районах города, а не только в центральных.

Проблема неравномерного развития городского пространства явно проявила себя во время пандемии. Люди, которые живут вдали от центра, не имели доступа ко многим городским благам. Распределение объектов в городе зависит от городского планирования. Пандемия коронавируса показала, что требуются изменения в организации, планировании и управлении городом для его устойчивого развития [11, 12].

Неравномерное развитие вызвано концентрацией функциональных объектов в районах города с развитой инфраструктурой [13]. Интенсивный рост развития урбанизированных территорий характеризуется улучшением инфраструктуры и «вертикальным» развитием города. Экстенсивный рост в современном городском развитии предполагает расширение. Границы города отдаляются от центра, появляются новые жилые комплексы и целые жилые районы. Однако новые жилые районы не имеют развитую инфраструктуру. Самый простой пример – нехватка объектов социальной инфраструктуры. Темпы строительства жилья намного выше, чем инфраструктурного развития [5, 12].

Тем не менее города стремятся к равномерному развитию, что можно увидеть в их стратегических планах пространственного развития города. Рассмотрим данное направление на примере столицы Урала, Екатеринбурга.

Основными стратегиями развития городского пространства являются [14]: функциональное и пространственное разнообразие; компактное развитие города; учет природных ландшафтов; улучшение качества экологии; приоритетное развитие комфортного общественного транспорта; создание системы качественных общественных пространств; соразмерный чело-

веку масштаб архитектурной среды; своеобразие и узнаваемость; баланс социальных и экономических интересов.

Из формулировки задач стратегического развития города можно увидеть пересечение с признаками равномерного развития. Стратегии развития городского пространства Екатеринбурга стремятся к достижению равномерного развития. Однако изучение стратегического плана показало отсутствие инновационных технологий для достижения данных целей. Наше исследование предлагает использовать в качестве инструмента инноваций цифровой двойник города.

В табл. 1 представлено, каким образом цифровой двойник города способствует достижению стратегических целей города и равномерного развития.

Из таблицы видно, что цифровой двойник города при грамотном его использовании может улучшить городское простран-

ство, организационные схемы застройки территории и управление ими. Например, возможно решить актуальную проблему дефицита социальных объектов инфраструктуры, транспортной доступности и экологии.

Результаты анализа возможностей цифрового двойника города [3, 6, 7, 9, 13] и примера цифрового двойника Сингапура [15] представлены как экономический и социальный эффект от внедрения и использования цифрового двойника города (табл. 2).

В целом можно заметить положительный эффект от использования цифрового двойника города для развития урбанизированных территорий. Гипотеза о том, что использование цифрового двойника города способно обеспечить равномерное развитие урбанизированных территорий и управления ими, обоснована и подтверждается данными об эффектах.

Таблица 1

Способности цифрового двойника города
в формировании равномерного города

Элемент городского развития	Пути улучшения посредством цифрового двойника города	Выполнение стратегических задач	Выполнение признаков равномерного развития
Жилая застройка	Оперативное добавление новых объектов в модель. Возможность проведения архитектурно-градостроительного анализа, чтобы проектируемые объекты имели оптимальные параметры (расположение, высотность, архитектура) [3, 7]	Соразмерный человеку масштаб архитектурной среды, баланс социальных и экономических интересов	Многофункциональные зоны, которые имеют необходимую инфраструктуру вне зависимости от удаленности от центра города
Социальная инфраструктура	Анализ расположения объектов социальной инфраструктуры. Наглядность потребности в социальных объектах во всех районах города. Моделирование различных вариантов и выбор оптимального [7, 13]	Пространственное и функциональное разнообразие, создание системы качественных общественных пространств	Шаговая доступность объектов социальной инфраструктуры; зеленая справедливость, равномерное расположение зеленых общественных зон в каждом районе города
Транспорт	Цифровая модель города показывает транспортные потоки общественного транспорта. Позволяет наглядно выявить проблемы и смоделировать новые транспортные потоки для дальнейшего внедрения [6, 7, 9]	Приоритетное развитие комфортного общественного транспорта	Транспортная доступность и мобильность
Экология	Единый источник данных, который содержит информацию о движении транспорта в городе. Позволяет смоделировать движение оптимально и разгрузить проблемные участки [6]	Улучшение качества экологии	Экологическая устойчивость
Управление	Цифровой двойник полностью отражает происходящее в городе в текущий момент. Повышается качество управления и мониторинга [6, 7]	Компактное развитие города, своеобразие и узнаваемость	Внедрение систем «умного города» во всех районах города, а не только в центральных

Таблица 2

Оценка экономического и социального эффекта использования цифрового двойника города

Элемент городского развития	Экономический эффект	Социальный эффект
Жилая застройка	Снижение затрат на выбор оптимального решения ручным способом. Все можно посмотреть на модели	Снижение недовольства жителей благодаря продуманной архитектуре зданий и городского пространства
Социальная инфраструктура	Снижение материальных, временных и трудовых затрат на выбор социального объекта. На модели можно определить, что и где необходимо построить	Повышение качества жизни за счет равной обеспеченности всех жителей необходимыми социальными услугами
Транспорт	Снижение временных затрат на доставку, оптимизация регулирования дорожного движения	Повышение качества жизни за счет безопасного и доступного для всех районов города общественного транспорта
Экология	Повышение привлекательности города	Улучшение здоровья жителей
Управление	Рост эффективности управления, мониторинга и контроля	Взаимодействие с жителями, ответы на их запросы

Заключение

Проблемы городского развития проявили себя особенно после пандемии. Расширение города без равномерного распределения инфраструктурных объектов стало актуальной проблемой для урбанизированных территорий. Нами было предложено использовать цифровой двойник города в организации, планировании и стратегическом управлении развития урбанизированных территорий, опираясь на лучший мировой и отечественный опыт.

Цифровой двойник города позволит улучшить городские практики, организационные схемы застройки, объемно-пространственные регламенты, дизайн-коды, решить градостроительные проблемы, сохранить историческое наследие. Результаты исследования доказывают это.

Приведенный экономический и социальный эффект от использования цифрового двойника города показывает актуальность, эффективность и новизну данного инструмента. Однако приведенные выводы основаны на теоретических аспектах. Требуется исследование на основе эмпирических способов, что является предметом следующего исследования.

Список литературы

1. Рейтинг социально-экономического положения регионов – 2021. РИА Рейтинг [Электронный ресурс]. URL: <https://riarating.ru/infografika/20210531/630201353.html> (дата обращения: 25.01.2022).
2. Баранов А.Г., Баранова Е.В. Причины неравномерности развития регионов (на примере республики Крым) // Вестник СулГУ. 2018. № 2 (20). С. 31–38.
3. Панфилов А.В. Потенциал внедрения цифровых двойников города в условиях приполярных городов

на примере города Салехарда // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 148–154.

4. Скорость развития городской среды – проблемы инвестиций. Радио Эхо Москвы. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://echo.msk.ru/programs/vittel/2932260-echo/> (дата обращения: 25.01.2022).

5. Чернышева Л.А. Российское гетто: воображаемая маргинальность новых жилых районов // Городские исследования и практики. 2019. № 4 (2). С. 37–58.

6. Покусаев О.Н., Намиот Д.Е., Чекмарев А.Е. Об управлении трафиком в умном городе // International Journal of Open Information Technologies. 2021. № 5. С. 66–71.

7. Шпак П.С., Сычева Е.Г., Меринская Е.Е. Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2020. № 1. С. 57–68.

8. Ерофеев В.Т., Пиксайкина А.А., Булгаков А.Г., Ермолаев В.В. Цифровизация в строительстве как эффективный инструмент современного развития отрасли // Эксперт: теория и практика. 2021. № 3 (12). С. 9–14.

9. Лысенко Д.А. Метод автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта строительства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 4 (34). С. 139–141.

10. Vorontsova A.V., Vorontsova V.L., Salimgareev D.V. The development of Urban Areas and Spaces with the Mixed Functional Use. Procedia Engineering. 2016. no. 150. С. 1996–2000.

11. Yiyi H., Tao L., Xiongzi X., Guoqin Z., Yuqin L., Zhiwei Z., Junmao Z., Jinling S. Spatial Patterns and Inequity of Urban Green Space Supply in China. Ecological Indicators. 2021. no. 132.

12. Jasinski A. COVID-19 Pandemic Is Challenging Some Dogmas of Modern Urbanism. Cities. 2022. vol. 121. P. 4

13. Анисимов Н.В. Проблемы городской среды в контексте развития мегаполиса // Культурная жизнь Юга России. 2018. № 1. С. 11–14.

14. Стратегический план развития Екатеринбурга. Приложение 1 к Решению Екатеринбургской городской Думы от 25 мая 2018 г. № 12/81. Екатеринбург, 2022. С. 110.

15. Can Digital Twins Transform Singapore’s Built Environment? 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.edenstrategyinstitute.com/2021/08/04/is-digital-twin-technology-the-key-to-transforming-singapores-built-environment-industry/> (дата обращения: 18.02.2022).