

УДК 654.1

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-3-39-47>

EDN: RUTAWZ

Сценарии применения цифровых двойников в телекоммуникациях и в задачах умного города

ID Аветиков А. А.¹, ID Бугаев М. В.¹, ID Кисляков С. В.^{1,2}✉

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

²Научно-технический центр АРГУС, Санкт-Петербург, 191028, Российская Федерация

Актуальность. В области инфокоммуникационных технологий использование цифровых двойников остается относительно новым направлением. Их внедрение в сетевую инфраструктуру и системы связи до сих пор исследовано не полностью: отсутствуют устоявшиеся подходы, стандарты и единая методология для внедрения и эксплуатации в сетях, тем не менее интерес к ним стремительно растет. **Цель работы** – изучить существующий опыт применения цифровых двойников операторами связи. **Результат.** Представлен анализ реальных сценариев применения цифровых двойников для задач телекоммуникационных операторов. Также приведен сравнительный анализ видения технологий цифровых двойников с точки зрения таких организаций, как ITU, IETF, 3GPP.

Ключевые слова: цифровые двойники, телекоммуникации, умный город, сети 5G/6G, стандартизация

Введение

Цифровые двойники (ЦД) – это технология, позволяющая создавать высокоточные виртуальные модели объектов, что значительно упрощает проектирование, управление производственными процессами, эксплуатацию инфраструктурных систем и многое другое. Традиционно ЦД применяются преимущественно в промышленности, где основной акцент делается на моделировании физических параметров – давления, температуры, вибрации и других характеристик оборудования.

В области инфокоммуникационных технологий использование ЦД остается относительно новым направлением. Их внедрение в сетевую инфраструктуру и системы связи до сих пор исследовано не полностью: отсутствуют устоявшиеся подходы, стандарты и единая методология. Тем не менее интерес к технологии стремительно растет. Каждый год появляются новые способы интеграции ЦД

Библиографическая ссылка на статью:

Аветиков А. А., Бугаев М. В., Кисляков С. В. Сценарии применения цифровых двойников в телекоммуникациях и в задачах умного города // Информационные технологии и телекоммуникации. 2025. Т. 13. № 3. С. 39–47. DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-3-39-47. EDN: RUTAWZ

Reference for citation:

Avetnikov A., Bugayev M., Kislyakov S. Scenarios for the Use of Digital Twins in Telecommunications and in the Tasks of a Smart City // Telecom IT. 2025. Vol. 13. Iss. 3. PP. 39–47. (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-3-39-47. EDN: RUTAWZ

в процессы мониторинга, оптимизации и управления сетями, что делает задачу поиска наиболее эффективных и практичных подходов особенно актуальной.

Цель этой статьи – рассмотреть решения, разработанные за последние несколько лет, для того чтобы проанализировать и обобщить имеющиеся знания и получить более ясное представление о текущей динамике в использовании этого подхода, а также выявить, какие проблемы можно решить с помощью ЦД в сфере телекоммуникаций. Стоит также отметить, что ЦД, как правило, описывают отдельный объект, в контексте же сетей это тысячи узлов, устройств, пользователей и т. д., поэтому, когда говорят о сетях, зачастую используется термин «ЦД сети» (Digital Network Twin).

Одним из перспективных способов использования технологии ЦД является возможность применять ее в совокупности с машинным обучением и искусственным интеллектом (ИИ), а именно внедрять ИИ-модель, обученную на реальных данных, в созданного сетевого двойника. Для демонстрации практического применения такой комбинации был проведен эксперимент с моделью транспортной телекоммуникационной сети [1]. В этом эксперименте ИИ обрабатывает данные об ошибках, происходящих в системе, и обучается на этих ошибках предсказывать подобные неполадки в будущем. Таким образом существенно сокращается время реагирования и анализа инцидентов в системе, выполняется проактивный мониторинг системы. Стоит отметить, что объем требующихся ресурсов будет расти с увеличением анализируемой сети; кроме того, для правильной работы необходимы грамотная тактика обработки данных и сбора телеметрии, а также большая выборка исходных данных из реальной сети, т. е. при развертывании нестандартных решений такой подход будет давать менее точные прогнозы.

Использование ЦД крайне актуально в мобильных сетях 5G и 6G. Так как двойники обладают высокой гибкостью и расширяемостью, они могут применяться для создания реплик устройств мобильной сети, оборудования и приложений, создающих среду 5G [2]. Это позволяет разработать адаптивную модель, которую можно использовать для разработки, оптимизации управления сетью, проведения тестов и проверки производительности, и все это с низкими затратами. Таким образом, можно, к примеру, создать двойник существующего сегмента сети, дополнить модель в соответствии с планируемыми изменениями, протестировать работоспособность, после чего внедрять изменения уже на физической сети.

Однако в контексте мобильных сетей жизненный цикл двойника не заканчивается после моделирования. ЦД дополняется функциями реальной сети так, чтобы он полностью отражал и копировал ее поведение, после чего настраивается двусторонняя связь [3–6]. С этого момента двойник сети может собирать наборы данных из телеметрии, автоматически оптимизировать топологию сети и даже предотвращать инциденты. В таких сценариях ЦД становится незаменимым инструментом эксплуатационной поддержки сетей связи поколений 5G / 6G.

Двойники также успешно справляются с задачей моделирования сложных процессов, ускоряя их и делая менее затратными, чем в реальных системах. Пример такого процесса – виртуализированные сети радиодоступа vRAN [2]. Так как алгоритмы RAN при декодировании учитывают не только радиоресурсы, но и параметры процессора, зачастую могут происходить задержки и ошибки. Это

приводит к тому, что при необходимости машинного обучения использовать реальную систему слишком долго и затратно, не говоря уже о том, что вмешиваться в работу развернутой системы доступа небезопасно и невыгодно. В таких сценариях применение двойника для моделирования системы может послужить достойной заменой для обучения ИИ, кроме того, такая модель будет обладать большей гибкостью и может быть настроена таким образом, которым реальную сеть настроить невозможно из соображений безопасности, качества обслуживания и прочих рисков.

Технология, а точнее сказать, идея ЦД является пока еще относительно новой [7, 8]; информации о ее применении в реальности недостаточно, или она является скорее маркетинговым трюком, за которым стоят лишь известные техники моделирования. Цель настоящего исследования состоит в поиске реального применения ЦД по отношению к сетевым инфраструктурам.

Цифровой двойник сети инфокоммуникаций

Современный ЦД сети представляет собой многоуровневую систему (рисунок 1). На сегодня известен ряд сценариев, где технология ЦД приносит реальную пользу. Рассмотрим наиболее успешные примеры их применения.

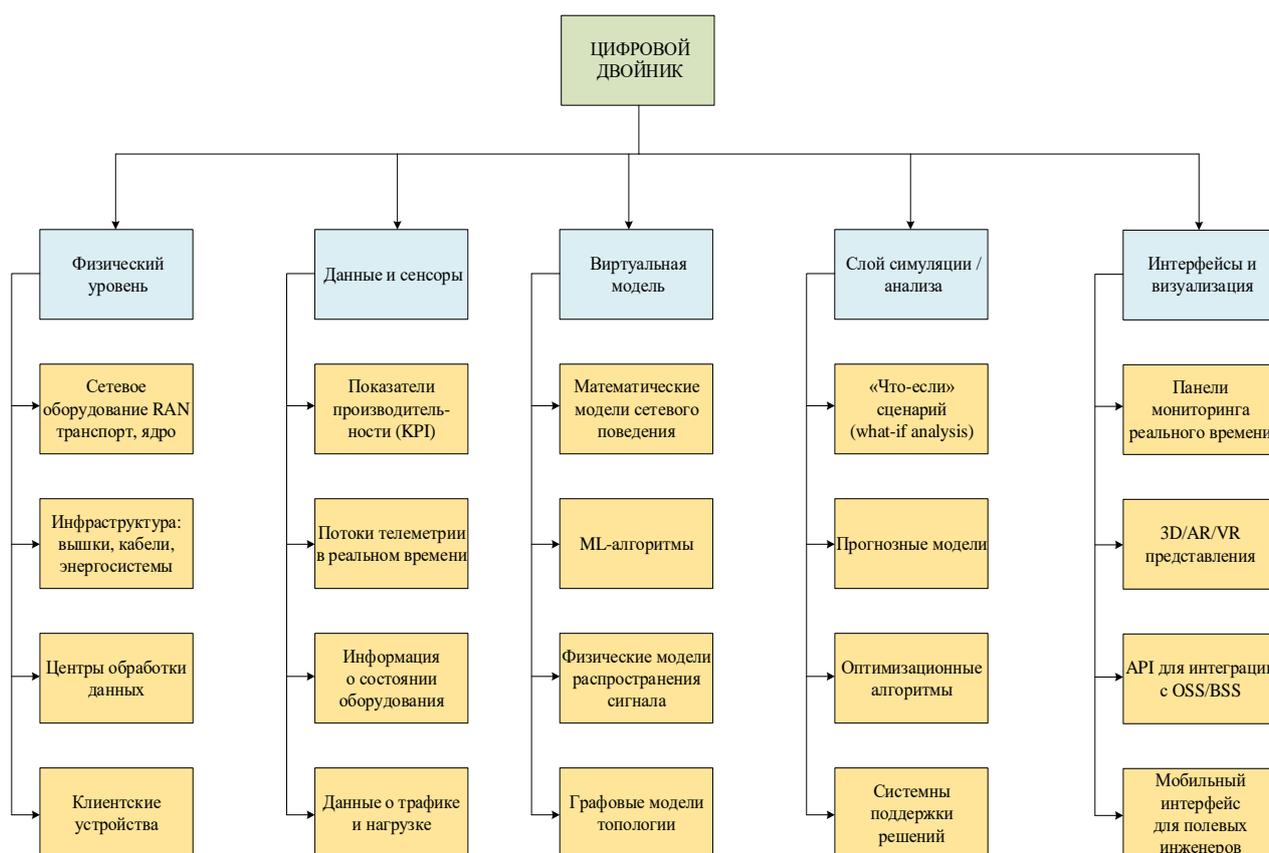


Рис. 1. Многоуровневая система ЦД

Telecom Italia – итальянская телекоммуникационная компания – использовала ЦД для развертывания сети 5G в историческом центре Рима, снизив количество физических тестов на 70 % и сократив время планирования на 40 % [3].

В рамках решения ЦД применялся для 3D-моделирования городской среды с учетом строительных материалов, рельефа, растительности. С помощью ЦД реализовывалось прогнозирование покрытия сигнала, оптимизация размещения вышек для максимизации покрытия при минимизации затрат, проводился анализ помех между различными операторами и технологиями и, наконец, оценивалось энергопотребление и тепловые характеристики оборудования.

Американская телекоммуникационная компания Vodafone внедрила в Германии систему ЦД для 15 000 базовых станций, что позволило снизить внеплановые простои на 35 %, увеличить среднее время наработки на отказ на 28 %, а также сократить затраты на обслуживание на 22 % [3]. В целом такое применение ЦД можно определить как проактивное обслуживание сетевой инфраструктуры оператора связи. ЦД здесь применялись для предиктивной аналитики отказов (ML-модели, обучаемые на исторических данных о поломках оборудования), для виртуальных инспекций инфраструктуры (использование дронов с компьютерным зрением для мониторинга вышек с передачей данных в ЦД), для автоматизированной диагностики (сравнения текущих показателей с эталонной моделью в ЦД), для оптимизации маршрутов ремонтных бригад на основе приоритетов, определенных ЦД.

SK Telecom (Южная Корея) использует ЦД для управления сетями в режиме реального времени, автоматически перераспределяя ресурсы при обнаружении потенциальных проблем с качеством [4]. Заявленной целью внедрения ЦД было обеспечение стабильного качества услуг для критически важных приложений для телемедицины и автономного транспорта. В частности, на основе применения ЦД реализовывалось динамическое моделирование качества услуг для различных типов трафика, прогнозирование деградации качества на основе моделей в ЦД, а также автоматическая оптимизация параметров сети (приоритизация трафика, настройка радиопараметров и т. п.). Отдельным направлением применения ЦД была симуляция экстремальных сценариев, таких как массовые мероприятия и чрезвычайные ситуации.

Немецкая компания Deutsche Telekom сообщает о сокращении энергопотребления на 15–20 % после внедрения системы ЦД в процесс управления расходом электроэнергии сети [4]. В частности, ставилась задача снижения углеродного следа телеком-инфраструктуры. ЦД в данном сценарии применялся для моделирования энергопотребления всей сетевой инфраструктуры, оптимизации работы систем охлаждения центра обработки данных на основе прогнозов температуры и нагрузки, проектирования работы солнечных панелей и ветрогенераторов на объектах связи.

Британская компания British Telecom использует ЦД для моделирования более чем тысячи сценариев кибератак ежедневно, повышая устойчивость национальной телекоммуникационной инфраструктуры. ЦД в их сценарии применяется для безопасной имитации атак, обнаружения аномалий – сравнения поведения сети с эталонной моделью, для моделирования распространения атак и оценки сетевых уязвимостей, а также тренировки систем для киберзащиты без риска для реальной сети.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика видения стандартизирующих организаций, как могут применяться ЦД сети.

Таблица 1 – Стандартизирующие организации о ЦД

Организация	Объект ЦД	Цель применения	Практический результат для индустрии
IETF	Виртуальная глобальная сеть (протоколы, трафик, устройства)	Тестирование и валидация новых интернет-протоколов в реалистичных условиях до их утверждения	Более надежные, безопасные и эффективные протоколы для будущего интернета и интернета вещей
3GPP	Виртуальная сеть оператора связи (радиочастоты, базовые станции, пользователи)	Проектирование и оптимизация архитектур и алгоритмов для 5G-Advanced / 6G сетей, оптимизированных под задачи ЦД	Стандарты связи, которые изначально готовы к работе в условиях миллионов ЦД
ITU	Модель региона / страны / глобальной инфраструктуры (демография, инфраструктура, спектр)	Стратегическое планирование, предотвращение помех, анализ воздействия и обучение	Согласованное и бесконфликтное развитие глобальной телеком-инфраструктуры; снижение «цифрового разрыва»

Заключение

В целом ЦД применяются для решения широкого спектра задач [9], позволяют реалистично моделировать поведение сети [10], автоматизировать управление трафиком [11], проводить тестирование без влияния на реально существующую сеть, предсказывать перегрузки, значительно упрощают планирование емкости сети, помогают оптимизировать энергопотребление, обучают и проверяют алгоритмы ИИ в полностью контролируемой среде, обеспечивают моделирование сложных киберугроз, осуществляют сценарное тестирование и служат безопасной площадкой для отладки новых функций и обновлений [12].

В реальности реализация полноценного ЦД требует конвергенции ряда сложных телекоммуникационных технологий для того, чтобы его внедрение оправдалось технически и экономически.

Литература

1. Mercimek I. F., Polat K., Yazar M. D. Digital Twin Use Case in Telecommunications Transport Network // Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference (WCNC, 24–27 March 2025, Milan, Italy). IEEE, 2025. DOI: 10.1109/WCNC61545.2025.10978331
2. Apostolakis N., Chatzieftheriou L. E., Bega D., Gramaglia M., Banchs A. Digital Twins for Next-Generation Mobile Networks: Applications and Solutions // IEEE

Communications Magazine. 2023. Vol. 61. Iss. 11. PP. 80–86. DOI: 10.1109/MCOM.001.2200854. EDN: TDCJGM

3. Sanz Rodrigo M., Rivera D., Moreno J. I., Álvarez-Campana M., López D. R. Digital Twins for 5G Networks: A Modeling and Deployment Methodology // IEEE Access. 2023. Vol. 11. PP. 38112–38126. DOI: 10.1109/access.2023.3267548. EDN: YUGDQO

4. Poorzare R., Kanellopoulos D. N., Sharma V. K., Dalapati P., Waldhorst O. P. Network Digital Twin toward Networking, Telecommunications, and Traffic Engineering: A Survey // IEEE Access. 2025. Vol. 13. PP. 16489–16538. DOI: 10.1109/access.2025.3531947. EDN: EQIWJZ

5. Gong Y., Yao H., Xiong Z., Chen C. L. P., Niyato D. Blockchain-Aided Digital Twin Offloading Mechanism in Space-Air-Ground Network // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2025. Vol. 24. Iss. 1. PP. 183–197. DOI: 10.1109/TMC.2024.3455417

6. Канаев А. К., Степанова А. Р. Цифровые двойники в телекоммуникациях // Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А. С. Попова, посвященная Дню Радио: сборник докладов. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2024. № 1(79). С. 228–230. EDN: BQWOCR

7. Гольдштейн А. Б., Кисляков С. В. Цифровой двойник для управления сетью связи // Вестник связи. 2021. № 7. С. 27–32. EDN: DWRXZR

8. Nguyen H. X., Trestian R., To D., Tatipamula M. Digital Twin for 5G and Beyond // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. Iss. 2. PP. 10–15. DOI: 10.1109/MCOM.001.2000343

9. Nardini G., Stea G. Enabling Simulation Services for Digital Twins of 5G/B5G Mobile Networks // Computer Communications. 2024. Vol. 213. PP. 33–48. DOI: 10.1016/j.comcom.2023.10.017

10. Shin H., Oh S., Isah A., Aliyu I., Park J., et al. Network Traffic Prediction Model in a Data-Driven Digital Twin Network Architecture // Electronics. 2023. Vol. 12. Iss. 18. P. 3957. DOI: 10.3390/electronics12183957

11. Vilà I., Sallent O., Pérez-Romero J. On the Design of a Network Digital Twin for the Radio Access Network in 5G and Beyond // Sensors 2023. Vol. 23. Iss. 3. P. 1197. DOI: 10.3390/s23031197

12. Ukwuoma H. Ch., Dusserre G., Coatrieux G., Vincent J. Analysis of Digital Twin and Its Physical Object: Exploring the Efficiency and Accuracy of Datasets for Real-World Application // Data Science and Management. 2024. Vol. 7. Iss. 4. PP. 361–375. DOI: 10.1016/j.dsm.2024.04.002

**Статья поступила 25 ноября 2025 г.
Одобрена после рецензирования 19 декабря 2025 г.
Принята к публикации 20 декабря 2025 г.**

Информация об авторах

Аветиков Артём Анатольевич – студент 2-го курса магистратуры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: avetikov.aa@sut.ru

Бугаев Матвей Викторович – студент 2-го курса магистратуры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: bugaev.mv@sut.ru

Кисляков Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных систем, преподаватель базовой кафедры инновационных технологий телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.
E-mail: kislyakov@sut.ru

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-3-39-47>
EDN: RUTAWZ

Scenarios for the Use of Digital Twins in Telecommunications and in the Tasks of a Smart City

 A. Avetikov¹,  M. Bugayev¹,  S. Kislyakov^{1,2✉}

¹The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

²ARGUS Scientific and Technical Center,
St. Petersburg, 191028, Russian Federation

Relevance. *In the field of communications technologies, the use of digital twins remains a relatively new direction. Their implementation in network infrastructure and communication systems is still not fully explored: established approaches, standards, and a unified methodology for deployment and operation in networks are lacking; nevertheless, interest in them is rapidly growing.* **Purpose of the work** – to study the existing experience of using digital twins by communication operators. **Result.** *An analysis of real scenarios for the use of digital twins for telecommunications operators' tasks is presented. A comparative analysis of the vision of digital twin technologies from the perspective of organizations such as ITU, IETF, and 3GPP is also provided.*

Key words: digital twin, telecommunications, smart city, 5G / 6G networks, standardization

References

1. Mercimek I. F., Polat K., Yazar M. D. Digital Twin Use Case in Telecommunications Transport Network // Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference (WCNC, 24–27 March 2025, Milan, Italy). IEEE, 2025. DOI: 10.1109/WCNC61545.2025.10978331
2. Apostolakis N., Chatzieleftheriou L. E., Bega D., Gramaglia M., Banchs A. Digital Twins for Next-Generation Mobile Networks: Applications and Solutions // IEEE Communications Magazine. 2023. Vol. 61. Iss. 11. PP. 80–86. DOI: 10.1109/MCOM.001.2200854. EDN: TDCJGM
3. Sanz Rodrigo M., Rivera D., Moreno J. I., Álvarez-Campana M., López D. R. Digital Twins for 5G Networks: A Modeling and Deployment Methodology // IEEE Access. 2023. Vol. 11. PP. 38112–38126. DOI: 10.1109/access.2023.3267548. EDN: YUGDQO
4. Poorzare R., Kanellopoulos D. N., Sharma V. K., Dalapati P., Waldhorst O. P. Network Digital Twin toward Networking, Telecommunications, and Traffic Engineering: A Survey // IEEE Access. 2025. Vol. 13. PP. 16489–16538. DOI: 10.1109/access.2025.3531947. EDN: EQIWJZ
5. Gong Y., Yao H., Xiong Z., Chen C. L. P., Niyato D. Blockchain-Aided Digital Twin Offloading Mechanism in Space-Air-Ground Network // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2025. Vol. 24. Iss. 1. PP. 183–197. DOI: 10.1109/TMC.2024.3455417
6. Kanaev A. K., Stepanova A. R. Digital Twins in Telecommunications // Proceedings of Scientific and Technical Conference of the St. Petersburg STS REC named

after A. S. Popov, Dedicated to Radio Day. St. Petersburg: St. Petersburg Electro-technical University Publ., 2024. Vol. 1 (79). PP. 228–230. (in Russian) EDN: BQWOGR

7. Goldstein A. B., Kislyakov S. V. Digital twin for infocommunication network management // Communications Herald. 2021. Iss. 7. PP. 27–32. (in Russian) EDN: DWRXZR

8. Nguyen H. X., Trestian R., To D., Tatipamula M. Digital Twin for 5G and Beyond // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. Iss. 2. PP. 10–15. DOI: 10.1109/MCOM.001.2000343

9. Nardini G., Stea G. Enabling Simulation Services for Digital Twins of 5G / B5G Mobile Networks // Computer Communications. 2024. Vol. 213. PP. 33–48. DOI: 10.1016/j.comcom.2023.10.017

10. Shin H., Oh S., Isah A., Aliyu I., Park J., et al. Network Traffic Prediction Model in a Data-Driven Digital Twin Network Architecture // Electronics. 2023. Vol. 12. Iss. 18. P. 3957. DOI: 10.3390/electronics12183957

11. Vilà I., Sallent O., Pérez-Romero J. On the Design of a Network Digital Twin for the Radio Access Network in 5G and Beyond // Sensors 2023. Vol. 23. Iss. 3. P. 1197. DOI: 10.3390/s23031197

12. Ukwuoma H. Ch., Dusserre G., Coatrieux G., Vincent J. Analysis of Digital Twin and Its Physical Object: Exploring the Efficiency and Accuracy of Datasets for Real-World Application // Data Science and Management. 2024. Vol. 7. Iss. 4. PP. 361–375. DOI: 10.1016/j.dsm.2024.04.002

Information about Authors

Avetikov Artyom – 2nd Year Master’s Student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: avetikov.aa@sut.ru

Bugaev Matvey – 2nd Year Master’s Student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: bugaev.mv@sut.ru

Kislyakov Sergey – Ph. D. of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Communication Systems, Lecturer at the Basic Department of Information Technologies and Telecommunications (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: kislyakov@sut.ru