



К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве

Мария Витальевна Матвеева¹, Акилоу Адемола Адигун Адегбола²

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²DYJESCK-S, г. Котону, Республика Бенин

Автор, ответственный за переписку: Матвеева Мария Витальевна, expertiza@istu.edu

Аннотация. Цель – определение перспектив интегрированной автоматизации управления этапами жизненного цикла строительства и календарного планирования в строительстве на основе применения 4D-моделирования. Методика исследования базировалась на изучении и оценке концепции 4D-моделирования, применяемой в отечественной и зарубежной практике на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, которая направлена на визуализацию последовательности выполнения строительных задач. В настоящее время преобладающая часть застройщиков не выполняют установленные сроки строительства и задерживают или переносят сроки ввода объекта в эксплуатацию, что вызвано использованием традиционных средств планирования. Сегодня строительная отрасль находится на стадии перехода от 2D-документации и поэтапных процессов формирования цифровой модели к интегрированному плану-графику, основанному на концепции 4D-моделирования. С переходом на Индустрию 4.0 внедрение 4D-моделирования в BIM-модель произведет революцию в строительной отрасли, благодаря интеграции данных 3D-моделей с дополнительными измерениями планирования и оценкой стоимости. В статье доказано, что применение 4D-моделирования в строительстве направлено на повышение эффективности рабочих процессов, которые когда-то были сопряжены с большим риском и неэффективностью на этапе строительства. В настоящее время метод 4D-визуализации находится на ранней стадии внедрения, поскольку существует ряд барьеров и проблем, в том числе связанных с переоценкой стоимости внедрения, поиском компетентного персонала, отсутствием интегрированных моделей. Вместе с тем применение 4D-моделей является необходимым и неизбежным переходом на новый этап цифровой зрелости строительной отрасли, обеспечивающим субъектам строительного процесса визуализацию запланированных этапов строительства, оптимизацию коммуникаций внутри каждого этапа и наиболее точное планирование ресурсов.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, цифровизация, 4D-моделирование, жизненный цикл здания, объект капитального строительства

Для цитирования: Матвеева М. В., Адегбола А. А. К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2. С. 190–195. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-190-195>.

Original article

Organization and management of 4D-modelling processes in construction

Maria V. Matveeva¹, Akilow A. A. Adegbola²

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²DYJESCK-S, Cotonou, Republic of Benin

Corresponding author: Maria V. Matveeva, expertiza@istu.edu

Abstract. The study aims to determine the prospects of integrated automation in the management of construction stages and scheduling on the basis of the 4D-modelling concept, which is applied in domestic and foreign practice of capital construction for visualizing the sequence of construction stages. Due to the use of conventional planning tools, the majority of developers fail to meet the established construction deadlines. At present, the construction industry is at the stage of transition from 2D documentation and step-by-step processes of forming a digital model to an integrated schedule based

on the concept of 4D-modelling. Within the framework of transitioning to Industry 4.0, the introduction of 4D-modelling in the BIM model will revolutionize the construction industry by integrating these 3D models with additional planning dimensions and cost estimations. The application of 4D-modelling is shown to improve the efficiency of work processes, which were previously associated with a great risk and inefficiency of construction stages. Currently, the application of the 4D-visualization method is at its nascent stage due to a number of barriers and problems, including those related to the reassessment of implementation costs, a search for competent personnel, as well as a lack of integrated models. At the same time, the application of 4D models appears to be a necessary and inevitable transition to a new stage of digital maturity of the construction industry, which allows the subjects of the construction process to effectively visualize construction stages, accurately plan the required resources and optimize communications within each stage.

Keywords: information modeling technologies, digitalization, 4D modeling, building life cycle, capital construction object

For citation: Matveeva M. V., Adegbola A. A. A. Organization and management of 4D-modelling processes in construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(2):190-195. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-190-195>.

Введение

Системы автоматизированного проектирования появляются и начинают свое развитие в XX веке и в целом представляют собой набор технических, программных и других инструментов, объединенных в организационно-техническую систему, направленную на автоматизацию процесса проектирования [1].

В многообразии классификаций систем автоматизированного проектирования можно выделить два фундаментальных вида, к которым относится информационное моделирование зданий, или информация о зданиях (BIM), и автоматизированное проектирование (CAD). Несмотря на то, что перечисленные технологии появились одновременно, многие ученые и практики рассматривают технологию CAD как одну из составных частей BIM-технологии. Использование последней позволяет обеспечить сквозную автоматизацию проектирования, строительства и эксплуатации объектов.

3D-моделирование, являющееся основой BIM-технологий, занимает важную позицию в технологическом процессе проектирования, при этом девелоперы находятся в поиске решений для более качественного и продуктивного, как в экономическом, так и в технологическом аспекте, использования 3D-модели

BIM на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства¹.

Широкое распространение в практике зарубежных компаний получила концепция 4D-моделирования рабочих процессов. Суть концепции заключается в добавлении к 3D-модели измерения времени, которое позволяет проектным командам анализировать последовательность событий на временной шкале и визуализировать выполнение строительных задач [2]. Концепция информационного моделирования зданий уже долгое время используется в строительной отрасли, однако для сектора тайм-менеджмента это относительно новое понятие, что обуславливает актуальность статьи.

Методы

Актуальность рассмотрения процессов организации 4D-моделирования и управления им в строительстве предопределила важность изучения научных работ российских и зарубежных ученых, имеющих теоретические и практические наработки в рассматриваемой предметной области. Тематике развития технологий информационного моделирования в строительной отрасли посвящены научные работы таких ученых, как А. В. Бабкин, Х. М. Гумба, В. И. Талапов, Г. Ф. Токунова, Р. Эйш,

¹Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства: Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431;
О стратегическом направлении в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030 г.: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2021 г. № 3883-р.

П. Теиколс и др. [3–5]. Они внесли значительный вклад в теоретическую обоснованность и практическое применение BIM-технологий, в том числе 3D-моделей, в процессы жизненного цикла объекта капитального строительства. Но при этом остаются недостаточно изученными вопросы внедрения и интеграции 4D-моделирования в информационную модель здания.

Результаты и их обсуждение

Проектирование объектов капитального строительства является комплексным процессом, требующим обеспечения информационного обмена данными на всех этапах его жизненного цикла [6]. Информационное моделирование (BIM) является цифровым представлением функциональных и физических характеристик строительного проекта, которое рассматривается как потенциальное решение проблем, связанных с его реализацией.

Таким образом, BIM – это современная технология, которая используется на этапе не только проектирования, но и строительства, обеспечивая экономию времени и эффективность работы на протяжении всего жизненного цикла проекта.

Именно для создания 4D-модели BIM является мощным инструментом, позволяющим различным субъектам (проектировщикам, поставщикам, консультантам, подрядчикам и клиентам) проекта строительства визуализировать каждый структурный элемент любого объекта капитального строительства, независимо от его назначения, физических характеристик и сложности.

Этот метод основан на моделировании информации о строительстве (BIM), что является революционным инструментом, облегчающим рабочий процесс в отрасли проектирования, снабжения и строительства [7].

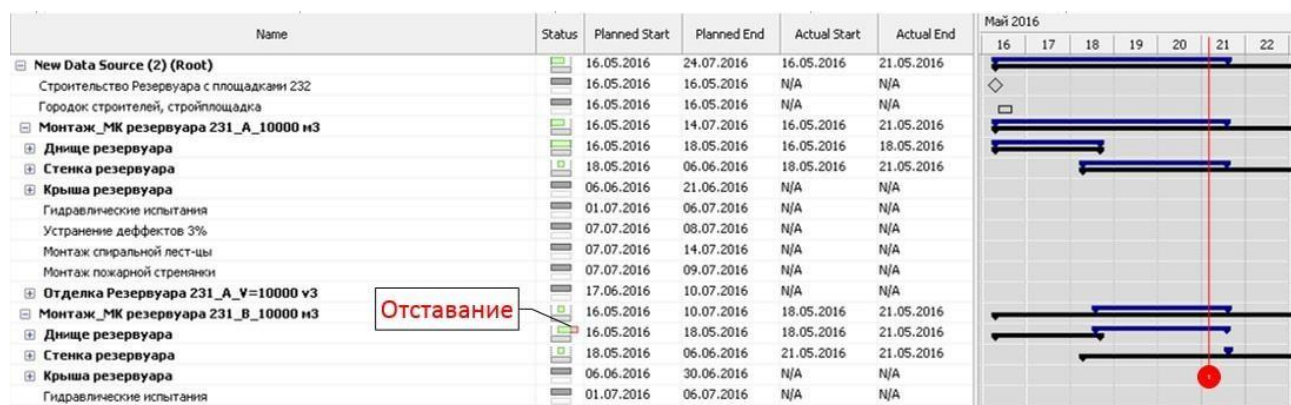
Четвертое измерение BIM уделяет особое внимание связям между 3D- и геометрическими моделями, принимая во внимание время планирования.

Визуализация приложения с использованием 4D-методов планирования в сочетании с другими методами выстраивает коммуникацию между субъектами проекта строительства и позволяет оптимизировать принятие решений на всем протяжении выполнения проекта.

Целью использования 4D-модели при планировании строительства является информатизация и визуализация процесса реализации, а также повышение качества выполнения работ на каждом этапе жизненного цикла [8].

Комбинируя 3D-модели с инструментами планирования в приложении для планирования и управления 4D-моделями, можно добиться следующих результатов:

1. Создание 4D-модели, основанной на планировании и оценке, что позволяет осуществлять планирование и рассчитывать рентабельность проекта, учитывая бюджет каждого этапа и календарный план-график (см. рисунок).
2. Построение своего рода эскиза для фактического строительства с использованием 4D-модели.
3. Выявление ошибок и коллизий, которые могут быть не замечены при обычном проектировании.
4. Запуск сценариев для оценки осуществимости выполнения и поиска наилучших решений реализации проекта.
5. Интеграция всех данных об объекте в одну базу данных.
6. При необходимости создание документов, требуемых для участия в тендере.



Пример календарного плана на основе использования концепции 4D-моделирования
Example of a schedule based on the use of the concept of 4D modeling

Преимущества 4D-моделирования можно обобщить по четырем направлениям:

- снижение внешних и внутренних рисков за счет выстраивания коммуникации внутри команды проекта;

- идентификация коллизий;
- повышение производительности;
- улучшение качества проекта.

Применение 4D-моделирования в строительстве направлено на повышение эффективности рабочих процессов, которые когда-то были сопряжены с большим риском и неэффективностью, в том числе на этапе строительства. Приведем некоторые примеры таких процессов:

1. *Планирование на основе 4D-модели.* 4D-модель позволяет проектировщикам и строителям визуализировать последовательность строительства, выявить ошибки в плане и оптимизировать календарный график строительства.

2. *Стоимостная оценка проекта.* 4D-модель включает в себя коды затрат и количественные расчеты, которые связаны с объектами. Это обеспечивает оптимизацию сметного расчета при изменении отдельных элементов в проекте [9, 10].

3. *Виртуальная реальность и отслеживание прогресса строительства.* В 4D-модели графическая часть оснащена мобильным и веб-приложением, что позволяет собирать необходимый модельный ряд (виртуальное представление) для этапов строительства.

Необходимо отметить, что изначально использование 4D-моделирования было направлено на выявление коллизий в проекте и последующее применение результатов теоретического исследования для оценки осуществимости системы и ее практического применения. Проведенное исследование функциональных возможностей использования 4D-моделирования на практике показало необходимость включения хронографического планирования на основании применения программы *VBA Excel*. Использование 4D-хронографического планирования позволяет учитывать линейность производства команд и рабочих процессов и изучать связи между видами деятельности, что упрощает автоматизацию процесса 4D-моделирования. Кроме того, использование семантического моделирования данных и анализ данных, используемых для проведения диагностики процессов, позволяет обеспечить гибкие и эффективные методы управления [11]. Для обеспечения временного контроля этапов жизненного цикла объекта капитального строи-

тельства целесообразно использовать интеграцию 4D-модели и кадровых фотографий. Визуализация необходима для создания автоматической системы мониторинга, что может быть достигнуто путем осуществления 4D-моделирования из изображений облака точек и реализации классификации изображений для обнаружения прогресса и запланированной модели из BIM [12]. Преимущества 4D-моделей подчеркивают важность и актуальность их использования в цифровых управленческих системах, включающих реорганизацию рабочих процессов и ролей проектной команды и обеспечивающих инструмент мониторинга на месте и анализ конструктивности хода строительства. Функциональные возможности 4D-модели можно проследить на таких этапах строительства, как планирование строительства (вид календарного плана-графика) и планирование участка (пространственно-временное зондирование). Необходимо сделать акцент на аспекте интеграции 4D-модели в BIM-проектирование. Для демонстрации способности обрабатывать изображения строительной площадки и интегрировать их с 4D-моделями в виртуальную среду предлагается использовать концептуальный архетип гибридной системы. Эта структура позволяет субъектам строительного процесса использовать расширенный инструмент поддержки принятия решений, эффективно обнаруживать несоответствия в проекте и иллюстрировать этапы планирования и реализации.

Заключение

В настоящее время девелоперы ставят перед собой масштабные задачи по оптимизации ряда организационно-технологических решений на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Решение такого рода задач возможно за счет интеграции 4D-моделирования в информационную модель, что улучшит процесс планирования и реализации строительства. Интеграция 3D-моделирования с 4D-моделированием позволит визуализировать последовательность строительства, обеспечивая координацию ресурсов, тем самым сокращая время, необходимое для принятия решений и координации работы проектной команды, что усиливает этапы планирования и реализации проекта капитального строительства. На основании этого быстрое развитие технологий в сочетании с высоким спросом на эффективное планирование времени и стоимости зданий делает 4D-моделирование одним из основополагающих и перспективных инструментов управления проектами строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Суродеев А. В., Терешкин И. П. Основные аспекты внедрения BIM-технологий в России // XLVII Огарёвские чтения: мат-лы науч. конф. (Саранск, 06–13 декабря 2018 года). Саранск, 2019. С. 216–219.
2. Копцева Н. П. Возможности BIM (building information modeling)-технологий для инновационного развития // Цифровизация. 2021. Т. 2. № 2. С. 8–24. <https://doi.org/10.37993/2712-8733-2021-2-2-8-24>.
3. Babkin A., Mylnikova E., Chernovalova G., Belmas S., Nagibina N. Information-Infrastructure Mechanism for Managing Industrial Enterprise Self-Development in the Setting of Digitization // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 246. p. 762–770. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_85.
4. Гумба Х. М., Уварова С. С., Беляева С. В., Белянцева О. М. Формирование концепции системной конкурентоспособности строительства в цифровой экономике // Экономика и предпринимательство. 2021. № 1 (126). С. 716–720. <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.126.01.138>.
5. Талапов В. Роль технического заказчика в организации процесса информационного моделирования // САПР и графика. 2019. № 11 (277). С. 4–12.
6. Пешков А. В., Матвеева М. В., Безруких О. А., Рогов Д. С. Обеспечение процессов контроля качества на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства в рамках концепции «Строительство 4.0» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1 (40). С. 90–97. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>.
7. Aleksandrova E., Vinogradova V., Tokunova G. Integration of digital technologies in the field of construction in the Russian Federation // Engineering Management in Production and Services. 2019. Vol. 11. № 3. p. 38–47. <https://doi.org/10.2478/emj-2019-0019>.
8. Gledson B. J., Greenwood D. J. Surveying the extent and use of 4D BIM in the UK // Journal of Information Technology in Construction (ITcon). 2016. Vol. 21. p. 57–71.
9. Ильинова В. В., Мицевич В. Д. Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве // Российский внешне-экономический вестник. 2021. № 6. С. 79–93. <https://doi.org/10.24412/2072-8042-2021-6-79-93>.
10. Кривошейцева Е. А., Корницкая М. Н. 4D моделирование зданий с использованием Autodesk Navisworks // Ползуновский альманах. 2022. № 1. С. 94–96.
11. Болотова А. С., Маршавина Я. И. Проблемы внедрения технологии информационного моделирования в России // Строительное производство. 2021. № 2. С. 70–80. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_2_70.
12. Kassem M., Brogden T., Dawood N. BIM and 4D planning: a holistic study of the barriers and drivers to widespread adoption // Journal of Construction Engineering and Project Management. 2012. Vol. 2. Iss. 4. p. 1–10. <https://doi.org/10.6106/JCEPM.2012.2.4.001>.

REFERENCES

1. Surodeev AV, Tereshkin IP. The main aspects of the introduction of BIM-technologies in Russia. XLVII Ogarevskie chteniya: mat-ly nauch. konf. (Saransk, 06-13 December 2018). Saransk, 2019. p. 216-219. (In Russ.).
2. Koptseva NP. Possibilities of BIM (building information modeling) technologies for innovative development. Tsifrovizatsiya. 2021;2(2):8-24. <https://doi.org/10.37993/2712-8733-2021-2-2-8-24>. (In Russ.).
3. Babkin A, Mylnikova E, Chernovalova G, Belmas S, Nagibina N. Information-Infrastructure Mechanism for Managing Industrial Enterprise Self-Development in the Setting of Digitization. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022;246:762-770. (In Russ.). https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_85.
4. Gumba KhM, Uvarova SS, Belyaeva SV, Belyantseva OM. Formation of the concept of systemic competitiveness of construction in the digital economy. Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship. 2021;1(126):716-720. <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.126.01.138>. (In Russ.).
5. Talapov V. The role of the technical customer in organizing the process of information modeling. SAPR I grafika. 2019;11(277):4-12. (In Russ.).
6. Peshkov AV, Matveeva MV, Bezrukih OA, Rogov DS. Ensuring quality control processes at all stages of the life cycle of capital construction projects under the Construction 4.0 concept. Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2022;12(1):90-97. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>.
7. Aleksandrova E, Vinogradova V, Tokunova G. Integration of digital technologies in the field of

construction in the Russian Federation. *Engineering Management in Production and Services*. 2019;1(3):38-47.
<https://doi.org/10.2478/emj-2019-0019>.

8. Gledson BJ, Greenwood DJ. Surveying the extent and use of 4D BIM in the UK. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2016;21:57-71. (In Russ.).

9. Ilinova VV, Mitsevich VD. International experience of using BIM technologies in construction. *Rossiyskiy vneshneekonomicheskiiy vestnik = Russian Foreign Economic Journal*. 2021;6:79-93. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24412/2072-8042-2021-6-79-93>.

10. Krivosheitseva EA, Kornitskaya MN. 4D modeling of buildings using Autodesk Navisworks. *Polzunovskiy al'manakh*. 2022;1:94-96. (In Russ.).

11. Bolotova AS, Marshavina JI. Problems of the implementation of BIM technologies in Russia. *Stroitel'noye proizvodstvo = Construction production*. 2021;2:70-80. (In Russ.).
https://doi.org/10.54950/26585340_2021_2_70.

12. Kassem M, Brogden T, Dawood N. BIM and 4D planning: a holistic study of the barriers and drivers to widespread adoption. *Journal of Construction Engineering and Project Management*. 2012;2(4):1-10.
<https://doi.org/10.6106/JCEPM.2012.2.4.001>.

Информация об авторах

М. В. Матвеева,

доктор экономических наук, профессор
кафедры экспертизы и управления
недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>

Акилоу Адемола Адигун Адегбола,

специалист,
DYJESCK-S,
444, г. Котону, 01 BP 721, Республика Бенин,
e-mail: akil.ad@yandex.ru

Information about the authors

Maria V. Matveeva,

Dr. Sci. (Econ.), Professor of the Department of
Expertise and Real Estate Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>

Akilow Ademola Adigun Adegbola,

Specialist,
DYJESCK-S,
01 BP 721, Cotonou, 444, Republic of Benin,
e-mail: akil.ad@yandex.ru

Вклад авторов

Матвеева М. В., Адегбола А. А. А. имеют рав-
ные авторские права. Матвеева М. В. несет от-
ветственность за плагиат.

Contribution of the authors

Matveeva M. V., Adegbola A. A. A. have equal
author's rights. Matveeva M. V. bears the re-
sponsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 18.03.2022.
Одобрена после рецензирования 15.04.2022.
Принята к публикации 18.04.2022.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

The final manuscript has been read and ap-
proved by all the co-authors.

The article was submitted 18.03.2022.
Approved after reviewing 15.04.2022.
Accepted for publication 18.04.2022.