



УДК 658.5:624.05

doi: 10.48612/dnitii/2023_49_61-69

ПРИМЕНЕНИЕ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ И ИХ КОМПЛЕКСОВ

С. В. Бовтеев

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Приведены результаты анализа научной литературы и достигнутого практического опыта 4D-моделирования строительства в нашей стране. Установлено, что 4D-моделирование активно применяется при возведении масштабных и технически сложных объектов, но еще не получило должного развития в организации строительства объектов жилого и коммерческого назначения и их комплексов. Эффективность 4D-моделирования обеспечивается за счет повышения уровня координации различных участников строительного проекта, предотвращения ошибок и снижения рисков строительства, и, тем самым сокращения сроков и уменьшения стоимости реализации строительного проекта.

Текущей проблемой является уход зарубежного программного обеспечения с российского рынка и возникновение необходимости скорейшего импортозамещения специализированных программных комплексов. В этих целях разрабатываются и уточняются функциональные требования к программному обеспечению 4D-моделирования.

В статье предложена многоуровневая структура 4D-моделирования, сформулированы требования к процессу разработки 4D модели и требования к 3D моделям и к календарно-сетевым графикам как исходным данным для визуализации строительства, необходимые для эффективного применения 4D моделирования в современной строительной практике.

Ключевые слова

технологии информационного моделирования, 4D-моделирование, визуализация процесса строительства, календарно-сетевой график, строительство

Дата поступления в редакцию

12.09.2023

Дата принятия к печати

20.09.2023

Введение

Цифровая трансформация строительной отрасли в настоящее время в нашей стране еще только начинается. Конкурентоспособность строительных организаций во многом будет зависеть от успеха перехода на цифровизацию проектных и строительных процессов. Одним из основных цифровых инструментов управления строительством не без оснований считается информационное моделирование, которое известно под аббревиатурами BIM или ТИМ.

Однако во многих случаях технологии информационного моделирования (ТИМ) ограничивают только процессом трехмерного моделирования зданий, который уже освоили проектиров-

щики. Вместе с тем применение последующих этапов развития ТИМ, в частности четырехмерного моделирования (3D-модель плюс время), приводит к существенному повышению эффективности строительного производства.

Строительство крупных и технически сложных объектов уже не обходится без 4D-моделирования, благодаря чему накоплен значительный практический опыт [1, 2], причем не только в новом строительстве, но и в реставрации, например, исторического здания в центре города Л'Акуила в Италии [3]. В настоящее время необходимо распространить практику применения 4D-моделей на обычные «рядовые» стройки, например, жилых и общественных зданий.

Нормативные требования к 4D-моделированию в нашей стране практически отсутствуют. Единственное упоминание рассматриваемого инструмента можно найти в приложении Ж СП 333.13258000.2020 под наименованием «визуализация процесса строительства», что понимается как использование «специализированных программных инструментов информационного моделирования для интеграции данных информационной модели и календарно-сетевых графиков строительства»¹.

Отсутствие нормативно-законодательной базы, с одной стороны, оставляет свободу строительным организациям как самого применения инструментария 4D-моделирования, так и способов и масштабов его использования. Вместе с тем разработка общих принципов и алгоритмов визуализации процесса строительства должна привести к расширению сферы распространения данного цифрового инструмента организации и управления строительными проектами.

Постановка задачи

Организационная схема взаимодействия участников строительного проекта в процессе 4D-моделирования подразумевает возможное привлечение инвестора, девелопера, проектировщика, инжиниринговой организации, генерального подрядчика и (или) специализированной организации. Роль ответственного за формирование и поддержку 4D-модели может возлагаться на инженера-проектировщика ПОС, специалиста по планированию, BIM-специалиста или даже на внешнего консультанта.

Неграмотное и некорректное отношение к созданию 4D-модели и к ее использованию в управлении строительным проектом приводит к затратам труда специалистов и денежных средств, которые не могут окупиться, так как не повышают эффективность управления строительством, но отвлекают ресурсы. Непонимание значения и принципов 4D-моделирования также приводит только к негативным последствиям.

Для того, чтобы получить эффект от моделирования визуализации строительства, необходимо обеспечить участников строительного проекта понятной методикой 4D-моделирования, включающей в себя цели, задачи, ответственных лиц, требования к исходным данным, выполняемым процессам и получаемым результатам на всех уровнях управления строительным проектом. Следует обеспечить динамичное цифровое 4D-моделирование, которое оперативно может предоставлять требуемые на этапе строительства данные всем многочисленным участникам строительства.

Целью настоящей работы является разработка методов применения 4D-моделирования для строительства объектов капитального строительства и их комплексов. Для достижения постав-

¹ СП 333.13258000.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

ленной цели были выполнены системный анализ научной литературы и практического опыта применения 4D-моделирования, а также проведено интервьюирование экспертов (всего опрошено десять экспертов, из которых шесть имеют реальный опыт 4D-моделирования строительства, а четыре — опыт планирования, организации и управления строительным производством). Настоящая статья выступает как логическое продолжение других работ, в частности [4, 5].

Решение

Анализ научной литературы показал, что базой для появления 4D-моделирования в практике управления строительством послужила методология Virtual Design and Construction (VDC), обеспечивающая интеграцию людей, процессов и технологий. Данный подход, который был предложен в начале XXI века, ориентирован на принятие обоснованных решений до начала строительства, а не в его время, что значительно снижает риски, уменьшает количество переделок и, соответственно, сокращает сроки и минимизирует бюджеты строительных проектов. Вместе с тем для эффективного применения методологии VDC необходимы мощная компьютерная техника и функциональное программное обеспечение, поэтому от появления методологии до первых примеров ее эффективных применений прошло несколько лет.

В нашей стране первые научные работы в области 4D-моделирования связаны с именами С. А. Болотина, А. Х. Дадар и И. С. Птухиной [6], которые в 2011 г. научно обосновали значимость цифрового моделирования строительства и представили конкретные алгоритмы формирования 4D-моделей посредством современного программного обеспечения. Авторы предложили термин «имитация календарного планирования», который, однако, не нашел последующего признания. А. М. Эльшейх под руководством Е. В. Игнатовой в 2014–15 г. в рамках своей диссертации предложил методику автоматизированного формирования 4D-модели строительства с использованием генетических алгоритмов [7, 8].

Предпосылками появления и начала распространения 4D-моделирования в практике организации строительства можно считать следующие факторы:

- начало применения 3D-моделирования;
- увеличение мощности и доступности компьютерной техники, объема памяти, появление широкоформатных мониторов больших размеров и высокой четкости;
- появление доступа к информационно-коммуникационной сети Интернет, в том числе к облачным хранилищам данных, во всех локациях;
- повсеместное распространение мобильных устройств: телефонов, планшетов;
- потребность в повышении уровня координации между участниками строительных проектов;
- рост масштабов строительства и технической сложности строящихся объектов.

Благодаря данным факторам 4D-моделирование смогло выйти на серьезный уровень, а также появились перспективы для дальнейших исследований в сфере применения ТИМ для автоматизации управления строительными проектами [9].

Постоянное ускорение скорости строительства вызывает потребность в повышении качества и эффективности инструментов его управления. В работе [10] был проведен анализ преимуществ применения информационного моделирования (в том числе 4D-моделирования) для увеличения степени управляемости строительными проектами. В свою очередь отмечается [11], что процесс 4D-моделирования может пересекаться с календарно-сетевым планированием строительства, а во многих случаях резуль-

таты формирования 4D-модели позволяют находить так называемые пространственно-временные коллизии [12], то есть ошибки планирования, которые практически невозможно найти непосредственно в календарно-сетевых графиках из-за большого объема и низкой степени наглядности последних.

Однако несмотря на появление новых средств визуализации строительства, следует отметить их недостаточное распространение в жилом и коммерческом строительстве. Согласно [13], при строительстве объектов жилого назначения технологии информационного моделирования используются в следующей пропорции:

- 2 % — для предпроектных работ;
- 67 % — для проектирования;
- 29 % — для строительства;
- 1 % — для эксплуатации.

В жилищном строительстве 18 % застройщиков применяют ТИМ, соответственно, 82 — не применяют [13]. Таким образом, подавляющее большинство российских застройщиков не используют потенциал ТИМ полностью, ограничиваясь применением информационного моделирования только на стадии проектирования.

При этом авторы [14] считают, что компании, овладевшие 3D-моделированием, находятся на первом уровне зрелости BIM, 4D — на втором и так далее.

Очевидно, что формирование и поддержка 4D-моделей невозможны без специализированного программного обеспечения. Сравнению программных комплексов и выбору оптимального посвящено много работ. Например, в [15] анализируется международный опыт использования различного программного обеспечения, такого как Autodesk Navisworks, SYNCHRO Pro, Powerproject BIM, BEHEL Manager и DELMIA. На основании метода экспертных оценок были определены величины интегрального критерия для всех перечисленных программных комплексов, рассчитанные по пяти функциональным параметрам.

Утверждается [15], что для управления строительством несложных объектов можно использовать Autodesk Navisworks (занявший пятое место из пяти), а при строительстве технически сложного объекта рекомендуется применение SYNCHRO Pro (первое место из пяти). Не сомневаясь в результатах полученного «рейтинга» программного обеспечения, отметим необходимость применения иного, актуального в наше время, подхода, который должен заключаться в формировании перечня необходимых для решения конкретных управленческих задач функциональных требований к программному обеспечению 4D-моделирования. Особенно это важно в сложившейся ситуации, когда иностранное программное обеспечение официально покинуло российский рынок и основной задачей стала разработка отечественных программных комплексов для визуализации процессов строительства. По состоянию на начало 2022 года данное программное обеспечение отсутствовало, однако несколько компаний осуществляют разработки и даже добились определенных успехов, например появился такой продукт как 7D Modeler.

Разработку российского программного обеспечения 4D-моделирования следует совмещать с формированием методики визуализации строительных процессов.

В практике известны пять уровней проработки 3D-моделей (Level of Development (LOD100-LOD500))² и четыре уровня детализации календарно-сетевого графика (L1-L4), рассмотренные в работе [4]. Исходя из данной логики, предложим синхронизированную детализацию 4D-моделей

² СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

строительства, так как эффективность визуального моделирования работ может быть обеспечена на разных фазах и этапах реализации строительного проекта. Например, в проекте реновации застроенной территории можно выделить следующие этапы, на которых разрабатываются 4D-модели:

1. Предпроектный анализ — охватывает территорию (квартал) целиком. На этом уровне управления необходимо показать очередность строительства новых объектов, расселение и снос существующих, сохраняемые объекты и участки переноса сетей инженерно-технического обеспечения. В этом случае 4D-модель (рис. 1) обеспечивает наглядность плана реализации проекта, как правило, рассчитанного на несколько лет, а обеспечивает проверку на пространственно-временные коллизии верхнего уровня. Потребителями такой 4D-модели могут быть представители застройщика, органы государственной власти и местного самоуправления, СМИ и жильцы домов на территории.

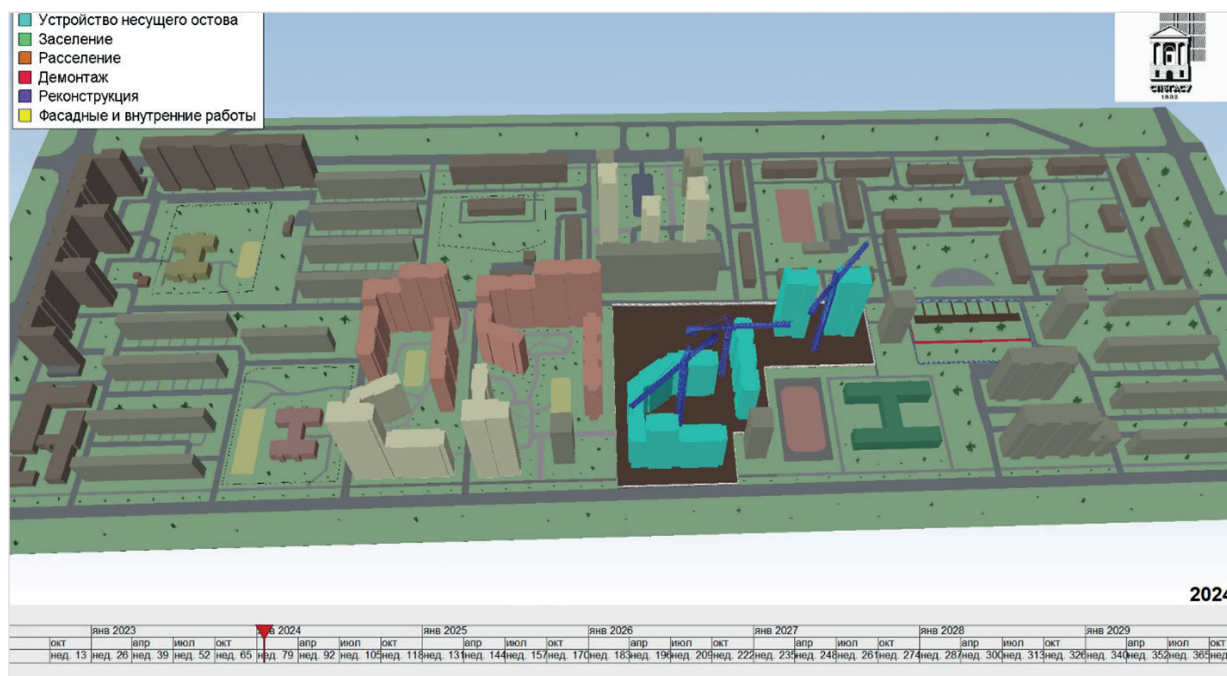


Рис. 1. 4D-модель первого уровня (уровня территории)

2. Разработка проектной документации, включая ПОС, на отдельную очередь проекта. Территория реновации разбивается на несколько очередей, каждая из которых представляет одну и, реже, несколько строительных площадок. На каждую стройплощадку формируется отдельная 4D-модель (рис. 2), которая увязывает «вертикальное» (строительство здания от фундамента до кровли) и «горизонтальное» календарное планирование (размещение различных объектов, включая дороги, сети ИТО, МАФ, БКТП и т. д.), а также размещение временных объектов бытового и производственного назначения на площадке.

3. Разработка организационно-технологической документации, включая ППР, на отдельный объект капитального строительства. 4D-модель данного уровня разрабатывается на отдельное строящееся здание, но более подробно. В качестве исходных данных выступает рабочая документация, должны быть более детально учтены внутренние работы (для этого используются инструменты «секущая плоскость» или «прозрачность»), проработано деление объекта на отдельные участки (захватки) для разных видов работ.



Рис. 2. 4D-модель второго уровня (уровня стройплощадки)

4. Разработка организационно-технических решений для отдельных строительных процессов. Как правило, данные решения отражаются на технологических картах, разрабатываемых применительно к конкретным объектам. 4D-модель должна визуализировать данные решения, помогая, тем самым, всем заинтересованным лицам найти оптимальные методы работ.

Требования к исходным данным для 4D-моделирования и к самим 4D- моделям разных уровней представлены в табл. 1.

Многоуровневая система 4D-моделей инициирует задачу автоматической синхронизации данных от родительской модели более верхнего уровня к ее дочерним моделям, расположенным ниже по иерархии. Данная задача требует программного решения, так как держать все данные по многоуровневой модели в одном файле с общим доступом нескольких пользователей невозможно из-за больших размеров такого файла [16].

Таблица 1

Уровень 4D-модели	Исходные данные		Объект 4D-моделирования	Используемые инструменты	Ответственный за моделирование
	Уровень 3D-модели	Уровень КСГ			
L1	LOD100, LOD200	L1	Территория	Визуальные профили (монтаж, временное использование, демонтаж)	Инвестор, застройщик
L2	LOD300	L2	Строительная площадка	Движение техники (3D-пути)	Проектировщик
L3	LOD400	L3	Здание или сооружение	Пользовательские визуальные профили, секущие плоскости, прозрачность, движение техники (3D-пути)	Застройщик, генподрядчик

L4	LOD400	L4	Строительный процесс	Направление развития процесса, движение техники (3D-пути), разделение 3D-элементов	Генподрядчик, подрядчик
----	--------	----	----------------------	--	-------------------------

Для снижения трудоемкости процесса 4D-моделирования необходимо заранее разработать и использовать систему кодирования 3D-элементов в разрабатываемой 3D-модели и элементов календарно-сетевого графика (т. е. работ). Это позволит использовать такой инструмент, как автоматическое связывание, который синхронизирует элементы 3D-модели и графика, имеющие один код.

Несмотря на то, что ответственные за разработку 4D-моделей разных уровней являются разными участниками строительного проекта, целесообразно, как показывает практический опыт и результаты интервьюирования экспертов, создать единого «владельца» 4D-модели внутри исполняющей проект организации (как правило, организации-застройщика). В этом случае необходимо уделить особое внимание требованиям к информационному обмену.

Выводы

В процессе анализа научной литературы и практического опыта 4D-моделирования (или визуализации процессов) строительства в нашей стране установлено отсутствие нормативно-законодательных требований и общепринятых методик. 4D-моделирование получило распространение при управлении строительством масштабных и технически сложных объектов, но в строительстве жилых и общественных зданий и их комплексов применение 4D-моделирования до сих пор крайне ограничено, несмотря на то, что применительно к данным объектам также вызывает эффект сокращения сроков и уменьшения стоимости строительства.

В настоящей работе предложена иерархическая структура 4D-моделирования, излагаются требования к самим 4D-моделям, а также к их исходным данным для каждого четырех уровней.

Статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»).

Библиографический список

1. Нечипорчук Я., Башкова Р. Краткий обзор 4D моделирования в строительстве // Архитектура. Строительство. Образование. 2020. С. 35 – 41.
2. Богданова О. В., Докудовская Д. И. Инновационные методы 4D моделирования в организации // Инженерный вестник Дона. 2018. №2. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_249_bogdanova_dokudovskaya.pdf_4af9893320.pdf (Дата обращения: 24.06.23).
3. Lucarelli M., Laurini E., De Berardinis P. 3D and 4D modelling in building site working control // 8th Intl. Workshop 3D-ARCH “3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures”, 6–8 February 2019, Bergamo, Italy / The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W. 2020. pp. 441 – 446.

4. Бовтеев С. В., Евстифеева Е. С. Методика формирования моделей визуализации строительных процессов // Системные технологии. № 2 (47). 2023. С. 66 – 73.
5. Бовтеев С. В. Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства // Вестник гражданских инженеров. № 2 (97). 2023. С. 65 – 74.
6. Болотин С. А., Дадар А. Х., Птухина И. С. Имитация календарно-сетевого планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7 (25). С. 82 – 86.
7. Игнатова Е. В., Эльшейх А. М. Составление 4D графика строительства на основе BIM // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 265 – 267.
8. Эльшейх А. М. Оптимизация графика строительства на основе генетических алгоритмов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 123.
9. Essam N., Khodeir L., Fathy F. Approaches for BIM-based multi-objective optimization in construction scheduling // Ain Shams Engineering Journal. 2023. № 14 (6). P. 102114.
10. Ahmadi P. F., Arashpour M. An analysis of 4D-BIM Construction Planning: Advantages, Risks and Challenges // Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction / ISARC: From Demonstration to Practical Use – To New Stage of Construction Robot. 2020. pp. 163 – 170.
11. Doukari O., Seck B., Greenwood D. The creation of construction schedules in 4D BIM: A Comparison of Conventional and Automated Approaches // Tradition and Innovation in Construction Project Management. — 2022. № 12 (8). — P. 1145.
12. Гущина Ю. В., Саушкин Д. А. Оптимизация календарных планов строительства на основе BIM-моделирования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». 2020. Вып. 4 (81). С. 438 – 447.
13. Уровень применения ТИМ застройщиками РФ при строительстве объектов жилого назначения. Центр компетенции по ТИМ. Цифровая академия. ДОМ.РФ. [Электронный ресурс]. URL: <https://наш.дом.рф/технологии-информационного-моделирования> (Дата обращения: 24.06.23).
14. Mozes T., Heesom D., Oloke D. Implementing 5D BIM on construction projects: Contractor perspectives from the UK construction sector. Journal of Engineering Design and Technology. 2020. Vol. 18.
15. Пименов С. И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. № 3 (67). 2022. С. 92 – 104.
16. Семенов В. А., Шуткин В. Н., Морозкин Н. К. Эффективный подход к 4D-визуализации масштабных строительных проектов и программ на основе иерархических динамических уровней детализации // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Международной научно-практической конференции; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. СПб.: СПбГАСУ. 2021. С. 385 – 393.

USAGE OF 4D MODELING FOR ORGANIZATION AND MANAGEMENT METHODOLOGY OF CONSTRUCTION OF FACILITIES AND THEIR COMPLEXES

S. V. Bovteev

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg

Abstract

It has been established that 4D modeling is actively used in the construction of large-scale and technically complex facilities, but has not yet received proper development in the organization of the construction of residential and commercial facilities and their complexes. The effectiveness of 4D modeling is ensured by increasing the level of coordination of various participants in a construction project, preventing errors and reducing construction risks, and thereby reducing the duration and cost of a construction project.

The modern problem is the withdrawal of foreign software from the Russian market and the need for an early import substitution of specialized software systems. For this purpose, functional requirements for 4D modeling software are being developed and refined.

The article proposes a multi-level structure of 4D modeling, formulates the requirements for the initial process of developing a 4D model and the requirements for 3D models and schedules as initial data for visualizing the construction process, which are necessary for the effective use of 4D modeling in modern construction practice.

The Keywords

building information modeling, 4D modeling, visualization of construction processes, schedule, construction

Date of receipt in edition

12.09.2023

Date of acceptance for printing

20.09.2023

Ссылка для цитирования:

С. В. Бовтеев. Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов. — Системные технологии. — 2023. — № 4 (49). — С. 61–69.