

## КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ 4D-МОДЕЛЕЙ

В статье представлены основные принципы 4D-моделирования и методы синхронизации календарно-сетевых графиков с BIM-моделями зданий и сооружений, рассмотрены основные эффекты 4D-моделирования в строительстве: контроль пространственно-временных коллизий, повышение безопасности выполнения работ, организационно-технологической надежности строительных проектов, информированности ключевых участников строительства.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** BIM, 4D-моделирование, календарно-сетевое планирование, календарно-сетевой график, визуализация строительства



**Бортсев Сергей Владимирович** — доцент Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (г. Санкт-Петербург)



**Колесников Сергей Викторович** — менеджер по интеграции информационного моделирования ООО «АИКОМ» (г. Санкт-Петербург)



**Шерстобитова Полина Андреевна** — ассистент BIM-менеджера ООО «АИКОМ» (г. Санкт-Петербург)

В настоящее время уже никого не удивляет применение специализированного программного обеспечения и информационно-коммуникационных технологий для управления сроками крупных и технически сложных строительных проектов. Современное программное обеспечение широко используется для планирования и контроля сроков работ и при строительстве жилой, коммерческой и промышленной недвижимости.

Календарно-сетевое планирование необходимо для решения задач по обеспечению своевременного завершения отдельных этапов работ и ввода объекта в эксплуатацию, координации по времени и месту всех видов ресурсов: рабочих, специалистов, машин и механизмов, материалов, для повышения степени информированности руководителей о реальном положении дел на строительстве объектов и их комплексов.

Наиболее часто для календарно- сетевого планирования и контроля строительства в России применяют такое программное обеспечение, как Microsoft Project, Oracle Primavera P6, Spider Project, все больший интерес у профессиональных

строителей вызывают Powerproject (ранее — Asta Powerproject) и применительно к линейно-протяженным объектам — TILOS. Однако перечисленные программные продукты не в полной мере могут обеспечить эффективное планирование работ на строительной площадке прежде всего из-за отсутствия визуализации принимаемых решений. Подавляющее большинство профессиональных программных продуктов календарно-сетевого планирования проектов, даже из числа тех, которые включают в себя очень мощный функционал для расчета параметров работ в сетевой модели и ресурсного планирования, не поддерживают никаких решений по визуализации календарно-сетевого графика. Одно из исключений — программное обеспечение Powerproject, которое предусматривает дополнительный модуль BIM (Building Information Modeling) для 4D-моделирования. Он позволяет «оживить» календарно-сетевые графики, предоставляя специалисту по планированию возможность видеть принимаемые им организационно-технологические решения не выходя из привычной среды.

Визуализация хода строительства достигается посредством синхронизации (т.е. «связывания») элементов 3D-модели с работами календарно-сетевого графика. В итоге получается 4D-модель, которая способна проверить график на так называемые пространственно-временные коллизии, что вполне может привести к внесению необходимых изменений в календарно-сетевой график (рис. 1). 4D-модель строительства объекта содержит информацию не только о том, какой объект должен быть построен, но и о том, как это необходимо сделать.

4D-модель практически невозможно разработать без специального программного обеспечения. В настоящее время существует ряд программных продуктов для 4D-моделирования, наиболее часто применяемыми из которых являются SYNCHRO Pro и Autodesk Navisworks. Если роль

Autodesk Navisworks состоит в первую очередь в анализе геометрических коллизий модели, то SYNCHRO Pro предоставляет больше возможностей для работы с пространственно-временными коллизиями:

- позволяет делить 3D-элементы на отдельные части для возможности выполнения работ по захваткам<sup>1</sup>;
- дает возможность создавать простые 3D-элементы, необходимые, в частности, для моделирования временных конструкций;
- включает в себя функционал «Визуальные профили», работающий более корректно, чем «Типы задач» в Autodesk Navisworks;
- позволяет учесть движение техники по объекту, а также показать направления выполнения отдельных строительных работ.

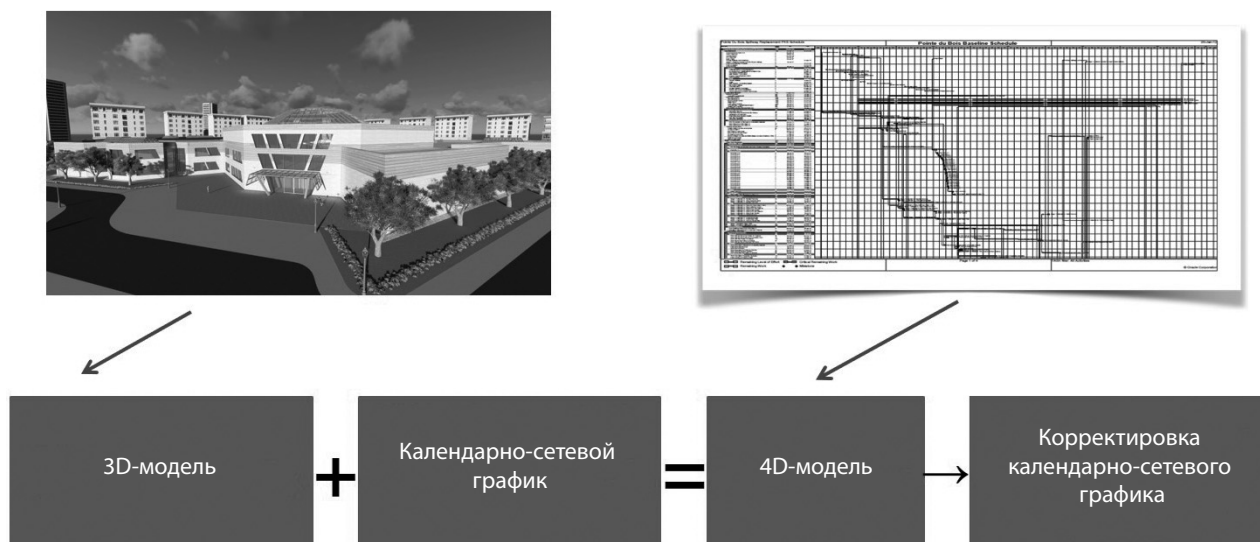
Программные продукты для 4D-моделирования обычно синхронизируются, с одной стороны, с системами планирования проектов, такими как Microsoft Project, Oracle Primavera P6, Powerproject, с другой стороны, с системами 3D-моделирования.

Корректировка плановых сроков работ в календарно-сетевом графике, а также учет фактических сроков выполнения работ оперативно находят отражение во всех известных системах 4D-моделирования. Если разработчик календарно-сетевого графика добавил новые и/или удалил запланированные ранее работы, то пользователь 4D-модели обнаружит эти изменения сразу после ее синхронизации с графиком, что вполне может потребовать пересмотра и изменения связей между элементами 3D-модели и работами обновленного графика, но совершенно точно не потребует переделки всей 4D-модели.

Рассмотрим подробнее, как развитие информационного моделирования на современном этапе, в частности 4D-моделирования, может существенно расширить возможности календарно-сетевого планирования (рис. 2).

<sup>1</sup> Захватка — часть здания или сооружения, в пределах которой повторяются схожие строительные процессы, имеющие примерно равную трудоемкость, состав технологических процессов и длительность работ. — *Прим. ред.*

Рис. 1. Принципиальная схема 4D-моделирования строительства



1. *Контроль пространственно-временных коллизий*, т.е. пересечений между отдельными элементами с учетом фактора времени, которые постоянно наблюдаются в строительном процессе. Это позволяет учитывать даже такие тонкие моменты, как выполнение трудовыми ресурсами работ на определенном участке строительной площадки, где, возможно, в тот момент времени не могут располагаться необходимые для производства данных работ машины и оборудование или отсутствует готовность строительных конструкций. Таким образом появляется возможность эффективно и правильно формировать захватки и грамотно распределять ресурсы.

В качестве иллюстрации можно упомянуть о проекте, где задачей компании «АИКОМ» было управление строительством системы водохранилищ. В соответствии с разработанным проектом резервуар состоял из бетонных плит по грунту (более 30 000 плит). Согласно технологическим картам процесса заливки была поставлена задача

составить план заливки в шахматном порядке, обеспечив при этом беспрепятственный проезд строительной техники с любой стороны к каждой из захваток на участке. При этом заказчик просил задействовать максимально возможное количество персонала, машин и механизмов.

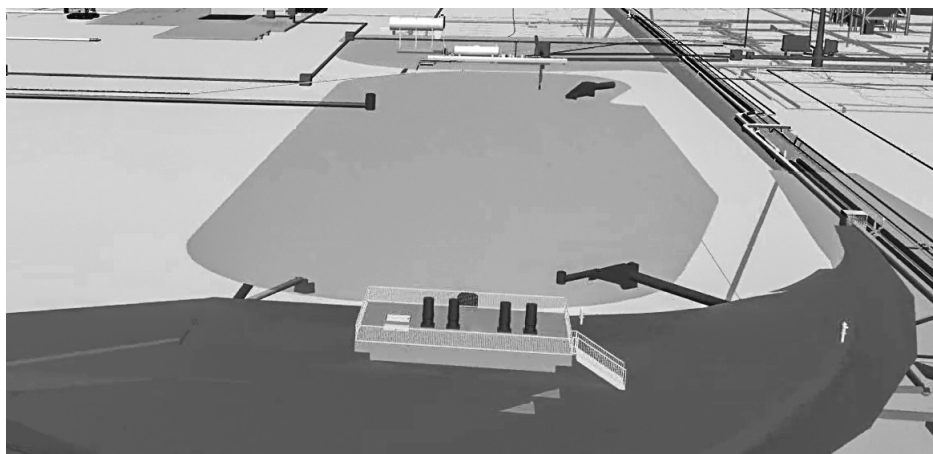
Изначально график производства работ был разработан в Oracle Primavera P6, но только благодаря преобразованию его в четырехмерную модель за счет совмещения с 3D-моделью строительства в среде SYNCHRO Pro (рис. 3, 4) были получены дополнительные возможности для анализа модели и графика. После этого были замечены ошибки, допущенные при планировании, и найдены оптимизационные решения, которые помогли уменьшить продолжительность заливки более чем в три раза по сравнению с первоначальным планом.

2. *Повышение безопасности строительных процессов*. Многие строительные компании, в том числе и «АИКОМ», очень трепетно относятся

Рис. 2. Принципы и выгоды 4D-моделирования в строительстве



Рис. 3. Визуализация строительства системы водохранилищ в 4D-модели



**Рис. 4.** Моделирование путей движения строительных машин



к обеспечению безопасности работ на площадке. Одной из важных задач на каждом проекте для них всегда является определение зон перегруженности и возможных пересечений работ.

Благодаря 4D-моделированию можно отслеживать опасные зоны, где в случае возникновения нештатной ситуации могут пострадать люди, и все работы планировать с обязательным учетом требований безопасности, причем учитываются не только сами работы, но и пути движения персонала по стройплощадке, которые не должны пересекаться, например, с траекториями перемещения грузов кранами.

На 4D-моделях отслеживаются и отображаются области потенциальной опасности, такие как зоны возможного падения с высоты, поражения электрическим током, ограниченное пространство или любая запретная зона с повышенным риском для персонала. Все это помогает ответственным за строительство лицам своевременно учитывать особенности ведения работ и заранее предотвращать несчастные случаи.

Рассмотрим пример: работы на кровле, при производстве которых существуют риски падения с высоты из-за не установленных ограждений

(рис. 5). Благодаря 4D-моделированию можно выделить опасные места предупреждающими знаками (рис. 6). Это позволяет специалистам из группы по охране труда отследить опасные зоны и принять меры по недопущению падения рабочих с высоты. После установки ограждения предупреждающие знаки удаляются (рис. 7).

*3. Повышение надежности, предсказуемости и качества строительных проектов.* Объединение календарно-сетевых графиков и модели здания позволяет проверить как визуально, так и с помощью специальных инструментов, насколько верно прошел (или был запланирован) процесс его возведения. С помощью классификатора можно привязать каждый конструктивный элемент, оборудование и т.д. к соответствующей вехе графика и сформировать укрупненный или детальный календарно-сетевой 4D-график производства работ. Далее можно просмотреть анимационный видеоролик, представляющий весь процесс строительства в динамике, с возможностью делать паузы и писать заметки, выявлять нестыковки или пути оптимизации общего процесса.

*4. Повышение информативности в целях эффективного управления проектами.* 4D-модели способны «оживлять» календарно-сетевые графики и позволяют использовать их в качестве эффективного средства управления многими параметрами проекта, например для оценки освоения денежных средств по периодам реализации проекта методом управления освоенным объемом (рис. 8) или для планирования и графического отображения загрузки персонала. На рис. 9 показан график движения трудовых ресурсов, работающих с выделенными в 3D-модели элементами в выбранный период времени.

Для уменьшения трудоемкости разработки 4D-модели важно заранее разработать корректные технические задания на подготовку BIM-модели объекта и на формирование календарно-сетевых графиков и учесть их в ВЕР. Например, если на элементы BIM-модели и на работы графика назначены заранее согласованные коды (классификаторы), то трудоемкость разработки 4D-модели

Рис. 5. Обозначение опасных зон на кровле на 4D-модели

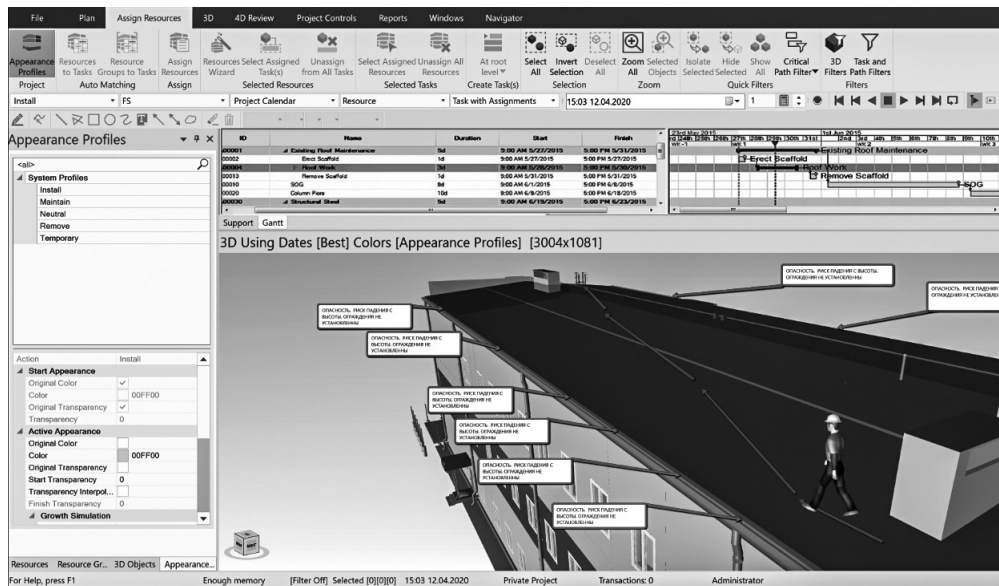


Рис. 6. Выделение опасных зон предупреждающими знаками

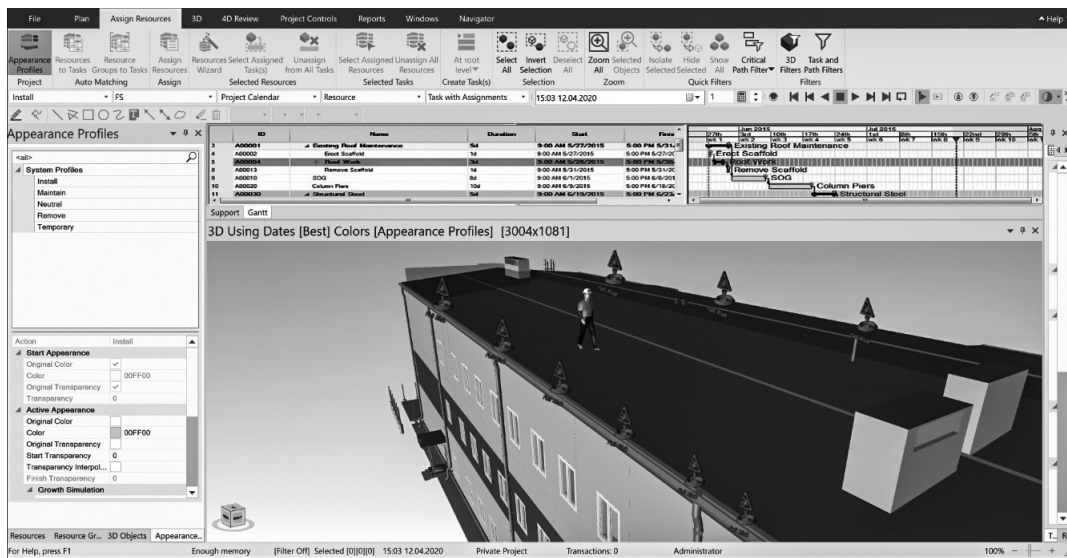
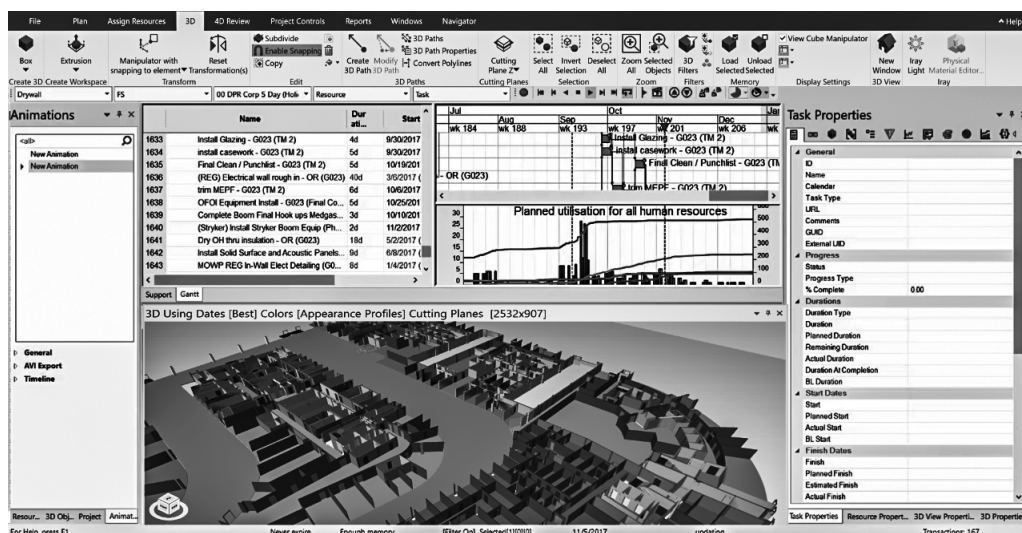




Рис. 9. График загрузки персонала в 4D-модели



минимизируется по времени и может составить буквально несколько человеко-минут.

В результате перехода к 4D-моделированию строительства можно ожидать получения следующих выгод:

- календарно-сетевые графики строительства становятся корректными, грамотными, тщательно проверяются всеми заинтересованными лицами, внешними и внутренними по отношению к проекту; графиками вполне можно пользоваться как эффективным инструментом управления;

- критически значимые строительные процессы прорабатываются до начала, а не во время работ, тем самым уменьшаются вероятность и последствия наступления рисков проекта;

- ход строительства оптимизируется за счет анализа альтернатив.

4D-визуализация различных вариантов позволяет не только проверить выполнимость принятых организационно-технологических решений, но и сравнить несколько альтернатив и выбрать оптимальные способы производства работ, что приводит к экономии времени, трудовых и финансовых ресурсов.

Для каждого участника проекта несмотря на их разные цели и ожидания, как правило, строительство — это существенные финансовые вложения, которые можно спрогнозировать и сократить еще на этапе проектирования (в том числе организационно-технологического). Один из ключевых инструментов для оптимизации — 4D-моделирование, которое стало доступным благодаря развитию информационного моделирования.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Бовтеев С.В. Применение 4D моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы III Международной научно-практической конференции. — СПб.: СПбГАСУ, 2020. — С. 81–87.
2. Петроченко М.А., Шерстобитова П.А., Мацкина М.Л. BIM 4D: Naviswork Manage и Synchro Soft // Управление проектами: идеи, ценности, решения: Материалы I Международной научно-практической конференции. — СПб.: СПбГАСУ, 2019. — С. 152–157.
3. Трофимова Л.А., Трофимов В.В. Реализация стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ на основе информационного моделирования промышленных и гражданских объектов // Современное строительство и архитектура. — 2017. — №1(05). — С. 31–35.
4. Jupp J. (2017). «4D BIM for environmental planning and management». *Procedia Engineering*, Vol. 180, pp. 190–201.
5. Zhang J.P., Hu Z.Z. (2011). «BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies». *Automation in Construction*, Vol. 20(2), pp. 155–166.