

РАСШИРЕНИЕ БИМ МОДЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Девятков Т.В.

*ООО «Элина-Компьютер»,
Россия, г. Казань, ул. Толстого д. 16а
the-9th@yandex.ru,*

Девятков В.В.

*Институт прикладных исследований АН РТ,
Россия, г. Казань, ул. Баумана д. 20,
КНИТУ-КАИ,
Россия, г. Казань, ул. К. Маркса д. 10
vladimir@elina-computer.ru,*

Габалин А.В., Шувалов К.И.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д.65
gabalina@bk.ru, kshuvalov@yandex.ru*

Аннотация: Рассматривается методика совместного использования БИМ и имитационного моделирования. Отмечается возрастающая роль БИМ в строительных проектах и слабым управлением в БИМ моделировании. Предлагается дополнить возможности БИМ в части управления использованием различных имитационных моделей логистики и эвакуации.

Ключевые слова: имитационное моделирование, информационная модель здания, имитационное исследование, пешеходная логистика, транспортная логистика, модель эвакуации.

Введение

Имитационное моделирование (далее ИМ) может широко применяться в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий. Возможности и эффективность имитационного моделирования в строительной сфере подтверждаются многими успешными применениями [1], [2], [3]. На практике, широкое применение ИМ в этой области ограничивалось многими факторами и, прежде всего, вычислительной сложностью таких моделей и отсутствием ранее полной нормативной базы [4].

Чрезвычайно важным фактором является появление в России законодательной нормы об обязательном применении информационной модели объекта капитального строительства - Building Information Model или Building Information Modeling (далее, БИМ модель).

С 1 января 2022 года формирование и ведение БИМ моделей становится обязательным для заказчика, застройщика, технического заказчика, эксплуатирующей организации, если на этот объект выделены средства «бюджетов бюджетной системы Российской Федерации» [5]. Таким образом, информационное моделирование становится обязательным для всех объектов государственного заказа - от федеральных до муниципальных, вне зависимости от их стоимости. Учитывая важность и необходимость таких моделей для скорости и качества строительства, они также активно используются в строительстве, финансируемом бизнесом.

Все это дает возможности для значительного расширения применения ИМ, так как существовавшее ранее состояние не позволяло проектным и строительным организациям в полной мере использовать возможности ИМ. Во-первых, не было СНиП и ГОСТов, которые позволяли бы включать данный тип работ в техническое задание. Существовал лишь целый ряд устаревших аналитических методик оценки логистики в проектных решениях, которые чаще всего использовались. Во-вторых, при проведении экспертизы выводы и рекомендации имитационных исследований не принимались во внимание.

Основное внимание в данной статье сосредоточим на дополнении технологии БИМ моделирования в строительстве новыми возможностями за счет ИМ.

1 От статической БИМ объекта к динамике ее функционирования

Автоматизация строительной области увеличивалась параллельно с появлением новых информационных технологий и повышения вычислительной мощности компьютеров. Постепенно, из отдельных программ и моделей, сформировалась комплексная информационная модель в виде концепции, подобной современной БИМ модели [6]. Современным лидером и разработчиком

основных программных инструментов BIM моделирования является компания Autodesk, прошедшая путь от автоматизации чертежей до BIM моделей [7].

В современном понимании, BIM модель может рассматриваться, как цифровой двойник строящегося здания (оборудования, материалов, цен, сроков и т.д. в едином пространстве, а также связей и отношений между ними) либо как процесс информационного моделирования и управления зданием в течение всего жизненного цикла объекта – от возведения, оснащения, эксплуатации, ремонта и, возможно, его сноса.

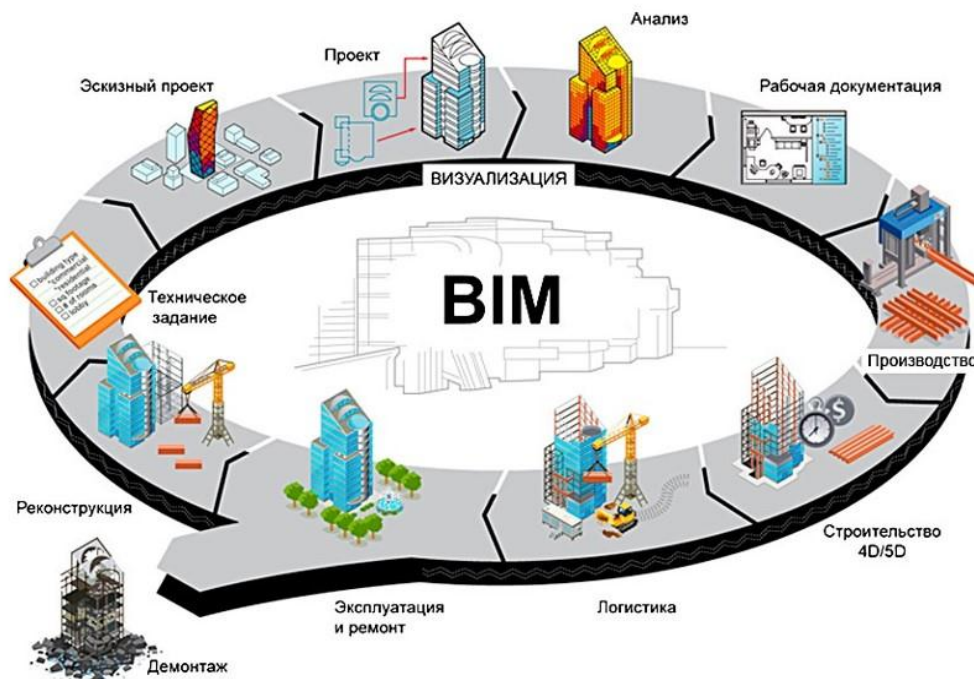


Рис. 1. Концепция BIM

В подходе, представленном Autodesk [8], BIM модель, например, здания - значительно шире 3D измерений (ширина, высота и глубина). В качестве четвёртого измерения модели вводится время (4D) и стоимость, в качестве пятого (5D). Естественно, что концепция BIM моделирования развивается. Совсем недавно стало практиковаться введение еще большего числа измерений – в шестом измерении (6D) аспекты окружающей среды и устойчивости зданий, в седьмом измерении (7D) управление объектами в течение всего срока службы. Впрочем, существуют и другие определения этих измерений.

Таким образом, BIM моделирование — это больше, чем просто геометрия здания или сооружения. Оно учитывает множество, важнейших для строительства факторов. Процесс построения BIM модели подобен структурному программированию. Он включает в себя различное структурное представление «объектов», которые несут свою геометрию, отношения и атрибуты. Инструменты проектирования BIM моделей позволяют извлекать различные виды информации об материалах, технологии, сроках и ценах из модели здания для создания чертежей, планов строительства, смет и других целей. Программное обеспечение BIM моделей определяет объекты, как множество параметров и отношения с другими объектами, поэтому, если в связанный объект вносятся изменения, зависимые объекты также автоматически изменяются.

BIM модель создается в процессе проектирования (дизайнерами, архитекторами, технологами) и последовательно передается от команды разработчиков - генеральному подрядчику и субподрядчикам, а затем на эксплуатацию здания - собственникам или операторам. При этом, на каждом уровне добавляются или корректируются данные в рамках единой информационной модели. Это позволяет уменьшить потери и дублирование информации и, в целом, BIM предоставляет значительно больший объем знаний об объекте всем участникам проекта.

В данный момент, преобладает использование BIM моделей на стадии проектирования (перед другими стадиями). Это в большей степени видно из пятёрки наиболее популярных программных средств — Revit [9], ArchiCAD [10], Tekla [11], Renga [12], Infracore [13]. Все они нацелены, в первую очередь, на создание BIM-моделей, а не управление ими. И любое дополнение новых

функций, обеспечивающих управление, в том числе и прогнозное управление с использованием имитационной модели, исключительно важно.

В данной работе предлагается расширение возможностей БИМ моделей за счет использования ИМ.

ИМ позволяет «оживить» БИМ модель, наполнить ее динамическими объектами (людьми, транспортными средствами и другим движущимся оборудованием) и продемонстрировать соответствует ли проект своему функциональному предназначению. ИМ позволяет ответить на вопросы: «Работоспособен ли проект?», «Заложенные характеристики пропускной способности и производительности соответствуют ли техническому заданию?», «Как повлияет то или иное изменение?».

В качестве основных можно выделить следующие задачи:

- оценка решений по пешеходной логистике внутри здания;
- проверка транспортной логистики внутри и вокруг здания;
- планирование выполнения и контроля строительных работ;
- анализ вариантов возможных изменений по логистике;
- проверка детальных 2D или 3D схем эвакуации в различных чрезвычайных ситуациях.

Задач этих может быть значительно больше. Все они относятся к управлению БИМ моделью и позволяют сделать количественную оценку работоспособности проекта в динамике. Отдельные применения ИМ в строительстве уже приводились. Нами апробировано использование ИМ в задачах строительства уже с БИМ моделями при проектировании: музея «Атомной энергии» на ВДНХ, большого бизнес-здания для крупной корпорации, анализ логистики целлюлозного завода в процессе разработки генерального плана проекта и модернизации технологических процессов внутри зданий существующего судостроительного предприятия. Рассмотрим более детально методику использования ИМ, совместно с БИМ моделью, на основе указанных практических примеров.

2 Методические особенности совместного использования БИМ и ИМ

Имитационная модель имеет смысл и приносит практическую пользу только тогда, когда четко поставлена задача исследования и имеются исходные данные. В случае, когда моделируется строительный проект, то наибольший объем данных дает БИМ модель. В методическом плане, исследование с использованием имеет те же этапы, что при любых других применениях: детальное обследование и формализация системы; постановка цели и задач моделирования; сбор, систематизация и анализ исходных данных; разработка модели; планирование сценариев исследования и проведение экспериментов; разработка отчета, формулирование выводов и рекомендаций по исследованию.

Неудобством является то, что БИМ модель содержит слишком много данных, в основном не используемых в ИМ, но значительно «утяжеляющих модель». Поэтому, на этапе 3 «Сбор, систематизация и анализ исходных данных, необходимых для исследования системы» для последующей 3D визуализации процессов на этапе 4, необходимо провести работу по упрощению используемой БИМ модели. Это сложный, трудоемкий и слабо автоматизированный процесс – ручная работа с БИМ моделью для удаления не нужных слоев и объектов.

Имитационное исследование, для всех четырех примеров, проводилось в среде моделирования GPSS Studio [14]²⁸. Также, специально для визуализации «облегченной» БИМ модели и для «оживления» динамических процессов внутри ее, был создан сервис анимации с использованием платформы 3D визуализации UNITY [15]. На этапе 5 пользователь, после проведения каждого эксперимента получал анимационный ролик за необходимый период моделирования. Затем этот ролик мог использоваться, как для дополнительного тестирования функционирования системы (здания), так и для анализа и оценки полученных результатов.

28 GPSS STUDIO [126734] включена в Реестр по Приказу Минкомсвязи РФ от 05.07.2018 №347, Приложение 1, №пп.83, реестровый № 4615

3 Примеры исследования пешеходной логистики зданий

3.1 Исследование работы с посетителями строящегося музея

Необходимо было создать имитационную модель музея в павильоне «Атомной энергии» на ВДНХ и оценить справится ли музей с планируемыми нагрузками посетителей.

На основе предоставленной БИМ модели музея, выполненной в системе Revit, была проведена работа по доработке и упрощению модели. Были убраны ненужные для имитационной модели слои и конструкции:

- Для того, чтобы лучше можно было анализировать пешеходную логистику по музею - на этажах, на эскалаторах, лестницах, лифтах, в местах обслуживания.
- Для того, чтобы модель не тормозилась, а анимация работала быстро. Фрагмент БИМ модели процесса обслуживания посетителей после обработки (2D модель одного из этажей), представлен на рис. 2.

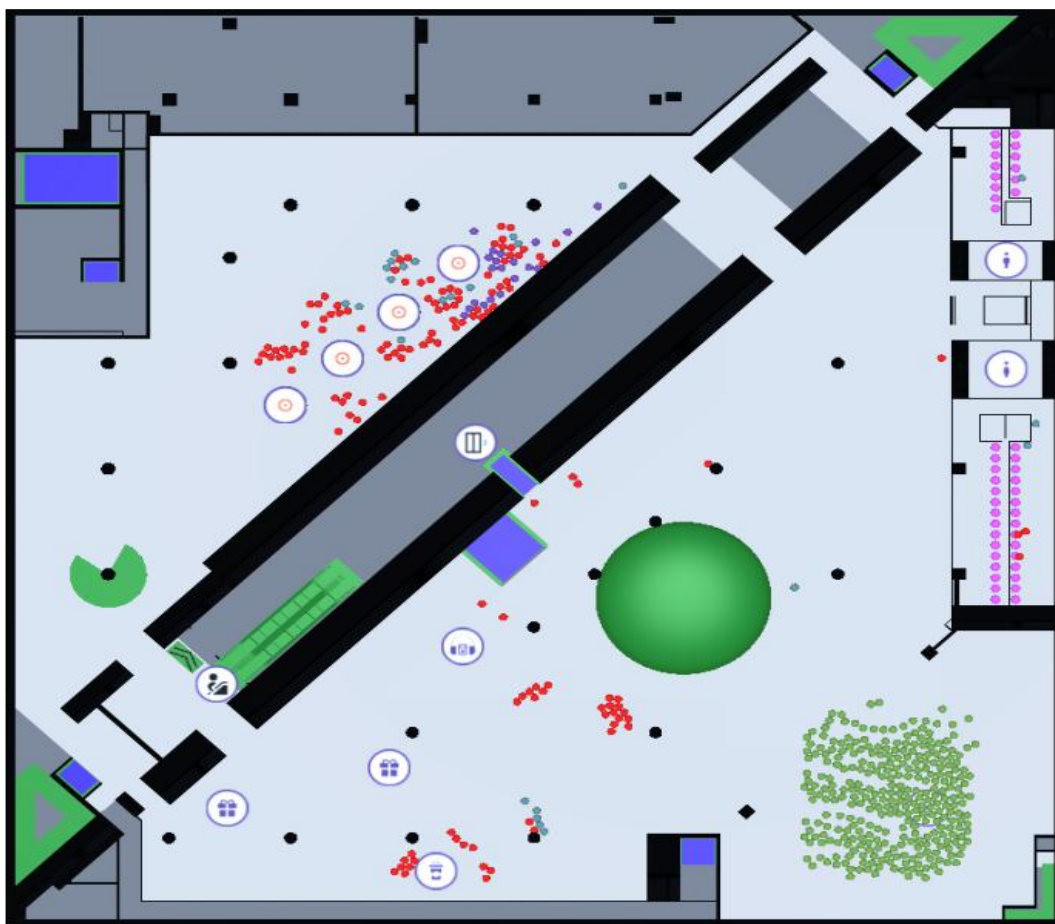


Рис. 2. 2D проекция потоков посетителей на одном из этажей

В результате моделирования, были количественно подтверждены заявленные характеристики пропускной способности здания, предложена наилучшая схема осмотра всех экспозиций и выявлены «узкие места» логистики системы (например, обслуживание в гардеробе и обзор экспозиции на одном из этажей). Данные рекомендации были учтены при реализации проекта и позволили избежать существенных переделок и перепланировок в здании, а также удалось подобрать соответствующие характеристики оборудования автоматизированных гардеробов.

3.2 Исследование функционирования проекта крупного офисного центра

Ставилась задача прогнозирования работы проектируемого бизнес-центра одной из госкорпораций при различных вариантах организации контроля доступа при входе в здание сотрудников и посетителей, для проведения конференций, своевременного обслуживания всех желающих в столовых и ресторанах комплекса, организованного и без очередей, выхода сотрудников из здания по окончании рабочего дня.

Заказчиком была предоставлена BIM модель, для которой, как и в предыдущей модели, было проведено ее значительное упрощение. В рамках поставленной задачи была разработана имитационная модель, с использованием сервиса анимации и проведено детальное имитационное исследование системы. Фрагмент анимации функционирования системы, приведен на рис. 3.



Рис. 3. Процесс входа в здание

Кроме анализа анимации была проведена и количественная оценка всех логистических процессов системы контроля входов, лифтов, лестничных пролетов, обслуживания в обеденный перерыв и т.д. Результаты представлялись в графическом виде и табличном виде.

По завершении исследования были сформулированы рекомендации для внесения изменений в проект по количеству и типам оборудования контроля доступа, для составления графика прихода на работу (и обеденное время) для сотрудников различных компаний, по обеспечению равномерной загрузки лифтов, времени проведения и длительности мероприятий в конгресс-центре и другое. Многие рекомендации, например, по составу и параметрам оборудования контроля доступа, в дальнейшем были учтены в проекте.

4 Пример исследования производственных систем с использованием BIM модели

Для строящегося целлюлозного завода для проекта генерального плана проекта необходимо было оценить систему производственной логистики - варианты организации маршрутов транспортных средств, различные технологии погрузочных и разгрузочных работ, характеристики и количество используемого при этом оборудования.

Масштаб исследуемой логистической системы завода был очень большим. Требовалось разработать графики бесперебойного завоза лесоматериалов для завода – круглого леса и технологической щепы для обеспечения производства 1,5 млн. тонн целлюлозы в год. А это поступление, прием и разгрузка более 7 млн. куб. м³ лесоматериалов в год. Также необходимо было обеспечить возможности ежедневной отгрузки готовой продукции. Каждый день по железной дороге поступало четыре железнодорожных состава леса, два состава щепы, множество вагонов с химией и другими материалами. Кроме этого, лесоматериалы и готовая продукция поставлялись и отгружались автотранспортом (несколько сотен машин в день) и водным транспортом (минимум по две баржи в день).

В первую очередь была проведена формализация системы в виде алгоритмов и иерархической структурной схемы. Далее была разработана имитационная модель и на ее основе было сконструировано имитационное приложение для проведения исследования. В отличие от двух предыдущих моделей, Заказчиком исследования BIM модель не была представлена. Поэтому, она была создана в процессе работы самим Исполнителем из имеющегося у Заказчика чертежа генерального плана. В состав модели вошли контуры всех зданий и сооружений предприятия, сеть железнодорожных путей и автомобильных дорог, пункты пропуска и контроля качества, автомобильные парковки и т.д. Также была осуществлена ее привязка к геокоординатам местности.

Выбор маршрутов следования автомобильного транспорта осуществлялся в рамках определенной генеральным планом транспортной схемы оптимальным образом по минимальному расстоянию.

Созданная БИМ модель была интегрирована в сервис анимации приложения. По результатам моделирования анализировался жизненный цикл всех транспортных средств и погрузчиков: выявлялись возникающие очереди, оценивался уровень загрузки оборудования, фиксировались простои и т.д.

В процессе исследования было проанализировано множество вариантов построения логистики предприятия и технологических процессов, в том числе и определение оптимального количества оборудования и транспортных средств. Важной группой показателей, по которым оценивался тот или иной вариант технологии, являлись таблицы капитальных и операционных затрат CAPEX/OPEX, которые вычислялись для каждого варианта. Пример, такого расчета, приведен в табл. 1.

В результате проведенного имитационного исследования были выделены и количественно проанализированы «узкие места» системы логистики, например, зависимость ритмичной работы предприятия от соотношения объемов поставок различными видами транспорта. Также были сформулированы рекомендации по выбору технологий разгрузочных и погрузочных работ, разработаны графики годовых и суточных поставок лесоматериалов различными видами транспорта, проведено экономическое сравнение технологий.

Таблица 1 «Сравнительные показатели CAPEX/OPEX»

CAPEX/OPEX технологии разгрузки щепы (по отличающимся в вариантах параметрах)	
CAPEX	
Стоимость погрузчика (руб)	67943268
Количество погрузчиков в моделируемый период	1
Процентная ставка по кредиту	9%
Затраты по CAPEX (руб)	6114894,12
OPEX	
Стоимость эксплуатационных расходов погрузчика за 1 час (руб)	155,12
Время использования погрузчика за моделируемый период (мин)	800,00
Сумма затрат на эксплуатацию погрузчика за моделируемый период (руб)	2 068,29 □
Размер оплаты за час превышенного регламента времени пребывания одного вагона с щепой (руб)	0,00
Общее количество вагонов с щепой за моделируемый период	31,00
Регламентное время пребывания одного вагона с щепой на территории предприятия (мин)	60,00
Общее время пребывания всех вагонов с щепой на территории предприятия за сутки (мин)	1471,03
Время простоя вагонов со щепой на территории предприятия за моделируемый период (мин)	0,00
Сумма затрат на оплату времени превышения регламента пребывания вагонов с щепой в моделируемый период (руб)	0,00
Затраты по OPEX (руб/год)	754925,20

Заключение

Опыт применения показал эффективность комплексного использования технологий BIM моделирования и имитационного моделирования. Эти две технологии органично дополняют друг друга. BIM – недостающими исходными данными, ИМ – позволяет «оживить» 3D модели и наполнить их динамикой будущего использования зданий и сооружений. Это позволяет расширить компетенции разработчиков BIM моделей и повысить качество проектов в части логистики их функционирования.

В дальнейших планах, проведение углубленной интеграции обоих подходов и упрощению использования BIM модели в процессах имитации. Также необходимо особое внимание уделить разработке моделей эвакуации и управления этими программами в процессе эксплуатации зданий.

Литература

1. *Jim Jacoby* 4D BIM or Simulation-Based Modeling // Structure magazine, April 2011. – P. 17-18.
2. *Гаряев Н.А., Рыбина А.В.* Имитационная модель материально-технического обеспечения строительных объектов. — Системные технологии, 2018, № 26. — С. 142-149.
3. *Кожмякина О.П., Гусева Е.Н.* Применение имитационного моделирования для совершенствования деятельности строительной фирмы // Современная техника и технологии. - 2015. - №6 [Электронный ресурс]. URL: <https://technology.snauka.ru/2015/06/7094> (дата обращения: 12.08.2021)
4. *Девятков В.В.* Эволюция имитационных исследований от «искусства и науки» к массовому применению // Труды восьмой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2017.– Спб.: Изд-во ВВМ, 2017. – С. 27-36.
5. Постановление правительства № 311 от 5 марта 2021 года «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций и (или) лицом ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства обеспечиваются формирование и ведение информационной модели капитального строительства». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026> (дата обращения: 12.08.2021)
6. *Ruffle S.* Architectural design exposed: from computer-aided-drawing to computer-aided-design. — Environments and Planning B: Planning and Design. — 1986 March 7. — p. 385—389.
7. Официальный Сайт компании Autodesk. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.ru/> (дата обращения: 12.08.2021)
8. "Autodesk (2002). Building Information Modeling. San Rafael, CA, Autodesk, Inc" (PDF). laiserin.com
9. *Рид Ф.* Официальный учебный курс AUTODESK REVIT ARCHITECTURE. – М.: ДМК-Пресс, 2016. – 312 с.
10. *Малова Н.А.* ArchiCAD 20 в примерах. Русская версия. – БХВ-Петербург, 2017. - 576 с.
11. Системный курс изучения Tekla Structures 2015 г. — 429 стр.
12. Проектирование зданий и сооружений в Renga Architecture. – Спб: АСКОН, 2016. – 82 с.
13. *Chappell Eric* Autodesk Drainage Design for InfraWorks 360 Essentials. – Sybex; 2nd edition (August 17, 2015). - 120 p.
14. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. Пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. — М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. — 283 с.
15. *Хокинг, Джозеф.* Unity — в действии. Мультиплатформенная разработка на C# : [рус.]. — 2-е изд. — СПб: Питер, 2016. — 336 с.