DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13

*Оцоков К.А. *, кандидат технических наук, доцент,
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет, Россия*
*Ответственный автор E-mail: Otsokov@yandex.ru

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЯХ

Аннотация: цель статьи заключается в анализе современных инновационных технологий в строительстве и разработке методики сетевого планирования в строительстве на основе BIM-модели.

Четко определенная цель позволяет выявить основные задачи, направленные на ее реализацию:

- анализ практического и теоретического опыта в области инновационных технологий на различных стадиях строительного производства;
- выявление направления исследования и теоретическое обоснование выбранного направления;
- обоснование практической эффективности выбранных направлений;
- определение перечня инновационных методов, служащих основой для дальнейшего анализа и полученных выводов;
- проектирование системы сетевого планирования объекта на основе BIM-технологий и сетевого проектирования.

В работе планируется показать алгоритм операций по применению календарного планирования на объектах массовой застройки, адаптированный для различных ситуаций.

Проведенная исследовательская работа позволяет выявить преимущества использования информационного моделирования зданий для стадии эксплуатации объекта, разработанная базовая методика организации функциональных процессов может способствовать усовершенствованию устоявшейся системы эксплуатации жилищного фонда. На опыте данного исследования возможно развитие данной тематики в области сетевого планирования и внедрения на практических объектах.

Ключевые слова: строительство, инновация, BIM-технология, строительный подрядчик, автоматизация

Введение

По мере того как национальные и глобальные экономики продолжают переживать взлеты и падения в этом десятилетии, возрастает потребность в новых инновационных технологиях в строительной отрасли. В данной статье рассмотрим современные нововведения, которые помогают на сегодняшний день при строительстве зданий и сооружений.

- Дроны и БПЛА

Беспилотные летательные аппараты, обычно называемые БПЛА, – это летательные аппараты, управляемые с помощью удаленного устройства или компьютера. Как правило, БПЛА управляются вручную или могут быть автоматизированы с использованием заранее заданной траектории полета. Беспилотники помогают в строительстве, делая аэрофотоснимки и создавая карты и 3D-изображения, которые в конечном счете помогут отслеживать ход проекта.

Uplift Data Partners – это сервис, который считывает данные с дронов, которых запускают над участком строительства и собирает данные на каждом этапе процесса. Uplift получает информацию от измерений дронов, чтобы помочь предотвратить распространенные строительные ошибки при выравнивании площадки, конкретной компоновке фундамента, отслеживании качества и проверке выполнения процесса строительства [1-5].

- Автоматизированное проектирование (САПР).

В прошлом архитекторы, чертежники, мастера-каменщики и строители создали некоторые из самых величественных зданий в мире, используя методы проектирования и строительства, которые были инновационными для своего времени.

В течение нескольких столетий эти методы оставались в основном неизменными. Однако во второй половине 20-го века появился автоматизированный дизайн (САПР), который безвозвратно изменил принципы строительства – впервые стали видны ошибки уже на этапе проектирования.

Ранее вопросы ориентирования коммуникаций, электрических кабелей и высоковольтных проводов переменного тока, например, конкурирующие за одно и то же физическое пространство, были серьезной проблемой для архитекторов и строителей, с их двумерными планами и чертежами строительных разрезов [6, 7].

- Информационная модель здания (BIM)

В то время как CAD-системы значительно упростили работу для проектировщиков, управление информацией о строительстве (BIM) оказалось универсальным средством удаленной коммуникации, позволяя архитекторам, инженерам, подрядчикам и субподрядчикам сотрудничать над различными деталями проектирования и строительства с использованием одной и той же базы данных и компьютерной модели.

Как известно специалистам по механике, электрике и сантехнике (MEP), BIM включает в себя все задействованные стороны проекта, работающие совместно над подробной 3D-моделью, которая включает в себя все функциональные системы здания, такие как отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (HVAC) и электрические установки, а также компоновку стен, окон и крыш.

Поскольку BIM – это совместный процесс от начала до конца, он позволяет всем сторонам, работающим над проектом, визуализировать и анализировать проектные решения, а также выявлять огрехи и другие ошибки, прежде чем начать работу на практике.

Для строительных подрядчиков совместная работа экономит бесчисленные ресурсы, поскольку строительство не начинается, пока каждая сторона не представит свои проекты, гарантируя, что ошибки и несогласия будут обнаружены и устранены быстро, легко и раньше, чем начнется отрыв котлована [9-11].

-Изготовление вне объекта (удаленное производство).

Сборка больших сложных компонентов по частям на месте может быть трудной. Возможность производства за пределами объекта значительно повысил эффективность этого процесса.

Например, массивный теплообменник, изготовленный на территории поставщика, не только прибывает на место, готовый к подключению, но и выиграет от лучшей комплектации деталей и материалов, что повысит эффективность и производительность. Окупаемость инвестиций возрастает, а экономические риски и неэффективность снижаются [8].

Огромная экономия времени достигается в том случае, когда такие компоненты, как теплообменники, насосные агрегаты, компрессоры и приборные панели изготавливаются в цехе, а не на месте, прибывая на строительную площадку уже готовым к соединению.

- Модульная конструкция.

Это не только компоненты, подобные тем, что упомянуты выше, которые теперь могут быть изготовлены вне объекта – целые здания или их части могут быть также построены удаленно.

Модули изготовлены из тех же материалов и спроектированы по тем же стандартам, что и здания, построенные на месте, но они наносят намного меньший вред окружающей среде. Компоненты доставляются на строительную площадку по мере необходимости.

Сегодня, поскольку примерно 70% строительства в развитых странах производится в виде цельных модулей, это позволяет скорректировать календарный план строительства в сторону сокращения сроков, а также экономит расходы на транзит и минимизирует отходы.

- Мобильные средства

Мобильные технологии изменили строительную индустрию несколькими способами. Для строительных подрядчиков одним из самых главных удобств является улучшение управления проектами. Используя смартфоны и планшеты, все заинтересованные стороны могут работать вместе, используя одни и те же консолидированные источники информации, гарантируя, что никто не останется в стороне, независимо от того, где они находятся.

Мобильные устройства также включили аналитику в реальном времени в строительстве. Теперь бригады могут отслеживать производительность, условия и затраты в течение дня, используя инструменты отчетности, а не создавать отчет в конце его. Менеджеры проектов могут использовать мобильную бизнес-аналитику для прогнозирования необходимых корректировок, что позволяет им действовать сразу, чтобы уложиться в график и бюджет. А приложения для отчетности означают, что все стороны могут получить доступ к аналитическим данным [12, 13].

- Роботизированные тахеометры (RTC).

Традиционный способ размещения строительных инструментов на объекте предполагает использование бригадой строительных чертежей и рулетки, спиртового уровня и теодолита – прецизионного инструмента для измерения углов – для определения точек крепления кабелей и трубопроводов.

Этот метод, однако, плохо работает с более сложными зданиями. Это трудоемкий процесс, с огромным количеством вариаций для ошибок, который может привести к серьезным последствиям, таким как столкновения с другими коммуникациями и сборными системами, что приводит к потере времени, денег и материалов.

При работе с роботизированными тахеометрами (RTS), с интегрированным электронным теодолитом, электронным измерением расстояния, которым можно дистанционно управлять, используя планшет, осна-

щенный соответствующим программным обеспечением. Макет работ в итоге может быть выполнен одним человеком, при этом RTS обеспечивает большую эффективность, повышенную точность, меньшее количество ошибок и сокращает бумажную работу, а соответственно и трудозатраты.

- Самовосстанавливающийся бетон

Бетон используется в строительстве повсеместно, но его применение приносит с собой значительные проблемы. В основном он склонен к растрескиванию, обычно из-за воздействия химических веществ и воды. Это основная проблема строительства, потому что трещины растут, и пропускают большое количество воды, которая начинает разъедать армированную сталь внутри бетона. На данный момент в стадии разработки есть несколько патентов в разных странах на самовосстанавливающийся бетон и постоянно производятся полевые испытания данного метода инновации строительных смесей.

На данном этапе это перспективная область разработки – самовосстанавливающийся бетон с бактериями и микрокапсулами в смеси. Когда вода проникает в такой бетон, то специально разработанные дополнительные ингредиенты прорастают и производят известняк, закупоривая зазор до того, как коррозия стальных деталей имеет шанс начаться [6].

- Интернет

Этот список был бы неполным, если бы мы не упомянули телекоммуникационную сеть, которая произвела революцию в строительстве. Архитекторы прошлого, никогда не могли бы себе представить, до какой степени интернет изменил то, как мы проектируем, строим и контролируем строительные проекты.

От программного обеспечения для управления строительством до дистанционного управления, лазерного геодезического оборудования, такого как RTS, и 3D-лазерных сканеров до облачных инструментов совместной работы, которые позволяют инженерным подрядчикам и архитекторам общаться и обмениваться идеями до начала строительства, цифровая эпоха изменила строительство качественно и безвозвратно.

Итак, подведя итог анализу инноваций последних лет, можно сделать следующие выводы и наметить направление для более подробной разработки:

Есть очень много инновационных технологий в строительстве на текущий момент, как внедренных, так и в стадии разработки, которые обещают дальнейшую революцию в строительном секторе. Они варьируются от кинетического настила, который генерирует электричество, используя энергию от шагов до цемента, способного поглощать и излучать световую энергию, и кирпичей, способных поглощать загрязнение путем фильтрации воздуха, сбрасывая загрязняющие частицы в съемный бункер у основания стены.

Также неизменен постоянный прогресс программных продуктов, что позволяет именно на них делать основной упор в разработке современных решений в строительстве.

Одним из перспективных направлений разработки в России является внедрение BIM-технологий, с целью контроля календарного графика.

Методы и материалы

Методика контроля календарного графика строительства на основе BIM-технологий

В современных программных продуктах по управлению проектами также используются усовершенствованные модели. Например, в MS Project в диаграмму Ганта внесены элементы сетевого графика в виде технологических и ресурсных связей между отдельными этапами, а также добавлена возможность отображения критического пути проекта.

Календарное планирование совершенствуется и за счет введения вероятностной составляющей. Так появились стохастические методы, основанные на учете вероятностного характера продолжительностей выполняемых работ, а также связей между ними. Среди них можно выделить две подгруппы: не альтернативные модели, где последовательность операций зафиксирована, а их длительности изменяются по определенному закону; и альтернативные методы, где не только продолжительности работ, но и их последовательность носят вероятностный характер.

Среди не альтернативных методов широкое распространение, в т.ч. и за счет их интеграции в программные продукты по управлению проектами, получили метод PERT и метод статистических испытаний (имитационное моделирование Монте-Карло).

В основе PERT лежит та же последовательность отдельных работ, связанных между собой технологией и использованием ресурсов, однако продолжительность каждой из них имеет три оценки: наиболее вероятную (T_m), оптимистическую (T_o) и пессимистическую (T_p). Ожидаемая длительность T_e зависит от предполагаемого распределения в диапазоне трех оценок.

К настоящему времени разработан ряд подходов к оценке ожидаемой длительности с использованием и других видов распределений.

Макрос расчета расписаний по методу PERT был встроен в программу MS Project до версии 2017 года.

В программе Oracle Primavera для вероятностной оценки календарного плана используется метод имитационного моделирования Монте-Карло, при котором на основе определенного распределения вероятностей для отдельных работ генерируются тысячи возможных продолжительностей с целью установления распределения значений для общего срока завершения проекта.

Имитационное моделирование Монте-Карло легко реализуется и в программе MS Excel. Она позволяет испытывать любые численные модели путем использования генератора случайных значений, поэтому метод Монте-Карло получил широкое распространение в науке, технике и управлении. Таким образом, перспективным направлением для повышения надежности расчета расписаний работ является разработка новых подходов к календарному планированию путем объединения нескольких методов, в том числе принадлежащих к разным группам.

Результаты и обсуждения

Целью предложенной методики на основе BIM-технологии является унификация подхода к процессу автоматизации инвестиционно-строительных проектов (далее по тексту ИСП) и определение единого структурного подхода к использованию технологии трехмерного моделирования в процессе формирования комплексной 3D модели и плановой модели строительно-монтажных работ (далее СМР). Для реализации данной методики необходимо произвести следующие шаги [13, 15]:

Рис. 1. Шаги методики на основе BIM-технологии

Fig. 1. Method Steps Based on Bim Technology

В итоге, после 5ого шага, получаем данные о плане на день отчета в натуральных единицах. Это можно представить в виде таблицы: (табл. 1) Для примера возьмем монолитные работы на 3-х секциях жилого дома.

Таблица 1

Данные о плане

Table 1

Plan Data

Вид работ	Секция	Проект, м³	План, м³
Монолитный ж/б каркас	1,2	5086	1453
	3	2555	1297
	Итого:	7641	2750

Используя тот же метод, рассчитываем объемы фактического выполнения на конкретную дату. Выгрузив собранные на обходе актуальные данные, дополняем таблицу, показанную выше (табл. 2)

Таблица 2

Фактическое выполнение

Table 2

Actual Execution

Вид работ	Секция	Проект, м³	План, м³	Факт, м³		Отставание /Опережение, м
				Неделя№	Итоговый	
Монолитный ж/б каркас	1,2	5086	1453	187	4892	3439
	3	2555	1297	9	2531	1234
	Итого:	7641	2750	196	7423	4673

Заполняем столбец «Факт». Он разделен на объем, зафиксированный за неделю и суммарный объем за всё время проведения мониторинга от начала строительства до настоящего момента. Соотнеся «План» с итоговым «Факт», вычисляем «Отставание» или «Опережение».

Полученный результат мы можем визуализировать в модели.

Рис. 2. Визуализированная модель проекта

Fig. 2. Visualized Project Model

Таблица 3

Пример отчета по строительным работам

Table 3

Construction and Installation Report Example

Вид работ	Проект, м³	План, м³	ФАКТ, М³		Остаток/ Опережение, м³
			Неделя №	Итоговый	
Монолитный ж/б каркас	19628	15666	385	17710	2044
Кладка наружных стен, газобетон	2522	1053	109	475	578

Методика оценки надежности выполнения строительного плана может базироваться на функции бета-распределения вероятности случайной величины с учетом воздействия управляющих решений [14] Для данной функции случайной величины можно определить математическое ожидание по формуле:

$$T_{MO} = \frac{\xi b + b + 3a}{\xi + 4}$$

где a – минимально возможный срок окончания работ, b – максимально возможный срок окончания работ, ξ – параметр функции, учитывающий в определенной степени эффективность системы управления рассматриваемым проектом. При $\xi=1$ образуется обычный вид функции бета-распределения, который возникает при стандартной работе системы управления. Уменьшение значения данного параметра говорит о более высоком и эффективном уровне работы системы управления. Значение $\xi=0$ означает, что система уже не в состоянии влиять на снижения рисков и повышать надежность планирования без дополнительных (неуправленческих) ресурсов.

Выводы

Итак, применение BIM-технологий на объектах строительства показывает, что можно осуществить единый подход к процессу автоматизации ИСП на основе структурного подхода, включающего технологию трехмерного моделирования в процессе формирования комплексной модели проекта.

Сформированная модель проекта на определенную контрольную дату позволяет систематизировать полученные данные и провести анализ выполнения плановых и фактических сроков производства работ, наличие отставания и опережения от установленных сроков.

Своевременное получение достоверных данных об объемах и сроках выполнения работ позволяет принять эффективные управленческие решения и снизить риск несвоевременного выполнения работ.

Литература

1. Addington M., Shodek D. Smart materials and new technologies (for architecture and design professions), Harvard University. U.S.A, 2005.
2. Agarwala V.S. Sensors for hidden corrosion damage. <http://www.smaplab.ri.uah.edu/lce/agarwara.pdf>

3. Christopher J. et al. Potential application of self-healing materials in the construction industry, A report for the Institution of Civil Engineers. Cardiff University, 2009.
4. Dry C. and Corsaw M. A comparison of bending strength between adhesive and steel reinforced concrete with steel only reinforced concrete. Cement and Concrete Research. 2003. №33 (11). P. 1723 – 1727.
5. Feng W., Patel S.H., Young Y., Zunino J.L., Xantho M.S. Smart Polymeric Coatings – Recent Advances Advances in Polymer Technology, Wiley Periodicals, Inc. 2007. Vol. 26. N1. P. 1 – 13.
6. Gharabaghi M., Naghdi A. Identifying Smart Materials and Applying Them in Residential Spaces in Cold Climate Case Study: City of Hamadan, International Research Journal of Applied and Basic Sciences, Science Explorer Publications, www.irjabs.com. 2014. Vol. 9 (1). P. 51-62.
7. Ghosh S.K. Self-healing materials: Fundamentals, Design Strategies, and Applications, Wiley-VCH, Weinheim, Germany. 2009.
8. Mohammed T.B. Application of Smart Materials in the Interior Design of Smart Houses, Civil and Environmental Research, www.iiste.org. 2015. Vol. 7. N2. Access Date, (01.10.2019)
9. Pablo L.R., Eric C. Smart Green Roofs: Cooling with Variable Insulation, <http://www.plea2012.pe/pdfs/T02-20120130-0095.pdf>; 2012. Access Date, (20.09.2019)
10. Ritter A. Smart materials in architecture, interior architecture and design. Translation of Alford Raymond Poat, springer science, Switzerland. 2007.
11. <http://www.basf.com>, Access Date, (01.10.2019)
12. Wang, Z., Kang, G. Functional and Smart Materials -Structural evolution and structure analysis, Institute of Technology, Plenum, New York, 1998.
13. Акимова Н.Г. Аммосов В.В и др. "Технология строительного производства", Стройиздат, Ленинградское отделение, 1987.
14. Величкин В.З, Абдуллаев Г.И., Котовская М.А Метод критических цепей, управление и надежность // Журнал Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. Вып. 1-3. С. 167 – 173.

References

1. Addington M., Shodek D. Smart materials and new technologies (for architecture and design professions), Harvard University. U.S.A, 2005.
2. Agarwala V.S. Sensors for hidden corrosion damage. <http://www.smaplab.ri.uah.edu/lce/agarwara.pdf>
3. Christopher J. et al. Potential application of self-healing materials in the construction industry, A report for the Institution of Civil Engineers. Cardiff University, 2009.
4. Dry C. and Corsaw M. A comparison of bending strength between adhesive and steel reinforced concrete with steel only reinforced concrete. Cement and Concrete Research. 2003. 33 (11). P. 1723 – 1727.
5. Feng W., Patel S.H., Young Y., Zunino J.L., Xantho M.S. Smart Polymeric Coatings – Recent Advances Advances in Polymer Technology, Wiley Periodicals, Inc. 2007. 26 (1). P. 1 – 13.
6. Gharabaghi M., Naghdi A. Identifying Smart Materials and Applying Them in Residential Spaces in Cold Climate Case Study: City of Hamadan, International Research Journal of Applied and Basic Sciences, Science Explorer Publications, www.irjabs.com. 2014. 9 (1). P. 51-62.
7. Ghosh S.K. Self-healing materials: Fundamentals, Design Strategies, and Applications, Wiley-VCH, Weinheim, Germany. 2009.
8. Mohammed T.B. Application of Smart Materials in the Interior Design of Smart Houses, Civil and Environmental Research, www.iiste.org. 2015. 7 (2). Access Date, (01.10.2019)
9. Pablo L.R., Eric C. Smart Green Roofs: Cooling with Variable Insulation, <http://www.plea2012.pe/pdfs/T02-20120130-0095.pdf>; 2012. Access Date, (20.09.2019)
10. Ritter A. Smart materials in architecture, interior architecture and design. Translation of Alford Raymond Poat, springer science, Switzerland. 2007.
11. <http://www.basf.com>, Access Date, (01.10.2019)
12. Wang, Z., Kang, G. Functional and Smart Materials -Structural evolution and structure analysis, Institute of Technology, Plenum, New York, 1998.
13. Akimova N.G. Ammosov V.V i dr. "Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva", Strojizdat, Leningradskoe otdelenie, 1987. (rus.)
14. Velichkin V.Z, Abdullaev G.I., Kotovskaya M.A Metod kriticheskikh cepej, upravlenie i nadezhnost'. Zhurnal Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2016. 1-3. P. 167 – 173. (rus.)

**Otsokov K.A. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia**

*Corresponding author E-mail: Otsokov@yandex.ru

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION AND THEIR USE IN ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL EVENTS

Abstract: the purpose of the article is to analyze modern innovative technologies in construction and to develop a method of network planning in construction based on the BIM model.

A clearly defined goal allows to identify the main tasks aimed at its implementation:

- analysis of practical and theoretical experience in the field of innovative technologies at various stages of construction production;
- identification of the research direction and theoretical justification of the chosen direction;
- justification of the practical effectiveness of the selected areas;
- defining a list of innovative methods that serve as a basis for further analysis and conclusions;
- design of the object network planning system based on BIM technologies and network design.

In this work, it is planned to show the algorithm of operations for the use of calendar planning on mass construction sites, adapted for different situations.

The research work allows identifying the advantages of using information modeling of buildings for the stage of operation of the object. The developed basic methodology for organizing functional processes can help improve the established system of housing stock operation. Based on the experience of this study, it is possible to develop this topic in the field of network planning and implementation on practical objects.

Keywords: construction, innovation, BIM technology, construction contractor, automation

Для цитирования: Оцокков К.А. Инновационные технологии в строительстве и их использование в организационно-технологических мероприятиях // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. №1. С. 7 – 13. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13

For citation: Otsokov K.A. Innovative technologies in construction and their use in organizational and technological events. Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). P. 7 – 13. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13

Поступила в редакцию 10 ноября 2019 г.

Принята в доработанном виде 15 декабря 2019 г.

Одобрена для публикации 10 января 2020 г.

Received: November 10, 2019.

Revised: December 15, 2019.

Accepted: January 10, 2020.