



Обзор проблемы внедрения новых технологий в модульном жилищном строительстве

В настоящее время модульное строительство определяется как метод строительства, при котором различные типы модулей строятся на заводе-изготовителе (85–90 % работ по проекту), а затем транспортируются к конечному месту проекта для формирования здания. Основные этапы типичного модульного (или сборного) строительного проекта включают планирование и проектирование, производство и транспортировку компонентов, установку и строительство на месте, эксплуатацию и техническое обслуживание. Модульное строительство является одним из основных методов строительства за пределами площадки, которые применяются в качестве альтернативы традиционному строительству (строительство на месте) для достижения целей устойчивого развития [1]. По сравнению с традиционными методами строительства, модульное строительство имеет много преимуществ, включая более короткие сроки реализации проекта, лучший контроль качества, большую гибкость процесса строительства и улучшенное качество строительства [2]. Учитывая эти преимущества, сборные конструкции и модульность становятся все более популярными в жилищном строительстве США. Согласно отчёту Института промышленного жилья за 2018 год, в модульных жилых домах в 2017 году было построено около 93 тыс. новых домов, что составляет примерно 9 % новых

домов на одну семью в США. Эта доля постепенно увеличивалась в последние два десятилетия [2, 3].

С процветающим развитием информационно-коммуникационных технологий (например, интернета вещей, киберфизических систем и «умных» городов) исследуются различные новые технологии, которые могут реализовать автоматизацию процесса строительства, для дальнейшего повышения производительности строительного проекта.

Модульное строительство имеет много преимуществ, включая более короткие сроки реализации проекта, лучший контроль качества, большую гибкость процесса строительства и улучшенное качество строительства

Технологии автоматизации строительства и робототехники становятся всё более распространёнными во всём мире и рассматриваются как ключевой элемент будущего направления строительства. Несмотря на то, что внедрение автоматизации в области строительства идёт медленно, этот процесс можно ускорить за счёт развития передовых сенсорных технологий и информационного моделирования зданий (BIM).

Рецензия эксперта на статью получена 10.05.2023 [The expert review of the article was received on May 10, 2023]

УДК 001.891.57; 004.942; 005.41. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.05).

Обзор проблемы внедрения новых технологий в модульном жилищном строительстве

Аббасипаям Саджад, аспирант; М. А. Гордеев-Бургвиц, к.т.н., профессор, кафедра механизации и автоматизации строительства, [Московский государственный строительный университет \(НИУ «МГСУ»\)](#)

Строительная отрасль стремится использовать методы обрабатывающей промышленности, такие как сборные и модульные конструкции, для повышения производительности, безопасности, эффективности и устойчивости. Исследуются технологии, такие как информационное моделирование зданий и радиочастотная идентификация, в модульном строительстве. Цель статьи — анализ преимуществ и проблем внедрения технологий модульного строительства.

Ключевые слова: модульное строительство, «умное» строительство, новые технологии, математическое моделирование, численные методы.

UDC 001.891.57; 004.942; 005.41. The number of scientific specialties: 2.1.3 (05.23.05).

Overview of the problem of introducing new technologies in modular housing construction

Abbaspayam Sajad, postgraduate student; M. A. Gordeev-Burgvits, PhD, Professor, the Department of Mechanization and Automation of Construction, [National Research Moscow State University of Civil Engineering \(NRU MGSU\)](#)

The construction industry is looking to use manufacturing industry practices such as prefabrication and modular construction to improve productivity, safety, efficiency and sustainability. Technologies such as building information modeling and radio frequency identification are being explored in modular construction. The purpose of the article is to analyze the advantages and problems of introducing modular construction technologies.

Key words: modular construction, smart construction, new technologies, mathematical modeling, numerical methods.

В последние годы в процесс производства модульных конструкций уже было внедрено довольно много новых технологий, чтобы лучше использовать преимущества и преодолевать проблемы, связанные с модульностью. Например, в работе [3] предложена структура системы управления сборными компонентами с помощью технологии радиочастотной идентификации (Radio Frequency Identification, RFID) и BIM. В работе [4] интегрирован метод 3D-изображения и анализа пространственных структур для реализации высокоэффективной проверки качества при сборке сборных компонентов. Однако взгляды заинтересованных сторон из реальной модульной строительной отрасли на возможные преимущества и проблемы применения новых технологий отсутствуют в текущих исследованиях. Учитывая различия в различных типах модульных зданий, объём этой статьи в основном ограничен жилыми модульными проектами.

За последнее десятилетие автоматизация строительства получила различные определения. В работе [5] заявлено, что автоматизация строительства направлена на интеграцию автоматизированного проектирования и роботизированных технологий на месте для оптимизации и упрощения процесса строительства.

В статье [6] автоматизацию строительства определена как производственная система на основе заводской структуры с помощью роботизированной системы автоматизации. Основываясь на всестороннем обзоре литературы, новые технологии, появившиеся в исследованиях, связанных с автоматизацией строительства, были разделены на 14 групп в зависимости от их функций и приложений при применении в строительном проекте.

1. Системы автоматизации, включая робототехнику и искусственный интеллект: роботизированные системы применяются в различных строительных процессах для автоматизации операций, включая укладку, погрузку-разгрузку, сборку и т.д.
2. Автономное оборудование и техника: новое поколение автономных машин для мониторинга и облегчения строительных задач (например, станки с ЧПУ, 3D-печать, дроны и т.д.).
3. Информационные системы управления бизнесом и производством: информационные системы, используемые для управления данными и поддержки процессов.
4. Инструменты автоматизированного проектирования (САПР): компьютерные системы, используемые для помощи в создании, модификации и оценке проекта (3D/4D-визуализация и т.д.).



Рис. 1. Схема сборки здания модульным методом

5. Технологии сбора данных: технологии сбора данных в реальных условиях (RFID, GPS, QR-коды, штрихкодирование и т.д.).

6. Аналитика данных и вычислительные системы: методы и инструменты для изучения данных, включая анализ больших данных, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение и т.д.

7. Программное обеспечение для управления документами и интеграции проектов: технологии, используемые для координации и обмена проектной документацией между секторами проекта.

8. Расширенная реальность: компьютерная технология, используемая для создания комбинированного реального и виртуального среды и взаимодействия человека с машиной, такие как «дополненная реальность» (Augmented Reality, AR), «виртуальная» (Virtual Reality, VR) и «смешанная» реальность (Mixed Reality, MR).

9. Промышленные системы управления: различные типы систем управления, используемые на заводах для управления и контроля физической активности.

10. Промышленный интернет: системы управления, интегрированные с информационными технологиями, расширяют возможности процесса планирования производства.

11. Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ): относится к технологии для сбора, передачи и отображения данных в электронном виде с акцентом на коммуникации.

12. Программное обеспечение для управления проектами и планирования: полный набор инструментов, используемых для управления проектами, планирования, выполнения и контроля.

13. «Умная энергия»: инструменты для мониторинга и контроля энерго- и ресурсопотребления, такие как интеллектуальное измерение энергопотребления, динамическое моделирование в реальном масштабе времени.

14. Носимая технология: электронные устройства, встроенные в одежду или носимые на теле, такие как смарт-часы, шлемы, носимые датчики и т.д.



Есть много факторов, которые способствуют росту автоматизации строительства, в том числе сокращение численности рабочей силы, снижение квалифицированной рабочей силы, повышение внимания к безопасности и повышение эффективности.

В работе [7] утверждается, что основные преимущества, которые может принести внедрение автоматизации строительства, включают повышение эффективности рабочего процесса, улучшение коммуникации и сотрудничества между заинтересованными сторонами, потенциал для увеличения доли рынка.

Применение технологий автоматизации строительства может помочь ускорить переход строительной отрасли в от-

Несмотря на все преимущества, современные методы модульного строительства всё ещё имеют некоторые недостатки, такие как более высокие требования к технологии строительства и методам управления

расль, основанную на технологиях. Существует довольно много исследований, которые успешно подтвердили, что внедрение новых технологий может преодолеть недостатки традиционных методов строительства. Было показано, что радиочастотная идентификация (RFID) помогает автоматизировать задачи управления проектом, такие как расположение рабочих и материалов, мобильность на местах и статус проекта [8]. Объединение RFID с информационным моделированием зданий (BIM) ещё больше расширяет преимущества, такие как визуализация данных строительства в режиме реаль-

Преимущества внедрения новых технологий

табл. 1

№	Преимущества
1	Улучшить обмен и доступность информации с фирмами-партнерами
2	Лучшее общение между членами команды
3	Повышение эффективности работы и сокращение времени
4	Улучшить качество работы
5	Повысить точность и эффективность административной и финансовой работы
6	Лучшая конкуренция для удовлетворения потребностей клиентов или сотрудников
7	Уменьшить стоимость
8	Сокращение человеческих ресурсов и повышение производительности труда
9	Улучшить процедуры планирования и управления
10	Повышение точности прогнозов и оценок

Проблемы внедрения новых технологий в жилищном модульном строительстве

табл. 2

№	Проблемы
1	Высокие капитальные затраты
2	Постоянный спрос на обновление аппаратного и программного обеспечения
3	Отсутствие программной или аппаратной совместимости, практичности и т.д.
4	Отсутствие квалифицированных рабочих и опытных специалистов
5	Культурное сопротивление переменам
6	Ограничение информационной безопасности и риск кибербезопасности
7	Сложность измерения прибыли и оценки инвестиций
8	Отсутствие стандартов, законов и правил
9	Отсутствие надёжности программного или аппаратного обеспечения
10	Отсутствие технической подготовки и высокая стоимость обучения

ного времени, а также проверка и локализация протоколов. Наблюдаемые преимущества включают повышение личной безопасности и защищённости, повышение качества проектов и повышение эффективности рабочей силы [9].

Чтобы обеспечить полный, точный и своевременный обмен данными, BIM и интернет вещей интегрированы в сборную строительную систему. Эта система позволяет руководителям площадок контролировать процесс строительства в режиме реального времени и предлагает различные инструменты для принятия решений для различных заинтересо-

ванных сторон. Несмотря на преимущества по сравнению с традиционным методом строительства, современные методы модульного строительства всё ещё имеют некоторые недостатки, такие как более высокие требования к технологии строительства и методам управления [3].

Применение новых технологий может принести много преимуществ в процессе строительства. В табл. 1 перечислены некоторые преимущества внедрения новых технологий, полученные из литературы. Несмотря на все преимущества, строительная отрасль часто проявляет нежелание внедрять технологии и нетрадиционные методы управления. Это в значительной степени препятствует продвижению новых технологий в реальной строительной отрасли. В некоторых источниках анализируются причины, по которым строительные компании неохотно применяют новые технологии. В работе [3] связывают это явление с высокой стоимостью, отсутствием знаний и сопротивлением изменениям.

В статье [10] отмечено, что нехватка квалифицированных рабочих и опытных специалистов может привести к дальнейшему продвижению их системы управления сборным строительством на основе RFID и BIM. Основываясь на всестороннем обзоре литературы, проблемы с высокой частотой возникновения также перечислены в табл. 2.





По результатам полевого опроса видно, что между фокусом научных кругов и промышленности существуют некоторые пробелы. Выяснено, что большинство респондентов согласилось с тем, что высокая эффективность, сокращение человеческих ресурсов и лучшее качество работы являются преимуществами, которые новые технологии могут принести процессу модульного строительства. Тем не менее, другие преимущества, когда-либо отмеченные в литературе, такие как снижение затрат, лучший обмен информацией, лучшая конкуренция для удовлетворения потребностей клиентов, не получили такого же внимания со стороны реальной строительной отрасли. Высокая эффективность, улучшенное качество и сокращение трудозатрат также считаются основными преимуществами модульного строительства по сравнению с традиционным строительством.

Итак, внедрение новых технологий может полностью реализовать преимущества модульного строительства. Результаты исследования также показали, что технические и экономические проблемы являются основными препятствиями, мешающими продвижению новых технологий.

В сочетании с результатами пилотного опроса отраслевых экспертов обнаруживается отсутствие интеграции различных новых технологий. Это может привести к проблемам, связанным с информационной совместимостью, интероперабельностью. Кроме того, зачастую приоритетом для компаний являются экономические факторы. Как заявили эксперты в ходе интервью, инвестиции в технологии должны в конечном итоге приносить компании достаточную прибыль.

В целях дальнейшего содействия развитию новых технологий в модульном строительстве в этой статье предлагаются следующие предложения:

1. Довольно много современных исследований сосредоточено на том, как сократить сроки строительства или повысить эффективность работы. Из интервью и анкетного опроса выяснилось, что компании больше всего обеспокоены экономическими выгодами, которые могут принести новые технологии. Для будущих исследований важно уделять больше внимания оценке экономического влияния появляющихся модульных строительных продуктов на основе технологий.

Внедрение новых технологий может полностью реализовать преимущества модульного строительства. Однако технические и экономические проблемы являются основными препятствиями, мешающими продвижению новых технологий

2. Комплексная система необходима для интеграции данных с разных платформ. Основной функцией системы является обеспечение информационной совместимости как программного, так и аппаратного обеспечения. Такая система может решить проблемы обмена информацией и обеспечить беспрепятственную работу различных заинтересованных сторон.

3. Улучшить зрелость нового продукта управления модульным строительством, основанного на технологии. Связанные продукты должны пройти больше ин-

женерных испытаний для тестирования производительности. Продукт может быть выпущен в строительную отрасль только после того, как он проявит стабильную производительность. Это позволит избежать проблемы постоянного обновления программного и аппаратного обеспечения.

Статья основана на анализе преимуществ и проблем внедрения новых технологий в жилищное модульное строительство. Путём обзора литературы были выделены группы новых технологий по их приложениям и функциям. Существует разрыв между фокусом промышленности и научными кругами, и некоторые преимущества, отмеченные академическими кругами, не получили широкого признания в отрасли.

Для улучшения практичности результатов научных исследований необходимо корректировать направления исследований в соответствии с требованиями промышленности. Понимание точек зрения заинтересованных сторон может помочь устранить проблемы и ускорить разработку соответствующих исследований. ●

1. M. O'Brien, R. Wakefield, Y. Beliveau. Industrializing the Residential Construction Site. Center for Housing Research Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia, U.S. Prepared for: U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research. Washington, DC, U.S. 2000. 26 p.
2. L.R. Kawecki. Environmental performance of modular fabrication: Calculating the carbon footprint of energy used in the construction of a modular home. A dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the PhD. Arizona State University. 2010. Arizona, U.S.
3. B. Qi, K. Chen, A. Costin. RFID and BIM-enabled prefabricated component management system in prefabricated housing production. Proc. of the Construction Research Congress 2018. April 2–4, 2018. New Orleans, Louisiana, U.S. Pp. 591–601.
4. V.S. Kalasapudi, P. Tang, C. Zhang, J. Diosdado, R. Ganapathy. Adaptive 3D imaging and tolerance analysis of prefabricated components for accelerated construction. Procedia Engineering. 2015. Vol. 118. Pp. 1060–1067.
5. T.D. Oesterreich, F. Teuteberg. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. Computers in Industry. 2016. Vol. 83. Pp. 121–139.
6. B. Chu, K. Jung, M.T. Lim, D. Hong. Robot-based construction automation: An application to steel beam assembly (Part I). Automation in Construction. 2013. Vol. 32. Pp. 46–61.
7. Q. Chen, B.G. de Soto, B.T. Adey. Construction automation: Research areas, industry concerns and suggestions for advancement. Automation in Construction. 2018. Vol. 94. Pp. 22–38.
8. A. Costin, N. Pradhananga, J. Teizer. Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project. Automation in Construction. 2012. Vol. 24. Pp. 1–15.
9. A. Costin, J. Teizer, B. Schoner. RFID and BIM-enabled worker location tracking to support real-time building protocol and data visualization. Journal of Information Technology in Construction. 2015. Vol. 20. Pp. 495–517.
10. C.Z. Li, R.Y. Zhong, F. Xue, G. Xu, K. Chen, G.G. Huang, G.Q. Shen. Integrating RFID and BIM technologies for mitigating risks and improving schedule performance of prefabricated house construction. Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 165. Pp. 1048–1062.

[References — see page 79.](#)

[Overview of the problem of introducing new technologies in modular housing construction. Pp. 52–55.](#)

Abbasipayam Sajad, postgraduate student; **Michael A. Gordeev-Burgvits**, PhD, Professor, the Department of Mechanization and Automation of Construction, [National Research Moscow State University of Civil Engineering \(NRU MGSU\)](#)

1. M. O'Brien, R. Wakefield, Y. Beliveau. Industrializing the Residential Construction Site. Center for Housing Research Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg. Virginia, U.S. Prepared for: U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research. Washington, DC, U.S. 2000. 26 p.
2. L.R. Kawecki. Environmental performance of modular fabrication: Calculating the carbon footprint of energy used in the construction of a modular home. A dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the PhD. Arizona State University. 2010. Arizona, US.
3. B. Qi, K. Chen, A. Costin. RFID and BIM-enabled prefabricated component management system in prefabricated housing production. Proc. of the Construction Research Congress 2018. April 2–4, 2018. New Orleans, Louisiana, US. Pp. 591–601.
4. V.S. Kalasapudi, P. Tang, C. Zhang, J. Diosdado, R. Ganapathy. Adaptive 3D imaging and tolerance analysis of prefabricated components for accelerated construction. Procedia Engineering. 2015. Vol. 118. Pp. 1060–1067.
5. T.D. Oesterreich, F. Teuteberg. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. Computers in Industry. 2016. Vol. 83. Pp. 121–139.
6. B. Chu, K. Jung, M.T. Lim, D. Hong. Robot-based construction automation: An application to steel beam assembly (Part I). Automation in Construction. 2013. Vol. 32. Pp. 46–61.
7. Q. Chen, B.G. de Soto, B.T. Adey. Construction automation: Research areas, industry concerns and suggestions for advancement. Automation in Construction. 2018. Vol. 94. Pp. 22–38.
8. A. Costin, N. Pradhananga, J. Teizer. Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project. Automation in Construction. 2012. Vol. 24. Pp. 1–15.
9. A. Costin, J. Teizer, B. Schoner. RFID and BIM-enabled worker location tracking to support real-time building protocol and data visualization. Journal of Information Technology in Construction. 2015. Vol. 20. Pp. 495–517.
10. C.Z. Li, R.Y. Zhong, F. Xue, G. Xu, K. Chen, G.G. Huang, G.Q. Shen. Integrating RFID and BIM technologies for mitigating risks and improving schedule performance of prefabricated house construction. Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 165. Pp. 1048–1062.