

Технологии строительства высотных зданий в Китае и конструкции высотных зданий

Ч. Лю, Н.И. Фомин, Ш. Сяо, Ц. Ли

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина*

Аннотация: В данной статье представлен обзор основных технологий строительства высотных зданий в Китае и на примерах рассмотрены некоторые из них. В результате анализа выявлены наиболее часто используемые технологии строительства, а также типы конструкций. Строительные технологии играют решающую роль при возведении высотных зданий. На основе сбора и анализа соответствующей литературы обобщены наиболее широко используемые строительные технологии в области строительства высотных зданий в Китае и на примерах показано их применение. Эти технологии охватывают различные методы строительства и выбор материалов. Цель данной работы - предоставить соответствующим специалистам справочную информацию для выбора подходящих технологий и типов конструкций при строительстве высотных зданий.

Ключевые слова: строительство, высотные здания, технология строительства, железобетонная конструкция, сборная конструкция, анализ.

Введение

Количество и высота высотных зданий растет по мере ускорения процесса урбанизации и повышения требований к использованию площадей. В России, согласно СП 267.1325800.2016 здания и комплексы высотные 3.5, под высотным зданием понимается Здание, имеющее высоту, определяемую в соответствии с СП 1.13130.2009, более 75 м. В Китае, согласно "Техническому регламенту по бетонированию высотных зданий" (JGJ3-2010), в положениях: 10 этажей и более 10 этажей или высота более 28 м называется высотной конструкцией здания. Когда высота здания превышает 100 м, его называют супервысотным зданием. В процессе строительства высотных зданий выбор технологии строительства и конструкции имеет решающее значение для обеспечения безопасности и эффективности строительства здания. Поэтому комплексный анализ и исследование технологии строительства и конструкции высотных зданий имеет важное научное и практическое значение [1, 2].

Определение и правила строительства высотных зданий в Китае

Согласно GB 50011-2010 Нормы проектирования зданий с учетом сейсмической активности и GB 50016-2014 Нормы проектирования пожарной безопасности зданий, в Китае высотные здания определяются и регулируются в зависимости от их высоты и использования. Согласно китайским строительным нормам и правилам, высота жилых зданий не должна превышать 100 метров для обеспечения пожарной безопасности. Это ограничение призвано устранить риски, связанные с густонаселенными жилыми районами, такие, как пожарная опасность и транспортные заторы. Для общественных зданий предел высоты несколько ниже: одноэтажные общественные здания высотой более 24 метров классифицируются как высотные. К таким зданиям относятся различные типы зданий, такие, как офисные, культурные, торговые, медицинские и спортивные здания.

Правительство Китая также ограничивает строительство сверхвысоких зданий (высотой более 500 метров) из соображений практичности и безопасности. В городах с населением менее 3 миллионов человек запрещено строить здания высотой более 150 метров, а в более крупных городах - более 250 метров [3].

Состояние исследований

При изучении существующей литературы по строительным технологиям и конструкциям высотных зданий в Китае был выявлен пробел в одной из областей исследований последних лет, а именно: всесторонний сравнительный анализ наиболее часто используемых строительных технологий и типов конструкций для высотных зданий в Китае. Хотя существует ряд исследований, посвященных технологиям строительства высотных зданий и типам конструкций, большинство из них сосредоточено на углубленном анализе одной технологии или типа конструкции, а комплексных сравнений проводится мало.

Выбор технологий строительства и типов конструкций для высотных зданий оказывает значительное влияние на стабильность, стоимость, эффективность использования времени, устойчивость и последующее обслуживание здания [4]. Поэтому сравнительный анализ частоты использования и эффективности различных технологий и типов конструкций в высотных зданиях в Китае может стать важным руководством для архитекторов, инженеров и политиков, а также поможет лучше удовлетворить потребности и цели различных проектов.

Цель и значение исследования

Цель данного исследования - восполнить пробел в сравнительном анализе строительных технологий и конструкций в высотных зданиях в Китае путем сравнения использования различных строительных технологий и типов конструкций в китайских высотных зданиях с помощью систематического сбора и анализа данных.

Сравнение типов конструкций высотных зданий: мы изучим различные типы конструкций, используемые в высотных зданиях в Китае, такие как металлические конструкции, железобетонные конструкции, а затем проведем сравнительный анализ на основе таких критериев, как устойчивость, стоимость, время строительства и требования к обслуживанию.

Сравнение технологий строительства высотных зданий: мы проанализируем наиболее часто используемые технологии строительства высотных зданий в Китае, такие как монолитная конструкция, сборно-монолитная конструкция, и оценим их эффективность с точки зрения стоимости, эффективности использования времени, качества и устойчивости [5].

Благодаря такому сравнительному анализу наше исследование призвано обеспечить комплексное понимание технологий строительства высотных зданий и типов конструкций в Китае, чтобы предоставить целевые

рекомендации и руководство для будущих проектов высотных зданий. Кроме того, мы надеемся, что наше исследование станет ценным пособием для китайских и российских исследователей, которое поможет им углубить понимание сектора высотного строительства в Китае и будет способствовать повышению внимания исследователей к этой важной области.

Общие конструктивные формы и методы строительства высотных зданий

Конструкция:

1) Бетонная конструкция [6] - это вид архитектурного или инженерного сооружения, построенного с использованием хороших свойств бетона на сжатие, который обычно подходит для возведения несущих стен, перекрытий, балок и фундаментов (далее К1).

2) Железобетонная конструкция [7] - заложена в бетон арматура, сочетающая прочность арматур на растяжение и прочность бетона на сжатие для восполнения недостатка растягивающих свойств бетона, которая широко используется в высотных строительных конструкциях (далее К2).

3) Металлическая конструкция [8] - это разновидность строительных конструкций, возводимых с использованием металлических материалов (например, стали, алюминиевого сплава и т.д.). Она обладает следующими характеристиками: высокой прочностью, хорошей жесткостью, малым весом и долговечностью (далее К3).

4) Сталежелезобетонная конструкция [9] - в качестве основной несущей конструкции обычно используются стальные элементы, такие, как стальные рамы, колонны и балки, обеспечивающие прочность и устойчивость. Бетон используется для заполнения и окружения стальных элементов, образуя комбинированную сталежелезобетонную конструкцию, обеспечивающую сжатие, сдвиг и защиту стальной конструкции (далее К4).

5) Каркасная конструкция [10] - это конструктивная система, сформированная с помощью балок и колонн, образующих рамы в вертикальном и горизонтальном направлениях (На рис.1 и рис.2 показана). Она воспринимает как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки. Основными преимуществами являются гибкость планировки здания, которое может формировать большое пространство, а также очень удобная высота здания [11]. Основным недостатком является малая поперечная жесткость, которая будет производить чрезмерные боковые смещения при большом количестве этажей (далее К5).

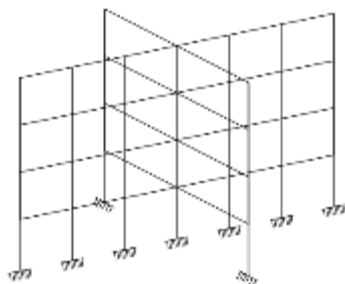


Рис.1 Схема



Рис.2 Строящийся объект [12]

б) Конструкция сдвиговых стены [13] - это использование стен здания (внутренних и наружных), выполненных из сдвиговых перегородок, для противодействия горизонтальным силам (рис.3 и рис.4). Стенка сдвига, как правило, железобетонная. Структура стены сдвига имеет преимущество большой боковой жесткости, горизонтальные нагрузки под боковым сдвигом мала; недостатком является расстояние между стенками сдвига мала, структура здания планировки негибкая, не для большого пространства общественных зданий, в дополнение к структуре вес также больше. (далее К6).

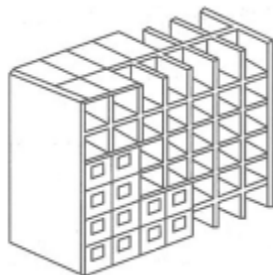


Рис.3 Схема



Рис.4 Строящийся объект [14]

7) Конструкция цилиндра [15] - в высотных зданиях, особенно в ультравысотных, горизонтальная нагрузка становится все больше и больше, играя контролирующую роль (рис.5 и рис.6). Цилиндрическая структура является наиболее эффективной структурной системой для сопротивления горизонтальной нагрузке. (далее К7).

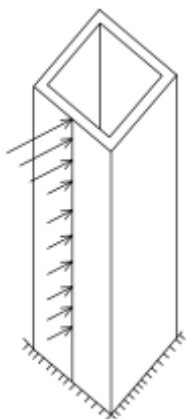


Рис.5 Схема

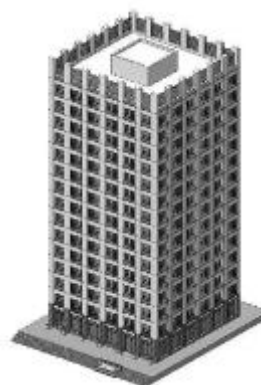


Рис.6 Модель [16]

Технология:

1) Сборное домостроение [17] - это метод строительства, при котором часть или все конструкции и компоненты здания предварительно изготавливаются на заводе, а затем доставляются на строительную площадку для сборки. Преимуществами этого метода являются высокая скорость строительства, низкая трудоемкость на стройплощадке и относительно легкий контроль качества. (далее - Т1).

2) Монолитное домостроение [18] - это системы, которые создаются как непрерывные и несегментированные, либо путем укладки бетона, либо

другими способами, без видимых швов между элементами, которые свариваются или скрепляются болтами, а образуют единую конструктивную единицу, чтобы вся конструкция реагировала на нагрузку, как единое целое. (далее - Т2).

3) Сборно-монолитное домостроение сочетает в себе методы сборного и монолитного строительства, при котором одни компоненты предварительно изготавливаются на заводе, а другие отливаются на строительной площадке [19]. (далее - Т3).

4) Технология перекачки бетона [20] - профессиональное насосное оборудование позволяет быстро и равномерно доставлять бетон к месту строительства, что повышает эффективность и качество строительства. Преимущество насосной техники заключается в том, что она может доставлять бетон на более высокие и дальние строительные площадки. (далее Т4).

5) Технология строительства алюминиевых формных плит [21] - это передовой метод строительства, позволяющий быстро возводить несущие системы, повышать эффективность, качество и безопасность строительства за счет использования легкой и многоразовой алюминиевой опалубки. (далее - Т5).

6) Технология строительства металлических конструкций [22] - это метод возведения зданий с использованием металла и сварочных технологий. Она широко применяется в строительстве благодаря отличным прочностным, долговечным и пластичным характеристикам стальных конструкций. (далее Т6).

Анализ данных

Чтобы определить ключевые технологии для гражданского строительства и строительства зданий в Китае в 2035 году, Chinese Academy of Engineering (Китайская академия инженерных наук), создала

тематическую исследовательскую группу по гражданскому строительству и строительству зданий и провела масштабное исследование новых строительных технологий в период с 2010 по 2015 год. На рисунке 7 представлены результаты опроса: по вертикальной оси - названия ключевых технологий, по горизонтальной - комплексные индексы технологий и их применения, включая зрелость технологий, оценку жизненного цикла и устойчивость.

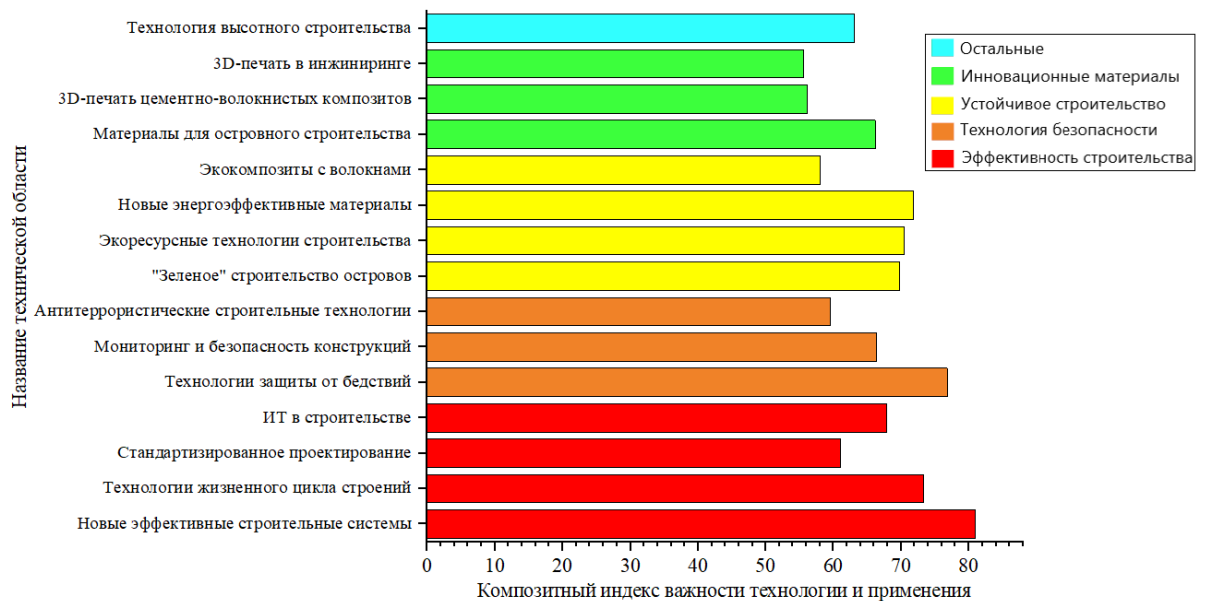


Рис. 7 Результаты технического опроса [23]

Таким образом, разработка ключевых технологий новых высокоэффективных структурных систем является фундаментальным способом достижения устойчивого развития в области структурной инженерии, преобразования и модернизации промышленности и должна стать направлением развития гражданского строительства в будущем. Комплексные технологии предотвращения стихийных бедствий и смягчения их последствий в гражданском строительстве и технологии проектирования, строительства, эксплуатации и обслуживания строительных конструкций на основе эксплуатационных характеристик в течение всего срока службы являются важными вспомогательными технологиями для реализации новой

высокоэффективной структурной системы и, безусловно, станут актуальными направлениями постоянного внимания в области гражданского строительного проектирования. Это также должно стать одним из направлений постоянного внимания в области гражданского строительного проектирования [24].

На основе приведенных выше данных мы можем построить следующие графики (рис.8).

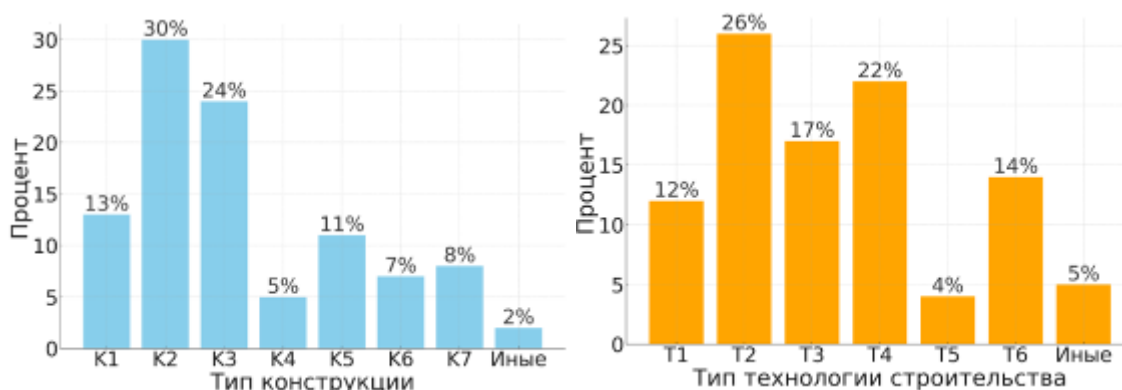


Рис. 8. Использование типов конструкций и технологий строительства высотных зданий в Китае

По рис.8 видно, что железобетонные и металлические конструкции являются наиболее популярными конструктивными формами для высотных зданий в Китае, и они широко используются в гражданских и промышленных зданиях. В китайских высотных зданиях чаще всего используются такие строительные технологии, как монолитное домостроение, технология перекачки бетона и технология строительства металлических конструкций. Они выполняют соответствующие функции на разных этапах строительства.

Заключение

За последние 10 лет в Китае при выборе конструкций высотных зданий преобладали железобетонные конструкции, на долю которых приходится 30%, благодаря их экономичности и адаптивности. Металлические конструкции, с другой стороны, более распространены в сверхвысоких

зданиях и большепролетных сооружениях, составляя 24 процента, благодаря своей высокой прочности и малому весу, которые обеспечивают большую гибкость и инновации в дизайне, но также требуют более высоких инженерных навыков и затрат.

Что касается выбора технологии строительства, то монолитные и монолитно-сборные технологии составили 26% и 17%, соответственно, а их преимущества - повышение эффективности строительства, снижение нагрузки на стройплощадку и повышение качества строительства - постепенно стали предпочтительными технологиями для высотных зданий в Китае. Технология бетононасосов играет решающую роль в обеспечении быстрого и эффективного строительства и строгого контроля качества высотных зданий, составляя 22%.

В результате, развитие технологий проектирования и строительства высотных зданий в Китае отражает общую направленность отрасли на безопасность, эффективность, экономичность и защиту окружающей среды. Благодаря постоянным технологическим инновациям и политической поддержке, в будущем проектирование и строительство высотных зданий в Китае будет уделять больше внимания "зеленым" и "интеллектуальным" зданиям, обеспечивая при этом ориентир для проектирования высотных зданий в России и способствуя развитию строительной отрасли в Китае и России [25].

Литература

1. Шумейко И. Ш., Кудинов О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164.



2. Седегова Л.Н., Особенности строительства гражданских зданий в сложившейся городской застройке // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1698.
3. 张帅, 王珊珊, 高层建筑工程中钢结构的安装施工技术 (Zhang Sh., Wang Sh. Erection construction technology of steel structure in high-rise building engineering) // 中国建筑金属结构 (China Construction Metal Structure). 2023. T. 22. № 5 C. 34-36.
4. 杜福军, 现代超高层结构建筑施工技术的探讨 (Du Fu. Discussion on the construction technology of modern super high-rise structural buildings) // 建筑科学 (Building Science). 2012. C. 72.
5. 杨雷, 高层建筑施工的高层施工技术研究 (Yang L. Research on high-rise construction technology for high-rise building construction) // 智能城市 (Intelligent City). 2020. №13. C. 139-140.
6. 张锴, 浅谈土建施工技术在高层建筑中的应用 (Zhang K. Introduction to the application of civil construction technology in high-rise buildings) // 建筑技术 (Building Technology). 2014. №4. C. 57-58.
7. 曹锡锋, 单春明, 杨春生, 浅析钢筋混凝土结构与钢结构在建筑中的应用 (Cao X., Shan Ch., Yang Ch. Analysing the application of reinforced concrete structure and steel structure in architecture) // 山西建筑 (Shanxi Construction). 2006. T. 32. №2 C. 85-86.

8. 王强,民用高层钢结构建筑施工技术 (Wang Q. Construction technology of civil high-rise steel structure buildings) // 山西建筑 (Shanxi Construction). 2008. T. 34. №6 C. 164-165.
 9. 余永佳,高层建筑钢结构-钢筋混凝土组合结构施工技术研究 (Yu Y. Research on Construction Technology of Steel-Reinforced Concrete Combined Structures for High-Rise Buildings)// 施工技术 (Construction Technology). 2023. №9. C. 148-150.
 10. 刘斌,建筑工程框架结构施工技术 (Liu B. Construction Technology of Frame Structures in Building Engineering) // 工程技术与应用 (Engineering Technology and Application). 2019. №12. C. 26-27.
 11. 罗晓华,关于高层建筑施工技术的要点分析 (Luo X. Analysis on the key points of high-rise building construction technology) // 施工技术 (Construction technology). 2014. №7. C. 275.
 12. Заброшенная строительная площадка Бетонная каркасная конструкция // xsj.699pic.com URL: xsj.699pic.com/tupian/09e9hd.html (дата обращения: 05.11.2023).
 13. 李建军,框架剪力墙结构施工技术研究 (Li J. Research on construction technology of frame shear wall structure) // 施工技术 (Construction Technology). 2022. №12. C. 150-153.
 14. 中国建筑产业化发展研究报告 (Research Report on the Development of Construction Industrialisation in China) // ccmsa.org.cn URL: ccmsa.org.cn/fenhui/show.php?id=18359 (дата обращения: 05.11.2023).
-

15. 李根深,筒体结构设计要点探讨 (Li G. Discussion on the key points of the design of the cylinder structure) // 科技传播 (Science and Technology Communication). 2013. №8. С. 81-82.

16. 赵雪峰,范悦,张博为,预制装配式框架—筒体结构体系在工业化住宅中的应用 (Zhao X.,Fan Y.,Zhang B. Application of prefabricated assembled frame-cylinder structural system in industrialised housing) // 工业建筑 (Industrial Building) . 2015. №45. С. 81-84.

17. 朱云珍 , 装配式混凝土结构建筑施工关键技术探析 (Zhu Y. Exploration of key technologies for the construction of assembled concrete structure buildings) // 施工技术 (Construction Technology). 2023. №6. С. 181-183.

18. 范瑜,张燕华,习羽翔, 基于 BIM 技术的混凝土装配整体式结构设计与优化 (Fan Y., Zhang Y., Xi Y. Design and Optimisation of Concrete Assembly Monolithic Structures Based on BIM Technology) // 建筑信息模型 (Building Information Modelling). 2023. №10. С. 1-3.

19. 施永雷,预制装配式建筑施工工艺要点分析 (Shi Y. Analysis of the key points of prefabricated assembly building construction process) // 广东土木与建筑 (Guangdong Civil Engineering and Architecture). 2019. Т. 26. №7. С. 72-76.

20. 王敬栋,高层建筑泵送混凝土浅谈 (Wang J. Pumping Concrete for High-rise Buildings) // 材料研究 (Materials Research). 2017. №10. С. 21.



21. 谢鹤院, 高层建筑施工中的铝模板施工技术探讨 (Xie H, Aluminium formwork construction technology discussion in high-rise building construction) // 四川建材 (Sichuan Building Materials). 2019. T. 45. №6. C. 132-134.

22. 王军军, 高层建筑钢结构施工技术分析 (Wang J. Analysis of steel structure construction technology for high-rise buildings) // 智能施工 (Intelligent Construction). 2020. №12. C. 210-211.

23. 中国土木工程科技 2035 发展趋势与路径研究 (China Civil and Structural Engineering Technology 2035 Development Trend and Path Research) // engineering.org.cn URL: [engineering.org.cn URL: engineering.org.cn/ch/article/19009/detail#collapseTwo](http://engineering.org.cn/ch/article/19009/detail#collapseTwo) (дата обращения: 23.01.2024).

24. 聂建国, 我国结构工程的未来—高性能结构工程 (Nie J. The Future of Structural Engineering in China - High Performance Structural Engineering) // 土木工程学报 (Journal of Civil Engineering). 2016. T. 49. №9. C. 1-8.

25. 冯元, 浅谈现代高层建筑施工技术 (Feng Y. Introduction to modern high-rise building construction technology) // 中外企业家 (Chinese and foreign entrepreneurs). 2019. №10. C. 124.

References

1. Shumejko I. Sh., Kudinov O.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164.

2. Sedegova L.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1698.



3. Zhang Sh., Wang Sh. China Construction Metal Structure. 2023. Vol. 22. № 5 pp. 34-36.
 4. Du Fu. Building science. 2012. p. 72.
 5. Yang L. Intelligent city. 2020. №13. pp. 139-140.
 6. Zhang K. Building technology. 2014. №4. pp. 57-58.
 7. Cao X., Shan Ch., Yang Ch. Shanxi Construction. 2006. Vol. 32. №2 pp. 85-86.
 8. Wang Q. Shanxi Construction. 2008. Vol. 34. №6 pp. 164-165.
 9. Yu Y. Construction technology. 2023. №9. pp. 148-150.
 10. Liu B. Engineering Technology and Application. 2019. №12. pp. 26-27.
 11. Luo X. Construction technology. 2014. №7. pp. 275.
 12. Zabroshennaya stroitel'naya ploshhadka Betonnaya karkasnaya konstrukciya [Abandoned construction site Concrete frame structure]. xsj.699pic.com URL: xsj.699pic.com/tupian/09e9hd.html (accessed: 05/11/2023).
 13. Li J. Construction technology. 2022. №12. pp. 150-153.
 14. Research Report on the Development of Construction Industrialisation in China. ccmsa.org.cn. URL: ccmsa.org.cn/fenhui/show.php?id=18359 (accessed: 05/11/2023).
 15. Li G. Science and technology communication. 2013. №8. pp. 81-82.
 16. Zhao X., Fan Y., Zhang B. Industrial building. 2015. №45. pp. 81-84.
 17. Zhu Y. Construction technology. 2023. №6. pp. 181-183.
 18. Fan Y., Zhang Y., Xi Y. Building Information Modelling. 2023. №10. pp. 1-3.
 19. Shi Y. Guangdong Civil Engineering and Architecture. 2019. Vol. 26. №7. pp. 72-76.
 20. Wang J. Materials Research. 2017. №10. p. 21.
 21. Xie H Sichuan Building Materials. 2019. Vol. 45. №6. pp. 132-134.
 22. Wang J. Intelligent construction. 2020. №12. pp. 210-211.
-



23. China Civil and Structural Engineering Technology 2035 Development Trend and Path Research. engineering.org.cn URL: engineering.org.cn/ch/article/19009/detail#collapseTwo (accessed: 23/01/2024).

24. Nie J. Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 49. №9. pp. 1-8.

25. Feng Y. Chinese and foreign entrepreneurs. 2019. №10. pp. 124.

Дата поступления: 2.02.2024

Дата публикации: 11.03.2024