

Модульное строительство и возможность применения модульных конструкций при надстройке зданий

С. Г. Абрамян, И. А. Улановский

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Статья написана на основе анализа ряда зарубежных и отечественных научных публикаций по исследуемой теме. Рассматривается возможность применения модульных конструкций, особенно объемных модулей-блоков для надстройки зданий при реконструкции. Отмечается, что применение трансформирующих объемных блоков-модулей значительно снижает транспортные расходы. Несмотря на ряд недостатков, присущих зданиям из модульных блоков, предлагается рассматривать применение объемных блоков-модулей как один из перспективных вариантов энергоэффективной реконструкции.

Ключевые слова: надстройка, модульные конструкции, объемные блоки, энергоэффективная реконструкция

Применение модульных конструкций рассматривается многими учеными [1—10] как одно из приоритетных направлений возведения зданий и сооружений, в том числе высотных и уникальных. Устойчивое развитие строительной отрасли, с вытекающими при этом экономическими, социальными и экологическими выгодами, позволяет активно использовать модули-блоки в строительстве. Не только рентабельность модульного строительства, но и снижение отрицательных факторов на окружающую среду достигается за счет сокращения продолжительности строительства. Особую популярность в последние пять-семь лет эти конструкции приобрели благодаря их энергоэффективности, так как отдельные конструктивные модули и объемные блоки-модули изготавливаются из энергоэффективных материалов, также существуют модули (контейнеры, блоки, боксы и т. д.) с готовой для эксплуатации отделкой.

Несмотря на то, что в научных публикациях [6, 7] модульное строительство характеризуется безопасностью выполнения строительномонтажных работ, в работе [11], наоборот, подчеркивается, что с точки зрения безопасности выполнения работ модульное строительство мало

изучено и проведены исследования по выявлению причин несчастных случаев. Авторы статьи отмечают, что «для улучшения показателей безопасности модульного сборного строительства, необходимо проводить дальнейшие исследования по стабилизации конструкций во время их подъема, хранения и постоянной установки, обеспечения защиты от падения в процессе сборки узлов на месте при работе с высотой и разработка учебных программ и стандартов, ориентированных на модульное строительство».

В целом технология строительства из объемных модулей не является инновационной [12]. В СССР еще в 1970-х гг. для решения жилищной проблемы практически во всех крупных городах строились целые кварталы из объемных железобетонных модулей размерами на комнату. Как отмечается в [13], «в Краснодарском крае до сих пор функционирует, и при этом довольно успешно, образованный в то время завод «ОБД», занимающийся производством объемных блочных элементов из железобетона, которые предназначены для строительства жилых домов (серии БКР-2, разработанной ЦНИИЭП жилых и общественных зданий)».

В настоящее время в России функционируют множество предприятий, в том числе и зарубежных, выпускающих готовые объемные блоки для модульного строительства, отвечающие современным требованиям дизайна и энергоэффективности, при этом наблюдается тенденция совмещения принципов объемно-блочного строительства и использования современных отделочных материалов.

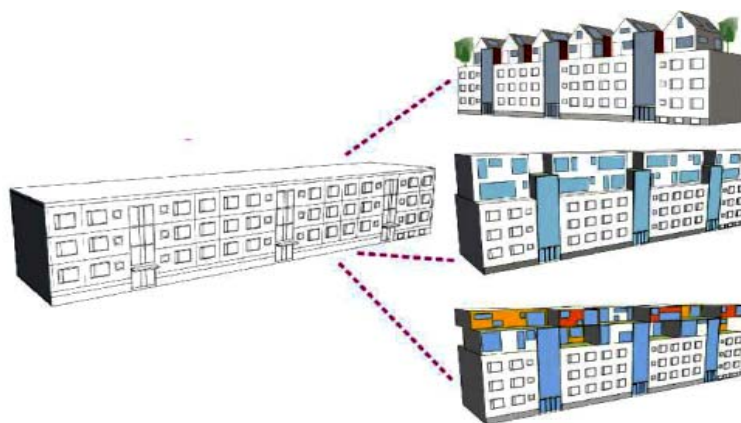
Эффективность применения модульных конструкций при реконструкции зданий способом надстройки рассматривается в публикациях [14—17].

В работе [16] отмечается, что «в Финляндии была проведена национальная программа исследований для изучения концепции реконструкции многоквартирных домов. Разработка экономически

оправданной индустриальной и эффективной концепции по обновлению, расширению многоквартирных домов». Как отмечается автором [16], данная концепция связана с применением объемных блоков, да и с точки зрения других авторов [18], при организации реконструкционных работ в стесненных условиях применение модульных конструкций является самым оптимальным. Они справедливо подчеркивают, что метод предварительной сборки позволяет максимально приблизить нормативную и фактическую продолжительности выполнения работ даже при возникновении форс-мажорных обстоятельств. Согласованность транспортировки объемных модулей с заводов-поставщиков на строительную площадку позволяет выполнить «монтаж с колес», что актуально при выполнении работ в стесненных условиях.

В некоторых перечисленных выше научных публикациях отмечается, что проектирование и изготовление объемных модулей любых типоразмеров не предоставляются возможными, так как отсутствуют машины с необходимыми габаритными размерами и грузоподъемностью для их транспортировки. В лучшем случае можно транспортировать один или два модуля, что приводит к росту транспортных расходов. Именно этот факт стал ключевым моментом для разработки трансформирующихся модульных объемных блоков, каркас которых изготавливается из легких стальных тонкостенных конструкций или легких металлических конструкций, а наружные и внутренние ограждающие конструкции представляют собой сэндвич-панели, изготовленные из композитных материалов. Как показывает строительная практика, в зависимости от размеров модулей одной машиной можно транспортировать 4—10 объемных трансформирующихся модулей-блоков.

На рис. приведены варианты надстройки трехэтажного здания модульными блоками, что констатирует факт изменения внешнего вида морально устаревшего здания.



Варианты надстройки трехэтажного здания модульными блоками [16]

Несмотря на перечисленные достоинства, считается [13], что здания из модульных конструкций, в том числе и реконструируемые, имеют определенные недостатки: вероятность снижения теплоизолирующих и прочностных характеристик спустя несколько десятков лет эксплуатации; ограничения по возведению на территории, где имеет место повышенный уровень влажности и отмечаются весьма низкие температуры в зимний период; необходимость осуществления монтажных работ работниками, обладающими высокой квалификацией.

В заключении отметим, что применение модульных конструкций и особенно объемных блоков-модулей необходимо рассматривать как один из перспективных вариантов обеспечения энергоэффективной реконструкции [19, 20]. Основными путями повышения организационно-технологических решений, а также энергоэффективности надстраиваемых этажей являются увеличение размеров, с одновременным снижением массы сборочных модульных элементов (готовые под финишную отделку), что возможно при

применении композитных материалов для изготовления модулей и конструктивных элементов.

Литература

1. Jiang L., Li ZF, Li L., Li TK, Gao YL. A Framework of Industrialized Building Assessment in China Based on the Structural Equation Model. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018. Volume: 15 (Iss. 8); Article number: 1687. DOI: 10.3390/ijerph15081687.

2. Liu XC, He XN, Zhang AL, Tian C., Zhang X., Tan YQ. Design and specification compilation of a modular-prefabricated high-rise steel frame structure with diagonal braces part II: Elastic-plastic time-history analysis and joint design. Structural Design of Tall and Special Buildings. 2018. Volume: 27 (Iss.2); Article number: e1414. DOI: 10.1002/tal.1414.

3. Deng EF, Yan JB, Ding Y., Zong L., Li ZX, Dai XM. Analytical and numerical studies on steel columns with novel connections in modular construction. International Journal of Steel Structures. 2017. Volume: 17 (Iss. 4); pp. 1613-1626. DOI: 10.1007/s13296-017-1226-5.

4. Zhang XX, Wang L, Jiang PM. Comprehensive benefits analysis of steel structure modular residence based on the entropy evaluation. IOP Conference Series-Earth and Environmental Science. 2017. Volume: 61; Article number: UNSP 012104. DOI: 10.1088/1755-1315/61/1/012104.

5. Gunawardena T., Ngo T., Mendis P., Alfano J. Innovative Flexible Structural System Using Prefabricated Modules. Journal of Architectural Engineering. 2016. Volume: 22 (Iss. 4); Article number: 05016003. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000214.

6. Boafu FE, Kim JH, Kim JT. Performance of Modular Prefabricated Architecture: Case Study-Based Review and Future Pathways. Sustainability. 2016. Volume: 8 (Iss. 6); Article number: 558. DOI: 10.3390/su8060558.

7. Lee WH, Kim KW, Lim SH. Improvement of floor impact sound on modular housing for sustainable building. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2014. Volume: 29; pp. 263-275. . DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.054.

8. Aye L., Ngo T., Crawford RH, Gammampila R., Mendis P. Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules. *Energy and Buildings*. 2012. Volume: 47; pp. 159-168. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.049.

9. Fantozzi F., Galbiati P., Leccese F., Salvadori G., Rocca M. Thermal analysis of the building envelope of lightweight temporary housing. 32ND UIT (Italian Union of Thermo-Fluid-Dynamics) Heat Transfer Conference. *Journal of Physics Conference Series*. 2014. Volume: 547; Article number: 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/547/1/012011.

10. Ruud S., Ostman L., Oradd P. Energy savings for a wood based modular pre-fabricated facade refurbishment system compared to other measures. *Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference Sbe16 Build Green and Renovate Deep*. *Energy Procedia*. 2016. Volume: 96; pp. 768-778. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.139.

11. Fard MM, Terouhid SA, Kibert CJ, Hakim H. Safety concerns related to modular/prefabricated building construction. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*. 2017. Volume: 24 (Iss. 1); pp. 10-23. DOI: 10.1080/17457300.2015.1047865.

12. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 148–155. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.13.

13. Генералова Е.М., Генералов В.П. Перспективы внедрения модульных конструкций в строительство высотных зданий // *Традиции и инновации в*

строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн. Сборник статей под редакцией: М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2016, С. 54-59.

14. Дорош Д. М. Эффективность надстройки жилых домов объемно-блочным методом (на примере Волгоградской области): дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. СПб., 2004. 157 с.

15. Зильберова И.Ю., Петров К.С., Едигарян Р.А., Курочкин И.А. Оценка актуальности применения технологии надстройки зданий из объемных блоков в современных условиях стесненной городской застройки // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. №2. С. 60-61.

16. Soikkeli A. Additional floors in old apartment blocks. Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference SBE16 Build Green and Renovate Deep. Energy Procedia. 2016. Volume: 96; pp. 815-823. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.143.

17. Pihelo P., Lelumees M., Kalamees T. Influence of Moisture Dry-out on Hygrothermal Performance of Prefabricated Modular Renovation Elements. Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference SBE16 Build Green and Renovate Deep. Energy Procedia. 2016. Volume: 96; pp. 745-755. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.137.

18. Khalili A., Chua DK. Integrated Prefabrication Configuration and Component Grouping for Resource Optimization of Precast Production. Journal of Construction Engineering and Management. 2014. Volume: 140 (Iss. 2); Article number: 04013052. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000798.

19. Абрамян С. Г., Матвийчук Т.А. К вопросу об энергетической эффективности зданий и сооружений. Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_45_Abramyan.pdf_2cfc520c48.pdf (дата обращения: 07.12.2018).

20. Абрамян С. Г., Матвийчук Т. А. Обеспечение энергоэффективности зданий за счет применения нового теплоизоляционного материала — пенокомпозита // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4097 (дата обращения: 07.12.2018).

References

1. Jiang L., Li ZF, Li L., Li TK, Gao YL. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018. Volume: 15 (Iss. 8); Article number: 1687. DOI: 10.3390/ijerph15081687.

2. Liu XC, He XN, Zhang AL, Tian C., Zhang X., Tan YQ. Structural Design of Tall and Special Buildings. 2018. Volume: 27 (Iss.2); Article number: e1414. DOI: 10.1002/tal.1414.

3. Deng EF, Yan JB, Ding Y., Zong L., Li ZX, Dai XM. International Journal of Steel Structures. 2017. Volume: 17 (Iss. 4); pp. 1613-1626. DOI: 10.1007/s13296-017-1226-5.

4. Zhang XX, Wang L, Jiang PM. IOP Conference Series-Earth and Environmental Science. 2017. Volume: 61; Article number: UNSP 012104. DOI: 10.1088/1755-1315/61/1/012104.

5. Gunawardena T., Ngo T., Mendis P., Alfano J. . Journal of Architectural Engineering. 2016. Volume: 22 (Iss. 4); Article number: 05016003. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000214.

6. Boafu FE, Kim JH, Kim JT. SUSTAINABILITY. 2016. Volume: 8 (Iss. 6); Article number: 558. DOI: 10.3390/su8060558.

7. Lee WH, Kim KW, Lim SH. Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2014. Volume: 29; pp. 263-275. . DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.054.

8. Aye L., Ngo T., Crawford RH, Gammampila R., Mendis P. Energy and Buildings. 2012. Volume: 47; pp. 159-168. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.049.



9. Fantozzi F., Galbiati P., Leccese F., Salvadori G., Rocca M. Journal of Physics Conference Series. 2014. Volume: 547; Article number: 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/547/1/012011.

10. Ruud S., Ostman L., Oradd P. Energy savings for a wood based modular pre-fabricated facade refurbishment system compared to other measures. Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference Sbe16 Build Green and Renovate Deep. Energy Procedia. 2016. Volume: 96; pp. 768-778. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.139.

11. Fard MM, Terouhid SA, Kibert CJ, Hakim H. International Journal of Injury Control and Safety Promotion. 2017. Volume: 24 (Iss. 1); pp. 10-23. DOI:10.1080/17457300.2015.1047865.

12. Zakharova M.V., Ponomarev A.B. Construction and Architecture (Rus). 2017. Vol. 8, no. 1, pp. 148-155. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.13.

13. Generalova E.M., Generalov V.P. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i dizajn. Sbornik statej (Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and design. Digest of articles). Samara, 2016, pp. 54-59.

14. Dorosh D. M. Effektivnost' nadstrojki zhilykh domov ob'emno-blochnym metodom (na primere Volgogradskoj oblasti) [The effectiveness of the superstructure of residential buildings by the block method (on the example of the Volgograd region)]: diss. kand. ehkon. nauk. SP., 2004.

15. Zilberova I.Y., Petrov K.S., Edigaryan R.A., Kurochkin I.A. BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki (Rus). [Bulletin of the construction equipment] 2018. №2. Pp. 60-61.

16. Soikkeli A. Additional floors in old apartment blocks. Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference SBE16 Build Green and Renovate Deep. Energy Procedia. 2016. Volume: 96; pp. 815-823. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.143.



17. Pihelo P., Lelumees M., Kalamees T. Influence of Moisture Dry-out on Hygrothermal Performance of Prefabricated Modular Renovation Elements. Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference SBE16 Build Green and Renovate Deep. Energy Procedia. 2016. Volume: 96; pp. 745-755. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.137.

18. Khalili A., Chua DK. Journal of Construction Engineering and Management. 2014. Volume: 140 (Iss. 2); Article number: 04013052. 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000798.

19. Abramyan S. G., Matviychuk T.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2017. №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_45_Abramyan.pdf_2cfc520c48.pdf

20. Abramyan S. G., Matviychuk T.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2017. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4097.