

Модульные конструкции и энергоэффективная реконструкция современных строительных систем

*С. Г. Абрамян, Р. Х. Ишмаметов, О. В. Оганесян, И. А. Улановский,
А. А. Дикмеджян*

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В статье рассматривается энергоэффективная реконструкция строительных систем с применением модульных объемных структур способом надстройки. Отмечается, что, в связи с существующим противоречием по определению термина «модульные конструкции», необходима классификация модульных конструктивных элементов по объемности, типоразмерам, легковесности, сборности, технологичности и экологичности. Приводится перечень основных мировых производителей строительных модульных объемных конструкций, применяемых как при строительстве новых, так и при реконструкции существующих зданий. Кратко описаны основные типы модулей и рассмотрены преимущества применения модульных конструкций.

Ключевые слова: строительные модульные конструкции, энергоэффективная реконструкция, надстройка, структурные и неструктурные модули, технологичность.

Одним из основных направлений повышения энергоэффективности реконструируемых зданий способом надстройки является использование модульных конструкций. При этом термин «модульные конструкции», достаточно широко трактующийся в современном строительном производстве, означает не только объемные блоки, контейнеры, боксы и т. д., но и отдельные элементы каркасной системы (балки, колонны, перекрытия, стеновые панели и т. п.), изготовленные в заводских условиях и полностью готовые к монтажу на строительной площадке [1-3].

Приведенное утверждение, конечно же, противоречит некоторым научным публикациям, где под модульными конструкциями или структурами подразумеваются только объемные блоки или структуры размерами с комнату, две комнаты, санузел, квартиру и т. д. В некоторых публикациях [4-6] предлагается разделение по сборности конструкций заводского изготовления, например, просто сборные конструкции, панельные конструкции, модульные конструкции, гибридные конструкции и унифицированные целые или части здания.

Подобное разделение конструкций, на наш взгляд, ошибочное, так как они все собираются или монтируются на проектных отметках с целью создания конечного строительного продукта и только отличаются по доли сокращения общих трудозатрат при возведении надстраиваемых этажей. В связи с этим считаем, что необходимо разработать классификацию модульных конструктивных элементов по следующим признакам: объемность, типоразмер, легковесность, сборность, технологичность и экологичность. Подобная классификация до настоящего времени отсутствует.

Между тем применение модульных структур (или конструкций) в строительном производстве имеет определенную историю. Первые модульные конструкции появились в конце 20-х — начале 30-х годов прошлого века, и первыми архитекторами в этом направлении были П. Беренс и В. Гропиус из Германии, Р. Нейтру и Б. Фуллер из США.

Особый интерес представляет научная публикация [7], где авторы одновременно рассматривают позитивные аспекты и ограничения модульной архитектуры, в качестве примера приводят такие уникальные объекты, как «Небесная деревня Бангару», «Фабрика свежей воды».

Вместе с тем применение модулей при надстройке дополнительных этажей реконструируемых зданий с научной точки зрения мало изучено, хотя существует определенный отечественный и зарубежный опыт.

В связи с этим в настоящее время идут активные поиски по разработке новых модульных элементов для надстраиваемых этажей, с повышенными организационно-технологическими, экономическими и экологическими решениями на всех стадиях жизненного цикла.

В целом, что касается вопроса прибыльности реконструкции зданий способом надстройки, то исследователи [8-11] считают, что применение модульных конструкций (структур) является самым рентабельным.

Основными мировыми производителями строительных модульных систем являются компании Clark Pacific (США), Arupand Partners, Britspace, Yorkon (Великобритания), Sekisui Chemicals, Daiwa, Misawa, National, Sekisui Heim, Toyota Homes (Япония) и др., каждая из которых выпускает определенный ассортимент модулей.

Например, американская компания Clark Pacific за 50 лет разработала множество технологий производства модульных систем (стенные модульные панели, плиты перекрытия), в том числе и в несъемной опалубке. Однако особое внимание компания уделяет технологии производства модульных элементов для надстройки каркасных зданий. Успех компании заключается в том, что она занимается не только производством модульных элементов, но и их проектированием, выпуском необходимых сборочных элементов с дальнейшей доставкой на строительную площадку и сборкой на месте. По желанию заказчиков компания вносит изменения в архитектуру и дизайн модульных элементов. Подобный интеграционный подход позволяет надстраивать дополнительные этажи различных архитектурных форм и объемно-планировочных решений.

Организационно-технологические особенности надстройки каркасных зданий с помощью разработок компании Clark Pacific обеспечиваются следующими решениями:

- после выполнения проектно-изыскательных работ проводятся работы по изготовлению сборочных элементов и устройству фундаментов на строительной площадке, так как надстройка возможна только методом «Фламинго» с учетом количества надстраиваемых этажей;

- сборочные модульные элементы отличаются большими размерами, например панели перекрытия на комнату, квартиру или этаж, стеновые панели на несколько комнат или несколько этажей, (рис. 1, а), что позволяет

сократить не только продолжительность работ на строительной площадке, но и транспортные расходы;

- сокращается общее количество машино-смен работы основных грузоподъемных механизмов из-за снижения общего количества операций по подъему сборочных единиц, так как, во-первых, применяются большегабаритные сборочные конструктивные элементы, а во-вторых, монтаж ведется «с колес»;

- при меньшем количестве рабочих и транспортирующих машин на объекте и монтаже конструкций «с колес» сокращается общая площадь строительного генерального плана, так как необходимо меньше площадок для временного складирования конструкций, парковок индивидуальных машин рабочих и временных бытовых помещений;

- сокращается отходоёмкость, так как сборочные конструктивные элементы изготавливаются под финишную отделку.

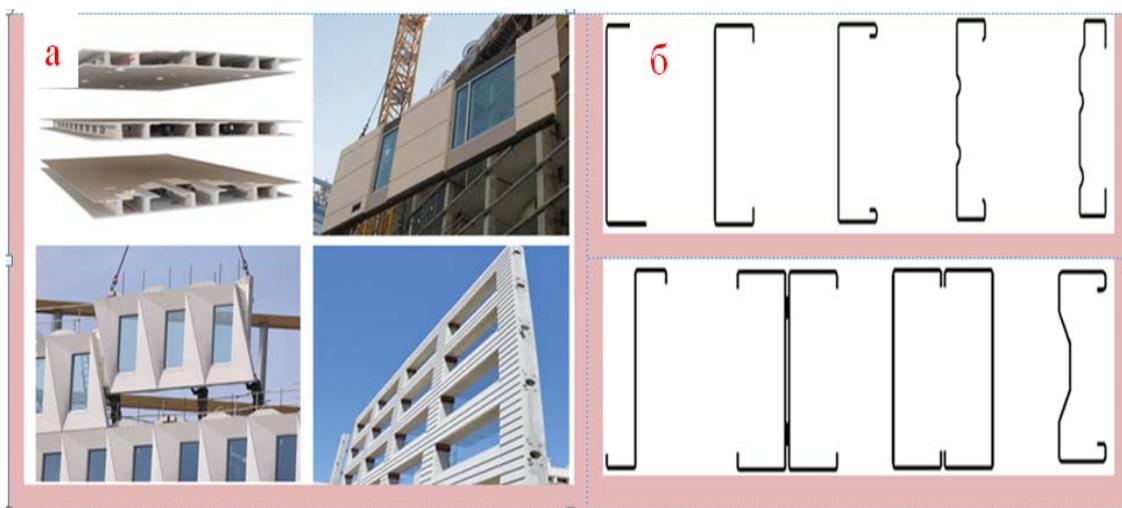


Рис. 1. — а) Внешний вид сборочных модульных элементов, разработка компании Clark Pacific; б) Виды профилей ЛСТК и ЛМК для изготовления ферм крышных объемных модулей

Технология надстройки дополнительных этажей с помощью модульных элементов компании Clark Pacific позволяет сократить продолжительность работ на 30...50 %.

Из специализированных британских компаний можно отметить Ove Arup and Partners, Britspace и Yorkon.

По технологии компании Ove Arup and Partners производятся объемные модульные блоки шириной 2,6 м и длиной 3,5 м, полностью оборудованные до доставки на площадку.

Компаниями Britspace и Yorkon была поставлена цель — надстраивать этажи с низкими эксплуатационными расходами и с высокой скоростью монтажа, поэтому ими были спроектированы и разработаны объемные модульные блоки с двумя спальными комнатами, модули, сочетающие гостиную и балкон, помещение для приготовления пищи, коридор и санузел. Компании разрабатывают объемные модульные блоки с учетом финансовых возможностей и пожеланий заказчиков. Все модули имеют не только готовую внутреннюю, но и внешнюю отделку.

В секторе модульного строительства разработки таких японских компаний, как Sekisui Chemicals, Daiwa, Misawa и National широко используют при надстройке существующих зданий. Их строительные технологии основаны главным образом на традиционном каркасном строительстве с использованием комбинации стальных профилей, которые разработаны в соответствии со строгим законом о строительных нормах. Для изготовления фасадных панелей в основном используют легкий бетон (автоклавный бетон).

Японские компании Sekisui Heim и Toyota Homes используют также стальные модули с открытым каркасом, которые в значительной степени адаптированы к индивидуальным требованиям потребителей. Адаптация возможна благодаря широкому использованию компьютерного проектирования (CAD) и автоматизированного производства (CAM).

В Японии, где модульные строительные объемные структуры продвинуты и занимают значительную долю рынка, также часто устанавливают системы мониторинга энергии.

Анализ научных публикаций показывает, что существуют следующие основные типы модулей, в которых используют легкие стальные каркасы, а именно:

структурные модули — функционируют как несущая стальная рама, каркас таких модулей выполняет роль несущей конструкции для модулей вышележащих этажей;

неструктурные модули — поддерживаются структурной рамой или прочным основанием. Эти модули могут быть расположены между основными конструктивными элементами или использоваться как не несущие конструкции.

Кроме вышеперечисленных модульных объемных блоков, все вышеуказанные компании производят объемные модули для крыш различного дизайна. Основу таких модулей составляют фермы из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) и легких металлических конструкций (ЛМК), профили которых приведены на рис. 1, б.

Основными преимуществами крышных объемных модулей с применением конструкций из ЛСТК и ЛМК являются: надежность при подъеме и транспортировке; простота и скорость изготовления (включая формирование соединений); легкость (для подъема и транспортировки, а также для создания небольших и более дешевых фундаментов); хорошее сопротивление вертикальным и горизонтальным нагрузкам; возможность изготовления длинных конструктивных элементов; высокий уровень тепло- и акустической изоляции обеспечен благодаря простоте крепления различных отделочных и облицовочных материалов; прочные соединения, выполненные

на месте (например, с помощью болтов); точность размеров и надежные свойства материала; долговечность.

В заключении отметим, что модульные конструкции — это многообещающая стратегия для реализации экологического строительства. По сравнению с первыми быстровозводимыми зданиями, которые были более ориентированы на удовлетворение быстрорастущего спроса на жилье в короткие сроки, в настоящее время модульные здания больше ориентированы на согласование различных систем, минимизации тепловых мостиков, повышение эффективности материала, автоматизацию и оптимизацию производства, рациональное использование времени, развитие потенциалов массовой застройки

По сравнению зданиями из других сборных конструкций модульные здания возводятся с наибольшей экономией времени, потому что имеют высокую степень заводской готовности. Требования для теплоизоляционных материалов и ограждающих конструкций для модулей заводской готовности абсолютно одинаковы — как для здания из привычных материалов, за исключением конструкций, которые обеспечивают возможность транспортировки модульного здания на площадку без повреждений. На протяжении многих лет модульные здания проектируются и строятся таким образом, что иногда невозможно отличить модульное здание от обычного. Модульные здания не имеют ограничений в дизайне, производстве и последовательности этапов строительства, а также в техобслуживании во время размещения, демонтажа, переработки или повторного использования.

Литература

1.Абрамян С.Г., Ишмаметов Р.Х. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в строительстве: монография / Волгогр. гос. техн. ун-т. - Волгоград, 2018. - 233 с.

2. 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: Бальзанникова М.И., Галицкова К.С., Ахмедовой Е.А.; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2016, С. 54-59.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Семикин П.П., Бацунова Т.П., Семикин П.В. Модульность в архитектуре высотных зданий // Известия вузов. Строительство. 2015, №5. С.64-69.

8. Абрамян С.Г., Улановский И.А. Модульное строительство и возможность применения модульных конструкций при надстройке зданий //



Инженерный вестник Дона, 2018, № 4. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5371.

9. Зильберова И.Ю., Петрова Н.Н., Героева А.М. Современные технологии надстройки мансардных этажей при реконструкции жилых зданий первых массовых серий // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (Часть 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1296.

10. 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.

11. 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.

References

1. Abramyan S. G., Ishmametov R.Kh. Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii v stroitel'stve [Energy-efficient and resource-saving technologies in construction]. Volgograd: VolgGTU, 2018. 233 p.

2. 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.

3. Zakharova M.V., Ponomarev A.B. Vestnik PNRPU: Construction and Architecture (Rus). 2017. Vol. 8, no. 1, pp. 148-155.

4. 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.

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

6. Deng EF, Yan JB, Ding Y., Zong L., Li ZX, Dai XM. International Journal of Steel Structures.

7. Semikin P.P., Batsunova T.P., Semikin P.V. News of Higher Educational Institutions: Construction (Rus), 2015, №4, pp. 64-69.

8. Abramyan S. G., Ulanovsky I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5371

9. Zilberova I.Y., Petrova N.N., Geroeva A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 4 (Part 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1296.

10. 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.

11. 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.