

Технологичность трансформирующихся и нетрансформирующихся объемных блок-модулей при возведении строительных систем

С.Г. Абрамян¹, А.В. Честнова¹, О.В. Оганесян¹, Р.О. Петросян², Л.И.
Черешнев¹, Л.А. Арутюнян¹

¹Волгоградский государственный технический университет,

²Национально-исследовательский Московский государственный строительный
университет

Аннотация: Рассмотрены технологии возведения зданий из объемных блок-модулей, которые в процессе монтажа могут изменять свои геометрические размеры и форму или остаться неизменяемыми. Приведены основные преимущества строительства зданий из объемных блок-модулей. На конкретных примерах приведена технологическая последовательность производства работ. Представлены горизонтальные и вертикальные узловые соединения. Выполнено сравнение двух вариантов по некоторым критериям монтажной технологичности.

Ключевые слова: здания, технология возведения, монтажная и транспортная технологичности, горизонтальное, вертикальное соединения, технологические процессы.

Широкие возможности модульного строительства, его преимущества по сравнению с другими современными технологиями строительства стали объектами исследования отечественных [1–3] и зарубежных ученых [4–6]. Патентный поиск [7–9] также показывает, что разрабатываются новые технические и технологические решения, обеспечивающие низкую материалоемкость, трудоемкость, отходоёмкость, уменьшение продолжительности производства работ на строительной площадке. Предлагается совершенствование способов изготовления объемных модульных блоков (ОБМ) и возведения зданий, новые технические решения по узловым соединениям и т. д.

Основными критериями оценки эффективности применения ОБМ, кроме перечисленных выше показателей, являются монтажная и транспортная технологичности. Установлено, что не изменяющие свои габаритные размеры (нетрансформирующиеся) и форму объемные блок-модули высокой заводской готовности имеют высокую монтажную

технологичность и низкую транспортную [3, 10], и наоборот: при высокой транспортной технологичности трансформирующихся объемных блок-модулей (ТОБМ) наблюдается сравнительно низкая монтажная технологичность. Отметим, что ТОБМ могут быть доставлены на строительную площадку как в трансформированном виде, так и в неизменном, но на строительной площадке могут трансформироваться и принимать совершенно другую форму.

Для выявления технологичности выполнения работ, в данной статье выполнено сравнение двух вариантов возведения зданий из объемных блок-модулей.

В качестве первого варианта принята технология, представленная в [7]. Предложенная авторами технология изготовления объемных блок-модулей позволяет возвести здания любого функционального назначения, любой конфигурации в плане, любых типоразмеров, планировочных решений и т. д. Готовые ОБМ имеют практически окончательную (финишную) отделку и доставляются на строительную площадку в упакованном виде с целью сохранения внешней и внутренней отделки.

Сущность технологии возведения зданий из ОБМ заключается в следующем. До доставки ОБМ на строительную площадку необходимо выполнить все работы подготовительного этапа и часть работ по устройству подземной части здания, а именно: должен быть устроен фундамент в соответствии с проектной документацией. Для повышения эффективности выполнения работ необходимо вести монтаж «с колес». В целом здание возводится на основе установки и стыковки (соединения) следующих видов ОБМ: квартирных, приквартирных, лестнично-лифтовых узлов и др.

В качестве второго варианта рассматривается разработка корейских изобретателей, предлагающих способ возведения высотных зданий из ТОБМ

полной заводской готовности [11]. Сущность предлагаемой технологии заключается в том, что на заранее традиционным способом возведенной подземной части здания делают маркировку мест установки ТОБМ первого этажа высотного здания. Далее, прямо с трейлера, транспортирующего только один блок, монтажным краном устанавливают в необходимое место (согласно маркировке) ТОБМ, условно назовем БМ-1. Таким же образом устанавливают второй по счету перевозимый блок-модуль (БМ-2) (рис. 1, а), и, как видно из рис. 1, б, между двумя установленными блок-модулями БМ-1 и БМ-2 образовывается межмодульное пространство (условно назовем МП-1).

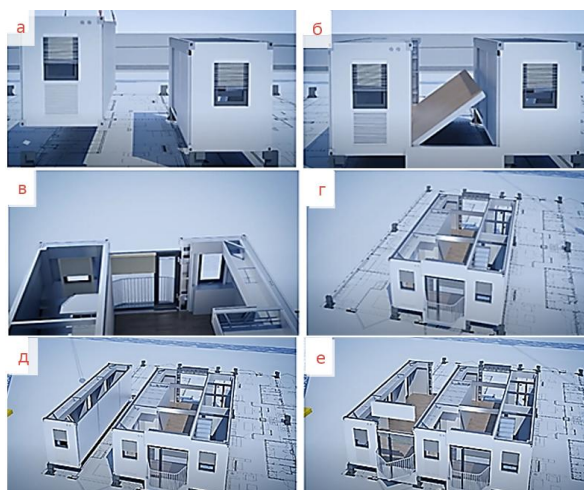


Рис. 1. – Монтаж ТОБМ: а – установка в проектное положение БМ-1 и БМ-2; б – трансформация БМ-2; в – трансформация БМ-1; г – полная трансформация БМ-1 и БМ-2, заполнение межмодульного пространства МП-1; д – установка в проектное положение БМ-3; е - трансформация БМ-3 и частичное заполнение межмодульного пространства МП-2 [11]

После происходит процесс трансформации установленных в проектное положение блок-модулей. Стеновая панель установленного в проектное положение второго модуля (БМ-2), принимая горизонтальное положение, соединяется с нижней частью установленного в проектное положение первого модуля (БМ-1). То есть межмодульное пространство равно высоте

ТОБМ и стеновая панель БМ-2 после трансформации становится чистым полом для нового модуля, который практически собирается из БМ-1 и БМ-2.

Далее происходит трансформация первого установленного модуля БМ-1. Трансформируется стеновая панель, которая ближе к МП-1 и состоит из двух одинаковых по размеру частей (но по внешнему виду могут быть и разные в зависимости от ширины здания), для заполнения межмодульного пространства МП-1. Раскрываясь как двухстворчатая дверь, они заполняют вертикальные части межмодульного пространства МП-1. Таким образом, трансформация двух блок-модулей – БМ-1 и БМ-2 – увеличивает объем будущего здания, а также полезную площадь в 1,5 раза.

Если ширина будущего здания соответствует длине ТОБМ, то две одинаковые части имеют оконные и (или) дверные проемы. При необходимости до принятия нужного проектного положения оборудуются балконными ограждениями (рис. 1, в).

В таких случаях на панелях, принимающих горизонтальное положение, дополнительно устраивают раздвижные балконные плиты, которые могут быть изготовлены в заводских условиях и входить в комплект ТОБМ вместе с балконным ограждением. В случае, если ширина здания будет соответствовать длине двух ТОБМ, то одна из открывающихся частей стеновой панели должна быть глухой. Как видно из рис. 1, г, в модуле БМ-1 предусмотрен лестнично-лифтовой узел.

Отметим, что по способу изготовления данные модули соответствуют типу «стакан», в отличие от предыдущей технологии, где все модули представляют собой замкнутое объемное пространство. Жесткое соединение двух трансформирующихся модулей осуществляют с помощью стальных балок, которые болтовым соединением в горизонтальном направлении закрепляют к стальным обрамлениям – перемычкам трансформирующихся блок-модулей.

Далее устанавливают в проектное положение БМ-3 (рис. 1, д), расстояние которого от ранее установленного БМ-2, согласно проектной документации, соответствует высоте модулей, таким образом создавая межмодульное пространство МП-2.

Стеновая панель БМ-3, которая ближе к модулю БМ-2, трансформируется в горизонтальное положение, далее принимают необходимое вертикальное положение ранее не трансформированные две равные части стеновой панели БМ-2. Таким образом заполняются три необходимые грани межмодульного пространства МП-2. После осуществляется соединение двух трансформирующихся модулей БМ-2 и БМ-3 (рис. 1, е) по технологии, описанной выше и соответствующей рис. 2.

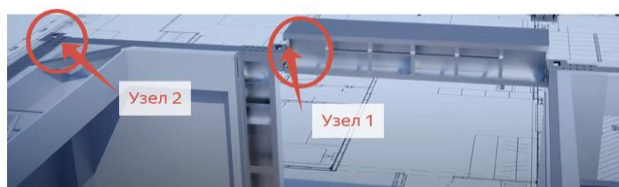


Рис. 2. – Узловое соединение объемных трансформирующихся блок-модулей:

узел 1 – стыковка первого и второго блок-модулей с помощью стальных балок; узел 2 – место стыковки второго и третьего блок-модулей [11]

Технология монтажа, включающая в себя три основных процесса: установка, трансформирование и жесткое соединение модулей заводской готовности после трансформации остальных блок-модулей – не отличается от ранее описанной.

Отметим, что блок-модули могут быть краевыми и рядовыми. К краевым относятся те, которые не полностью трансформируются, т. е. одна цельная стеновая панель в продольном направлении создает наружную вертикальную поверхность. Может быть и другая модификация, когда трансформируется только половина продольной стеновой панели, образуя балконную часть здания. Для покрытия последнего этажа используются

плоскостные модули на квартиру или более, они также могут быть трансформируемые, т. е. складчатые.

Рассмотрим последовательность производства работ при возведении типового надземного этажа по технологиям, предложенным в патенте [7] и [11], при этом по объемно-планировочным решениям они отличаются. Согласно [7] предусмотрены типовые нечетные и четные надземные этажи, которые отличаются по количеству монтируемых ОБМ (в нечетных – шесть объемных блок-модулей, в четных – пять (рис. 3).

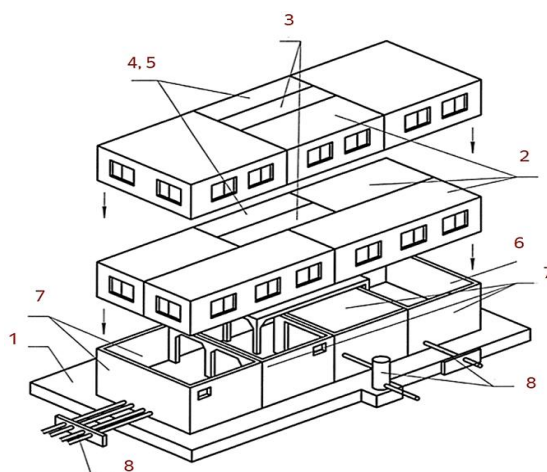


Рис. 3. – Вариант установки объемных модулей друг на друга (подземный и первые два этажа): 1 – фундамент; 2 – квартирные модульные блоки; 3 – приквартирные модульные блоки; 4, 5 – готовые модули лестнично-лифтовых узлов; 6 – модульные блоки с ребристыми стенами; 7 – модульные блоки подземного этажа; 8 – отверстия (трубы) для проведения коммуникаций (соответствует фигуре 2 [7])

Разное количество ОБМ, некоторые из них отличающиеся по длине и ширине, предусмотрено в целях монтажа объемных блок-модулей методом перекладки, что в целом обеспечивает конструктивную надежность здания.

В [11] рассматриваются однотипные по габаритным размерам ТОБМ, на всех этажах предусмотрено пять модулей. В таблице №1 приведена последовательность производства работ при возведении типового этажа по

технологиям, представленным в патенте [7] и [11], при этом в качестве типового этажа принят этаж из пяти ОБМ.

Таблица №1

Последовательность производства работ при возведении
типового этажа по рассматриваемым технологиям

Наименование технологических процессов по рассматриваемым технологиям	
из объемных блок-модулей (ОБМ) [7]	з трансформирующихся объемных блок-модулей (ТОБМ) [11]
1	2
Установка первого квартирного модуля в проектное положение и распаковка	Установка первого рядового модуля в проектное положение
Установка второго квартирного модуля в проектное положение и распаковка	Установка второго рядового модуля в проектное положение
Горизонтальная стыковка первых двух квартирных модулей	Частичная трансформация первого рядового модуля
Установка третьего квартирного модуля в проектное положение и распаковка	Частичная трансформация второго рядового модуля
Горизонтальная стыковка второго и третьего квартирных модулей	Горизонтальная стыковка первого и второго рядовых модулей
Установка приквартирного модуля в проектное положение и распаковка	Установка третьего рядового модуля в проектное положение
Горизонтальная стыковка квартирных модулей с приквартирным модулем	Частичная трансформация третьего рядового модуля
Установка лестнично-лифтового модуля в проектное положение и распаковка	Окончательная трансформация второго рядового модуля



Продолжение таблицы №1

1	2
Горизонтальная стыковка лестнично-лифтового модуля с приквартирным модулем и с первым и третьим квартирными модулями	Горизонтальная стыковка третьего и второго рядовых модулей
Трансформация перегородок первого квартирного модуля (при необходимости)	Установка четвертого крайнего модуля в проектное положение
Трансформация перегородок второго квартирного модуля (при необходимости)	Окончательная трансформация первого рядового модуля
Трансформация перегородок третьего квартирного модуля (при необходимости)	Необходимая (допустим, двухсторонняя) трансформация четвертого рядового модуля
	Горизонтальная стыковка первого рядового и четвертого крайнего модулей
	Установка пятого крайнего модуля в проектное положение
	Необходимая трансформация пятого крайнего модуля
	Окончательная трансформация третьего рядового модуля
	Горизонтальная стыковка третьего и пятого крайнего модулей

Окончание таблицы №1

1	2
	Горизонтальная стыковка третьего рядового и пятого краевого модулей

Итак, по количеству строительных процессов возведения типового этажа технология, представленная в патенте [7], более эффективна. Если в патенте указаны размеры квартирных, приквартирных и лестнично-лифтовых модулей, то по технологии [11] они неизвестны, в связи с чем трудно определить необходимые данные на один квадратный метр площади типового этажа здания.

Так как по технологии [11] квартира образовывается (собирается) из двух модулей, то по количеству стыковочных работ технология по патенту более эффективна. Межквартирные модули между собой и с квартирными, лестнично-лифтовыми модулями соединяются в восьми стыковочных местах, т. е. по углам готового модуля сверху и снизу. На рассмотренный типовой четный этаж [7] (см. рис. 3) приходится 32 горизонтальных стыка, а по вертикали 20.

Согласно технологии [11] количество горизонтальных стыков составляет 64, а вертикальных 16. Так как стыковка осуществляется с помощью стальных балок в количестве 16 штук, то на их установку в проектное положение требуются дополнительные трудовые затраты. Таким образом, по количеству межмодульных соединений технология модульного строительства [7] более эффективна.

Приведенные цифровые данные (рис. 4), характеризующие коэффициенты технологичности выполнения стыка и установки конструкций, а также высокая степень заводской готовности, коэффициент блочности, практически равный 1, степень укрупнения конструкций

доказывают высокую монтажную технологичность возведения модульного здания из ОБМ [7].

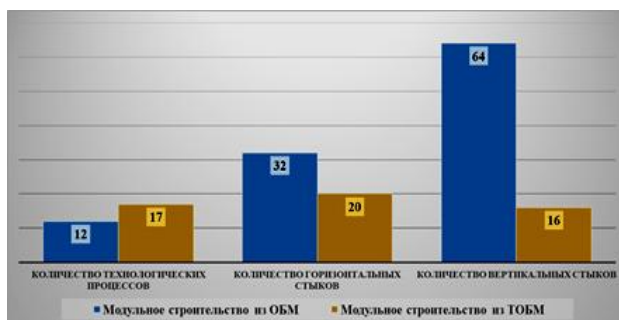


Рис. 4. – Значения показателей по количеству технологических процессов, горизонтальных и вертикальных стыков по сравниваемым технологиям

На первый взгляд, у данной технологии низкая транспортная технологичность по сравнению с технологией [11]. Однако из нескольких ТОБМ образовывается одна квартира, между тем готовые ОБМ представляют целую квартиру. Достоинствами технологии [11] являются легковесность и габаритные размеры модулей конструкций (ТОБМ), позволяющие при монтаже применять грузоподъемные механизмы меньшей грузоподъемности, а также для транспортировки блок-модулей трейлеров без дополнительной оснастки, что обеспечивает необходимую мобильность на строительной площадке.

Транспортировку крупногабаритных ОБМ можно осуществлять такелажными транспортерами марки TITAN с автономным приводом и высокой маневренностью, производства компании RA IN HO CO., LTD (Республика Корея). Технические характеристики машины позволяют транспортировать негабаритные и тяжеловесные грузы массой от 100 до 20 000 т как по территории промышленных объектов и в стесненных условиях, так и в труднодоступной местности.

Однако для транспортировки модулей, согласно технологии [7], необходимо установить дополнительные проставки, так как ширина модуля

больше 15 м. В целях повышения транспортной технологичности можно на одной машине транспортировать два модуля, если условия транспортирования позволяют.

Таким образом, за счет применения современных такелажных транспортеров модульное строительство из нетрансформирующихся крупногабаритных ОБМ становится более эффективным с точки зрения как монтажной, так и транспортной технологичности.

Литература

1. Kotlyarskaya, I.; Sinelnikov, A.; Iakovlev, N.; Vatin, N.; Gravit, M. Structural and technological features of modular multi-storey buildings. A review; 2022; AlfaBuild; 23 Article No 2304. doi: 10.57728/ALF.23.4

2. Дементьев Н.М., Волкодав В.А., Волкодав И.А., Титова И.Д. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта // Инженерный вестник Дона, 2023, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321/.

3. Абрамян С.Г., Котляревская А.В., Котляревский А.А., Галда З.Ю., Дикмеджян А.А. Трансформирующиеся и сборно-разборные объемные блок-модули, применяемые в строительстве // Инженерный вестник Дона, 2020, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755/.

4. Thirunavukkarasu K., Kanthasamy E., Gatheeshgar P., Poologanathan K., Rajanayagam H., Suntharalingam T., Dissanayake M., Sustainable Performance of a Modular Building System Made of Built-Up Cold-Formed Steel Beams. Buildings. 2021. Vol.: 11, pp. 460-496. DOI: 10.3390/buildings11100460

5. Ferdous W., Bai Yu, Ngo T., Manalo A., Mendis P. New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings. A state-of-the-art review. Engineering Structures. 2019. Vol.: 183, pp. 883-893. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.01.061.

6. Thai H., Ngo T., Uy B. A review on modular construction for high-rise buildings. Structures. 2020. Vol.: 28, pp. 1265-1290. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.09.070.

7. Амбарцумян С.А., Мещеряков А.С. Способ изготовления крупногабаритного готового объемного модуля и способ строительства здания из крупногабаритных готовых объемных модулей: пат. 2 712 845(13) С1. Рос. Федерация: МПК В28В 5/00; № 2018142384; заявл. 30.11.2018; опубл. 31.01.20, Бюл. № 4. 48 с.

8. Сычёв С.А. Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков: пат. 2 616 306 С1, Рос. Федерация: МПК Е04В 1/348; №2016114357; заявл. 13.04. 16; опубл. 14.04.17, Бюл. №11. 11с.

9. Новокрещенов В.П., Козыль А.А. Многоэтажное жилое здание: пат. 2 653 148(13) С1, Рос. Федерация: МПК Е04Н 1/00; №2017114323, заявл. 24.04.17; опубл. 07.05.18, Бюл. № 13. 11с.

10. Абрамян С.Г. Строительные энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии. Москва. РУСАЙНС, 2022. 286 с.

11. BROAD 5D Buildings construct a low carbon world. URL: youtube.com/watch?v=jL-iRjrZDic (дата обращения: 12.09.2023).

References

1. Kotlyarskaya, I.; Sinelnikov, A.; Iakovlev, N.; Vatin, N.; Gravit, M. Structural and technological features of modular multi-storey buildings. A review; 2022; AlfaBuild; 23 Article No 2304. doi: 10.57728/ALF.23.4

2. Dementyev N.M., Volkodav V.A., Volkodav I.A., Titova I.D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321/.

3. Abramyan S.G., Kotlyarevskaya A.V., Kotlyarevsky A.A., Galda Z.Yu., Dikmedzhyan A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755/.

4. Thirunavukkarasu K., Kanthasamy E., Gatheeshgar P., Poologanathan K., Rajanayagam H., Suntharalingam T., Dissanayake M., Sustainable Performance of a Modular Building System Made of Built-Up Cold-Formed Steel Beams. *Buildings*. 2021. Vol.: 11, pp. 460-496. DOI: 10.3390/buildings11100460

5. Ferdous W., Bai Yu, Ngo T., Manalo A., Mendis P. New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings. A state-of-the-art review. *Engineering Structures*. 2019. Vol.: 183, pp. 883-893. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.01.061.

6. Thai H., Ngo T., Uy B. A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*. 2020. Vol.: 28, pp. 1265-1290. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.09.070

7. Ambarcumjan S.A., Meshherjakov A.S. Sposob izgotovlenija krupnogabaritnogo gotovogo obemnogo modulja i sposob stroitel'stva zdanija iz krupnogabaritnyh gotovyh obemnyh modulej [A method for manufacturing a large-sized finished volumetric module and a method for constructing a building from large-sized ready-made volumetric modules]. Patent RF, № 2018142384; 2020, 48 p.

8. Sychev S.A. Sposob stroitel'stva mnogoetazhnykh zdaniy iz ob'emnykh blokov [Method for the construction of multi-storey buildings from threedimensional blocks]. Patent RF, № 2016114357; 2017, 11 p.

9. Novokreshhenov V.P., Kozyl' A.A. Mnogojetazhnoe zhiloe zdanie [Multi-storey residential building]. Patent RF, № 2017114323; 2018, 11 p.

10. Abramyan S.G. Stroitel'nye energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii. [Energy-efficient and resource-saving building technologies]. Moskva. RUSAYNS, 2022. 286 p.

11. BROAD 5D Buildings construct a low carbon world. URL: [youtube.com/watch?v=jL-iRjrZDic](https://www.youtube.com/watch?v=jL-iRjrZDic) (accessed 12.09.2023).