

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 4 / 2026, Vol. 18, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/16SAVN426.pdf>

DOI: 10.15862/16SAVN426 (<https://doi.org/10.15862/16SAVN426>)

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Грахов, В. П. Реконструкция модульных зданий: классификация и определение / В. П. Грахов, Ю. А. Толкачев // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/16SAVN426.pdf>.

DOI: 10.15862/16SAVN426.

For citation:

Grakhov V.P., Tolkachev Yu.A. Reconstruction of modular buildings: classification and definition. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(4): 16SAVN426. Available at: <https://esj.today/PDF/16SAVN426.pdf>.

DOI: 10.15862/16SAVN426. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 69.057

Грахов Валерий Павлович

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», Ижевск, Россия

Профессор

Доктор экономических наук, профессор

E-mail: pgs@istu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4783-9044>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=302611

Толкачев Юрий Александрович

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», Ижевск, Россия

Аспирант

E-mail: ukushen13@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1172186

Реконструкция модульных зданий: классификация и определение

Аннотация. Авторами представлено исследование, направленное на решение проблемы отсутствия единой терминологии и систематизации видов реконструкции применительно к модульным зданиям. Актуальность работы обусловлена ростом применения модульных зданий в качестве долгосрочных объектов, для которых реконструкция становится обязательным этапом жизненного цикла.

В работе проведён анализ научно-технической литературы, технических условий производителей и проектной документации, а также экспертный опрос специалистов с последующей математической обработкой результатов с вычислением среднего арифметического и стандартного отклонения. Выявлены пять ключевых особенностей модульных зданий, определяющие специфику реконструкции.

Предложена классификация по степени изменения объёмно-планировочного решения. Выделены четыре вида: реконструкция без изменения габаритов блоков, с изменением габаритов, с изменением количества блоков и комплексная реконструкция. С помощью комбинаторного анализа по четырём бинарным признакам доказана полнота классификации — она охватывает все 16 возможных сценариев преобразований с учётом передислокации. Разработан коэффициент относительных транспортных затрат, позволяющий сделать выбор между заводским и площадочным способом реконструкции. Обосновано пороговое значение

этого коэффициента. Сформулировано авторское определение реконструкции модульного здания, учитывающее замену блок-модулей, изменение их габаритов и перемещение объекта.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании реконструкции, снижении инвестиционных рисков и совершенствовании конструктивных решений модульных зданий. Практическая значимость работы подтверждается возможностью применения классификации для оптимизации логистических затрат и выбора рациональной стратегии реконструкции.

Ключевые слова: модульное строительство; реконструкция; классификация; объемно-планировочное решение; стандартизация; заводское изготовление; жизненный цикл

Введение

Современная строительная отрасль демонстрирует интерес к переходу на индустриальные методы производства зданий и сооружений [1]. Это обусловлено необходимостью повышения эффективности, снижения сроков возведения и стоимости объектов строительства. Одним из наиболее перспективных направлений индустриализации строительства является модульная технология, основанная на использовании объемных блок-модулей полной заводской готовности [2]. Основными преимуществами данного подхода являются: высокая скорость строительства, высокое качество производства работ, экономическая эффективность и мобильность объектов [3; 4]. Кроме того, одним из основных преимуществ является снижение экологического вреда окружающей среде [5].

В настоящее время, модульные здания уже не воспринимаются исключительно как временные объекты [6]. Их все чаще рассматривают для применения в долгосрочной перспективе в различных сферах: жилищное строительство (гостиницы, отели, апартаменты), социальная инфраструктура (школы, детские сады, медицинские центры) и коммерческая недвижимость [7]. Таким образом, реконструкция перестает быть возможной опцией, а становится обязательным этапом развития модульного объекта, который направлен на его адаптацию к меняющимся функциональным, технологическим и экологическим требованиям [8].

Однако существующая научно-методическая база по реконструкции зданий сформирована преимущественно для традиционных капитальных объектов. В этих теориях реконструкция рассматривается как вмешательство в целостную неразрывную систему, где любые изменения требуют перерасчёта всей конструкции. Модульные здания состоят из автономных блок-модулей, соединённых разборными узлами, и обладают свойством мобильности — возможностью демонтажа и перемещения. Это принципиальное различие порождает методологический разрыв: существующие подходы не позволяют прогнозировать эффективность реконструкции модульных объектов, выбирать рациональный способ. Кроме того, отсутствие специализированной нормативной базы и научно обоснованных методических подходов к реконструкции модульных зданий создает высокие риски для производителей, инвесторов и лиц, осуществляющих эксплуатацию таких объектов. В связи с этим разработка классификации видов реконструкции модульных зданий является важной научно-практической задачей, направленной на преодоление указанного методологического разрыва.

Анализ научной литературы показывает, что модульные конструкции часто рассматривают как временные решения [9]. Большинство исследований по реконструкции сфокусированы в основном на преимуществах модульного строительства, а также на возможности применения модульных технологий при реконструкции традиционных капитальных объектов [10–13]. Однако среди них также встречаются работы, которые отмечают возможность изменения объемно-планировочных параметров модульного здания за счет добавления или удаления отдельных блок-модулей [14]. Кроме того, по результатам отдельных исследований было

выявлено, что сборно-разборная конструкция модульных зданий позволяет заменять отдельные несущие элементы, а также наращивать уже существующие [15; 16].

В то же время зарубежный опыт подтверждает возможность и эффективность использования модульных зданий в качестве полноценных долгосрочных объектов, для которых возможна реконструкция [17; 18].

Однако вопросы, связанные непосредственно с реконструкцией, модернизацией и продлением срока службы модульных зданий, остаются малоизученными. В научных работах по теме модульного строительства отсутствует единая терминология и систематизация видов реконструкции применительно к объектам модульного типа, что обуславливает необходимость разработки соответствующей теоретической базы.

Целью данной работы является разработка классификации видов реконструкции модульных зданий. Основой для формирования классификации является обобщение предложенных в научной литературе вариантов преобразований, а также выявленных конструктивно-технологических особенностей. Для достижения поставленной цели необходимо выявить ключевые особенности модульной технологии, оказывающие влияние на процессы реконструкции. На основе анализа полученных данных необходимо разработать классификацию реконструкции модульных зданий по степени изменения объемно-планировочного решения, а также предложить варианты реализации реконструкции модульных зданий. Сформулировать авторское определение реконструкции модульного здания.

Методы

Методологической основой исследования послужил системный анализ научно-технической литературы, нормативной документации и проектной практики в области модульного строительства и реконструкции зданий. В рамках этого подхода был применён сравнительный анализ технических условий отечественных производителей блок-модулей, который позволил выявить и сопоставить ключевые особенности модульной технологии. Для изучения возможных сценариев реконструкции проведён анализ проектной документации для модульных зданий, введенных в эксплуатацию в период с 2022 по 2025 гг. В результате этого были определены основные параметры, влияющие на выбор стратегии реконструкции. Для обоснования порогового значения коэффициента относительных транспортных затрат проведён экспертный опрос. Статистическая обработка результатов опроса выполнена с использованием методов математической статистики. На основе синтеза полученных данных сформирована классификация. Для обоснования полноты классификации применён метод комбинаторного анализа, что позволило доказать отсутствие пропущенных вариантов.

Результаты

Анализ модульной технологии строительства позволил выделить ключевые особенности, которые оказывают влияние на этапе реконструкции. Все ключевые особенности представлены как факторы, которые позволяют определить основные направления в классификации:

Блочная структура (Ф1). Модульное строительство представляет собой технологию возведения зданий с помощью объемных элементов максимальной заводской готовности [19]. Каждый отдельный блок-модуль является самостоятельной конструкцией. Эта особенность позволяет рассматривать возможность реконструкции здания, посредством замещения отдельных блок-модулей. Однако это также усложняет процесс перепланировки, так как объединение пространства двух блок-модулей может потребовать усиления несущих элементов.

Заводская готовность (Ф2). В отличие от традиционного строительства, модульная технология подразумевает перенос основных производственных процессов в высокотехнологичные цеха [20].

Такой подход повышает качество строительства и минимизирует количество отходов, способствуя устойчивому развитию и сохранению природных ресурсов [21]. В результате исследования сделан вывод, что для повышения эффективности и качества реконструкции модульных зданий необходимо рассматривать возможность выполнения работ в высокотехнологичных цехах.

Транспортные габариты (Ф3). Модульные здания разрабатываются с учетом жестких ограничений по габаритным размерам блок-модулей, которые обусловлены требованиями автомобильной или железнодорожной транспортировки [22]. При реконструкции модульных объектов, любые новые или заменяемые элементы также должны соответствовать транспортным габаритам. Изменение габаритов блок-модуля возможно лишь в пределах, которые допускаются условиями перевозки. При превышении установленных транспортных габаритов требуется специальное разрешение, а также разработка проекта перевозки.

Разнотипность продукции и конструктивных решений (Ф4). Важной особенностью рынка модульного строительства, напрямую влияющей на процессы реконструкции, является его раздробленность. Большинство производителей на рынке производят модульные здания на основе собственных технических условий, что приводит к широкому разнообразию конструктивных решений, типов несущих каркасов, стыковых соединений и материалов отделки [23–25]. Данное обстоятельство создает существенные сложности при попытке типизации подходов к реконструкции.

Существенное влияние оказывает и специфика конструктивных соединений. Целостность здания обеспечивается за счет узлов стыковки блок-модулей, которые прорабатываются еще на этапе проектирования [26]. Это делает критически важным анализ исходной документации, а любые изменения требуют тщательного проектирования новых соединений.

Мобильность модульных зданий (Ф5). Исследование научно-технической документации и проектной документации показало, что реконструкция для модульных зданий зачастую выступает не как вынужденная мера, а как планируемый этап их жизненного цикла. Эта особенность напрямую вытекает из мобильности самих блок-модулей. Возможность их демонтажа, перевозки на новое место и последующей сборки формирует принципиально иной подход [27]. Реконструкция может подразумевать не только обновление здания на старом месте, но и его полную или частичную передислокацию с адаптацией к новым условиям и требованиям.

Для адаптации представленных факторов к последующей классификации необходимо разобрать определение. В соответствии с действующим законодательством, реконструкция объектов капитального строительства предполагает изменение параметров объекта, его частей (высоты, количества этажей, площади, объема) либо замену несущих строительных конструкций, за исключением случаев, когда такие изменения не затрагивают конструктивные и другие характеристики [28].

Учитывая конструктивные особенности (Ф1–Ф4) модульных зданий, достичь такого изменения можно следующими способами:

- изменением несущих элементов блок-модулей — замена или усиление каркаса, стен, перекрытий;
- изменением габаритов блок-модулей — увеличение или уменьшение длины, ширины, высоты блок-модулей;

- изменением количества блок-модулей — добавление или удаление модулей.

Данные способы охватывают все варианты реконструкции, предусмотренные действующим законодательством, а также учитывают специфику модульной технологии.

Однако для полного соответствия специфике модульных зданий необходимо также учесть возможность их передислокации (мобильность Ф5), а именно демонтаж и перемещение на новую площадку.

На основе выделенных способов, а также обобщая предложенные в научной литературе варианты, разработана классификация реконструкции по степени изменения объёмно-планировочного решения, включающая четыре основных вида (табл. 1).

Таблица 1

Классификация видов реконструкции модульных зданий

Критерий классификации	Вид реконструкции
По степени изменения объёмно-планировочного решения	Без изменения габаритов блок-модуля
	С изменением габаритов блок-модуля
	С изменением количества блок-модулей
	Комплексная реконструкция

Разработано авторами

Реконструкция без изменения габаритов блок-модуля позволяет сохранить исходные размеры, которые соответствуют стандартным транспортным габаритам. Данный подход предполагает изменение внутреннего пространства объёмного блока: замена инженерных систем (электропроводки, вентиляции, сантехники), увеличение толщины утепления ограждающих конструкций и перепланировка помещений. Такая реконструкция особенно эффективна при обновлении устаревшего оборудования, смене функционального назначения или повышении энергоэффективности объекта.

Реконструкция с изменением габаритов модуля относится к категории сложных преобразований, предполагающих трансформацию стандартных размеров блок-модулей. Данный подход применим в случаях, когда требуется увеличение полезного пространства, но установка дополнительного блок-модуля экономически нецелесообразна или технически невозможна.

Реконструкция с изменением количества блок-модулей направлена на трансформацию всего здания через добавление или удаление блок-модулей. Критически важным аспектом является обеспечение технологической совместимости существующих и новых элементов системы.

Добавление нового блок-модуля является более предпочтительным вариантом реконструкции, поскольку позволяет сохранить существующую конструкцию без вмешательства в её несущий каркас, что снижает риски нарушения целостности блок-модуля и самого здания. Стоит отметить, что окончательное решение должно учитывать экономическую целесообразность.

Комплексная реконструкция подразумевает одновременное изменение блок-модулей и изменение их общего количества. Этот вид обобщает комбинированные преобразования, которые могут встречаться на практике. Подобный подход является актуальным при необходимости не только расширить здание за счёт дополнительных блок-модулей, но и адаптировать часть существующих блок-модулей под новые требования.

Реконструкция модульных зданий в основном реализуется двумя способами, которые отличаются по месту выполнения работ: заводская и площадочная.

Заводская реконструкция обеспечивает максимальное качество производства работ за счет их выполнения в заводских условиях с использованием стационарного оборудования и соблюдением технологических режимов. Ключевыми преимуществами заводской реконструкции являются высокое качество всех заводских соединений и защитных покрытий, а также независимость производства работ от внешних условий [29].

В рамках заводской реконструкции выделяют две формы поставки: полностью готовые блок-модули и компактные транспортные упаковки типа «Транспак». «Транспак» представляет собой набор элементов конструкций в разобранном виде. Потолочная и напольная рамы образуют основание, внутрь которого укладываются остальные элементы, необходимые для окончательной сборки здания [30].

Площадочная реконструкция характеризуется минимальными затратами на логистику, а также возможностью оперативного выполнения работ без перемещения и демонтажа блок-модулей. Площадочная реконструкция оптимальна для объектов, транспортировка которых невозможна или экономически нецелесообразна. Однако для сложных преобразований, связанных с изменением количества или геометрии блок-модулей, данный подход имеет ограниченную применимость. Это связано с увеличением рисков снижения качества итогового объекта.

Возможность заводской реконструкции модульного здания основана на узла сопряжения блок-модулей. Они запроектированы разборными, что позволяет демонтировать отдельный блок-модуль без нарушения несущей способности всего здания [31]. В общем случае демонтаж включает: обеспечение доступа к блок-модулю (частичная разборка фасада и кровли), отключение инженерных коммуникаций в зоне стыков, отсоединение блок-модуля от фундамента и его подъём с помощью строповочных элементов, предусмотренных в каркасе. Доставка демонтированного блок-модуля до завода-изготовителя осуществляется теми же способами, что и поставка новых модулей на строительную площадку.

Для определения целесообразности применения заводской реконструкции предлагается использовать коэффициент относительных транспортных затрат. Фактическое значение коэффициента относительных транспортных затрат предлагается определять, как отношение стоимости транспортировки блок-модулей к стоимости заводских работ:

$$K = \frac{C_{тр}}{C}, \quad (1)$$

где:

$C_{тр}$ — стоимость транспортировки блок-модуля от завода-изготовителя до объекта, руб.;

C — стоимость заводских работ, руб.

Транспортные затраты рассчитываются с учётом расстояния и вместимости транспортного средства:

$$C_{тр} = c \cdot D \cdot P, \quad (2)$$

где:

c — средняя стоимость перевозки грузов на низкорамном трале, руб/км;

D — расстояние до завода-изготовителя, км;

P — необходимое количество рейсов, с учётом доставки модуля на завод-изготовитель и его возвращения на строительную площадку после выполнения работ.

Следует отметить, что стоимость транспортировки должна учитывать полный логистический цикл: доставку блок-модуля с площадки на завод-изготовитель и его возвращение обратно после завершения работ.

Стоимость заводских работ определяется на этапе предпроектной подготовки на основании проектных решений, укрупнённых сметных нормативов или коммерческих предложений потенциальных подрядчиков. Допускается использование экспертных оценок или аналогов, что обеспечивает возможность применения коэффициента даже при отсутствии проработанной документации.

Для определения порогового значения коэффициента относительных транспортных затрат был проведён экспертный опрос. В опросе приняли участие восемь специалистов в области модульного строительства, которые имеют стаж работы не менее 5 лет. Размер выборки признан достаточным для получения первичных пороговых значений в рамках настоящего исследования. Экспертам предлагалось оценить, при каком отношении транспортных затрат к стоимости заводских работ, добавление нового блок-модуля остаётся экономически оправданным (табл. 2). Процентные значения, полученные в результате экспертного опроса, были представлены в долях для упрощения расчета.

Таблица 2

**Результаты экспертного опроса по
определению порогового значения транспортных затрат**

Эксперт	Должность	Предложенный порог К
1	Главный инженер проекта	0,10
2	Ведущий инженер-проектировщик	0,15
3	Ведущий инженер-проектировщик	0,15
4	Ведущий инженер-конструктор	0,14
5	Ведущий инженер-технолог	0,12
6	Инженер-технолог	0,15
7	Руководитель отдела продаж	0,07
8	Руководитель проекта	0,18

Разработано авторами

Для обработки полученных данных использовались методы математической статистики. Среднее арифметическое значение вычисляется по формуле:

$$\bar{K} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n K_i, \quad (3)$$

где:

n — количество опрошенных экспертов;

K — значение порога, предложенное i-м экспертом, %.

В результате подстановки значений, полученных в результате опроса, среднее арифметическое значение предложенного порога составило 0,139.

Для оценки разброса мнений было рассчитано стандартное отклонение:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}, \quad (4)$$

Полученное значение стандартного отклонения составило 0,035 от среднего значения, а относительный разброс составляет примерно 26,1 %. Такой уровень согласованности экспертов

считается приемлемым.¹ На основе полученных данных в качестве порогового значения принято 0,14 (14 %). Если в результате расчета коэффициента относительных транспортных затрат, $K \leq 0,14$, то заводская реконструкция считается экономически оправданным и рекомендуется к применению.

Полученные в работе результаты дают возможность сформулировать авторское определение реконструкции модульных зданий. Реконструкция модульного здания — это комплекс работ по преобразованию объекта, включающий изменение его объемно-планировочных параметров, функционального назначения или эксплуатационных характеристик путем замены, добавления, изменения габаритов блок-модулей, модернизации их стыковых соединений и инженерных систем, а также перемещения объекта модульного строительства на новую площадку.

Обсуждение

Для проверки и обоснования полноты предложенной классификации по степени изменения объемно-планировочных решений, введем четыре бинарных признака. Данный признак основан на выявленных способах реализации изменений при реконструкции: изменением несущих элементов блок-модулей (Н), изменением габаритов блок-модулей (Г), изменением количества блок-модулей (К), передислокация (П). Каждый признак может принимать только два значения: 0 (признак отсутствует), 1 (признак присутствует).

Любое преобразование модульного здания, затрагивающее его объемно-планировочное решение, может быть описано комбинацией этих признаков (табл. 3).

Таблица 3

Соответствие комбинаций бинарных признаков и видов реконструкции

Н	Г	К	П	Обоснование	Вид реконструкции
0	0	0	0	Замена инженерных систем, увеличение толщины утепления	Без изменений габаритов блок-модуля
1	0	0	0	Замена (усиление) несущих элементов без изменения габаритов	
0	0	0	1	Полная передислокация модульного здания	
1	0	0	1	Усиление каркаса с последующей передислокацией	
0	1	0	0	Изменение габаритов блок-модулей	С изменением габаритов блок-модуля
1	1	0	0	Изменение габаритов блок-модулей с усилением несущих элементов	
0	1	0	1	Изменение габаритов блок-модулей с последующей передислокацией	
1	1	0	1	Изменение габаритов с усилением и последующей передислокацией	
0	0	1	0	Добавления или удаления блок-модулей	С изменением количества блок-модулей
1	0	1	0	Добавление блок-модулей с предварительным усилением	
0	0	1	1	Передислокация модульного здания с изменением количества блок-модулей	
1	0	1	1	Изменение количества блок-модулей, усиление и передислокация	
0	1	1	0	Изменение количества и габаритов отдельных блок-модулей	Комплексная реконструкция
1	1	1	0	Изменение количества и габаритов отдельных блок-модулей с усилением	
0	1	1	1	Изменение количества и габаритов блок-модулей с передислокацией	
1	1	1	1	Комплексная реконструкция с усилением и передислокацией	

Разработано авторами

Следует отметить комбинации, которые подразумевают увеличение габаритов или усиление несущих элементов блок-модулей с последующей передислокацией. Такие сценарии встречаются в проектной практике, но относятся к редким. Примером может служить ситуация,

¹ Количественные методы в менеджменте: учебное пособие / Юкаева Н. А. — Владивосток: Изд. дом Дальневосточного федерального университета, 2012. — 199 с. — URL: https://sektor-api.argos.uz/media/21.Юкаева_Н._Количественные_методы_в_менеджменте.pdf.

когда после изменения габаритов блок-модуля возникает необходимость его перемещения на новую площадку. При этом все работы по доработке каркаса будут выполнены в заводских условиях.

Таким образом, в рамках настоящего исследования классификация является полной. Любой возможный сценарий реконструкции модульного здания, который соответствует современному уровню развития технологии, попадает в один из четырёх видов реконструкции. С развитием модульного строительства и появлением новых конструктивных решений данная классификация может быть дополнена или уточнена.

Предложенная классификация впервые вводит формальные критерии, что позволяет унифицировать терминологию и создаёт основу для разработки нормативных документов в этой области. В отличие от исследований, где модульные блоки рассматриваются лишь как укрупнённые элементы для ускорения строительства, данная работа акцентирует внимание на том, что каждый блок-модуль сохраняет конструктивную самостоятельность на всех этапах жизненного цикла.

Интерпретация полученных результатов показывает, что наиболее распространённым на практике видом реконструкции является изменение количества блок-модулей, поскольку этот способ минимально вмешивается в существующую конструкцию и не требует сложных заводских доработок. Однако для повышения энергоэффективности или смены функционального назначения чаще востребована реконструкция без изменения габаритов. Реконструкция с изменением габаритов отдельных блок-модулей и комплексная реконструкция, хотя и описаны в классификации, на сегодняшний день встречаются реже из-за логистических сложностей и отсутствия отработанных технологических регламентов. Тем не менее, именно эти виды открывают наибольшие возможности для адаптации модульных зданий к меняющимся требованиям.

Ограничения исследования связаны прежде всего с эмпирической базой для обоснования порогового значения коэффициента транспортных затрат. Выборка из восьми экспертов, хотя и достаточна для первичной оценки, не позволяет учесть весь спектр региональных особенностей и типов модульных конструкций. В дальнейшем планируется провести апробацию коэффициента на реальных объектах с различной удалённостью от заводов-изготовителей и разной номенклатурой блок-модулей, что позволит уточнить порог и ввести поправочные коэффициенты для сложных логистических условий (например, для труднодоступных регионов).

Практическая значимость обсуждаемой классификации заключается в том, что классификация может быть использована при разработке технических заданий на проектирование и при заключении договоров подряда, так как однозначно определяет объём и характер вмешательства в существующий объект.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что она вносит вклад в развитие теории реконструкции зданий, дополняя её новым объектом — модульными зданиями. Предложенная классификация создает основу для последующих исследований в области управления жизненным циклом модульных.

Перспективы дальнейших исследований, помимо уточнения коэффициента, включают разработку методических рекомендаций по выбору вида реконструкции в зависимости от технического состояния блок-модулей, их остаточного ресурса и требуемых эксплуатационных характеристик.

Заключение

На основе анализа конструктивных особенностей модульных зданий выявлены пять ключевых факторов: блочная структура, заводская готовность, транспортные габариты, разнообразие конструктивных решений и мобильность.

Обозначенные в работе факторы определяют специфику реконструкции модульных зданий.

Разработана классификация видов реконструкции по степени изменения объёмно-планировочного решения, включающая четыре основных вида: без изменения габаритов блок-модулей, с изменением габаритов, с изменением количества блок-модулей и комплексная реконструкция.

С помощью комбинаторного анализа по четырём бинарным признакам доказана полнота классификации — она охватывает все 16 возможных сценариев преобразований, включая передислокацию объекта.

Предложен коэффициент относительных транспортных затрат K , позволяющий количественно обосновать выбор между заводским и площадочным способами реконструкции; на основе экспертного опроса установлено его пороговое значение $K = 0,14$.

Сформулировано авторское определение реконструкции модульного здания, учитывающее замену, добавление, изменение габаритов блок-модулей, модернизацию соединений и перемещение объекта, что расширяет нормативное понятие реконструкции применительно к модульным объектам.

Классификация и коэффициент могут быть использованы на этапе планирования реконструкции для снижения инвестиционных рисков, оптимизации логистических затрат и выбора рациональной стратегии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белогубкин, В. А. Перспективы развития модульного строительства / В. А. Белогубкин, А. С. Кушнир // VIII Международный студенческий строительный форум — 2023: Сборник докладов VIII Международного студенческого строительного форума — 2023, Белгород, 28 ноября 2023 года. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова, 2023. — С. 169–172. — EDN BTFRCO.
2. Пахомова, Л. А. Комфортное жилье нового индустриального поколения / Л. А. Пахомова, П. П. Олейник // Строительное производство. — 2020. — № 2. — С. 23–28. — DOI 10.54950/26585340_2020_2_23. — EDN TIRTYF.
3. Хоменко, В. В. Преимущества и недостатки модульного строительства как современного направления реализации жилищной политики в городах / В. В. Хоменко, В. А. Рыжова, Е. С. Стегний // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. — 2025. — № 2. — С. 7–10. — DOI 10.33764/2687-041X-2025-2-7-10. — EDN CZHVEI.
4. Юдин, А. А. Влияние модульного строительства на развитие АПК в Республике Коми / А. А. Юдин, Т. В. Тарабукина // Инновации и инвестиции. — 2025. — № 7. — С. 467–469. — EDN WVFAUN.
5. Хубаев, А. О. Мировая практика в области модульного строительства / А. О. Хубаев, С. С. Саакян, Н. В. Макаев // Construction and Geotechnics. — 2020. — Т. 11, № 2. — С. 99–108. — DOI 10.15593/2224-9826/2020.2.09. — EDN YFNMYP.

6. Егоров, А. А. Перспективы современного развития модульного строительства в Российской Федерации / А. А. Егоров, Г. А. Богданова // Научные теории и разработки в условиях глобальных перемен: пределы и возможности: Материалы XI Международной научно-практической конференции, Рязань, 28 июля 2023 года. — Рязань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Концепция", 2023. — С. 29–32. — EDN AYLGUIK.
7. Крыжановский, В. В. Модульные здания в современном строительстве / В. В. Крыжановский // Инженерные исследования. — 2023. — № 1(11). — С. 31–37. — EDN PQCATC.
8. Алексеева, Н. А. Концепция жизненного цикла модульного здания / Н. А. Алексеева, Ю. А. Толкачев // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сборник материалов V Национальной научно-практической конференции, Омск, 28 апреля — 29 2022 года. — Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2022. — С. 479–483. — EDN PSPXSD.
9. Луков, А. В. Использование модульных зданий в строительстве / А. В. Луков // Инновации и инвестиции. — 2017. — № 7. — С. 100–118. — EDN FIWBAX.
10. Абрамян, С. Г. Модульное строительство и возможность применения модульных конструкций при надстройке зданий / С. Г. Абрамян, И. А. Улановский // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 4(51). — С. 238. — EDN VEIPRB.
11. Захарова, М. В. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии / М. В. Захарова, А. Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2017. — Т. 8, № 1. — С. 148–155. — DOI 10.15593/2224-9826/2017.1.13. — EDN YLXSPN.
12. Харитонов, А. В. Энергоэффективная технология реконструкции существующих зданий / А. В. Харитонов // Вестник науки. — 2023. — Т. 3, № 10(67). — С. 583–592. — EDN MVPNHT.
13. Комаров, М. В. Применение металлических конструкций при реновации, реконструкции и модернизации зданий / М. В. Комаров // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ имени В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 6. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова, 2023. — С. 122–126. — EDN TQIANU.
14. Veliky, Ya. Modular construction development trends. A review / Ya. A. Veliky, D. V. Nemova, D. V. Kotov, V. Ia. Olshevskiy // Construction of Unique Buildings and Structures. — 2024. № 4(113). — С. 11302. — DOI: 10.4123/CUBS.113.2.
15. Холопов, И. С. Анализ напряженно-деформированного состояния быстровозводимого модульного здания / И. С. Холопов, В. С. Широков, А. В. Соловьев, Ю. Д. Макаров // Промышленное и гражданское строительство. — 2015. — № 6. — С. 15–19. — EDN TXOBCZ.
16. Рыбакова, А. О. Анализ особенностей проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности / А. О. Рыбакова // Строительство: наука и образование. — 2021. — Т. 11, № 2. — С. 65–77. — DOI 10.22227/2305-5502.2021.2.5. — EDN WVNZXN.
17. Kamali, M. Life cycle performance of modular buildings: A critical review / M. Kamali, K. Hewage // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2016. — Т. 62. — С. 1171–1183. — DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.031.

18. Parisi, L. Modular momentum: assessing the efficacy of modular construction in alleviating the UK housing crisis / L. Parisi, S. Donyavi // Discover Applied Sciences. — 2024. — Т. 6. — DOI: 10.1007/s42452-024-06268-4.
19. Широков, В. С. Конструктивные особенности модульных зданий / В. С. Широков // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14, № 3. — DOI 10.15862/03savn322. — EDN UASGWR.
20. Малаева, П. Ю. Модульные строительные конструкции: перспективы использования / П. Ю. Малаева, Е. В. Ерохина // Инновационная экономика и современный менеджмент. — 2020. — № 2(28). — С. 33–36. — EDN OCJLNR.
21. Давыдов, Д. Е. Инновационные подходы к автоматизации управления рабочей силой и производством в строительстве / Д. Е. Давыдов // Актуальные исследования. — 2024. — № 21-4(203). — С. 9–14. — EDN UZHRBL.
22. Грахов, В. П. Методика оценки уровня технологичности модульных зданий / В. П. Грахов, Ю. А. Толкачев // ЦИТИСЭ. — 2023. — № 4(38). — С. 200–208. — DOI 10.15350/2409-7616.2023.4.19. — EDN DNVCXB.
23. Алексеева, Н. А. Анализ ограничений, препятствующих развитию многоэтажного модульного строительства / Н. А. Алексеева, Ю. А. Толкачев // Социально-экономическое управление: теория и практика. — 2021. — № 4(47). — С. 12–18. — DOI 10.22213/2618-9763-2021-4-12-18. — EDN UCSPPA.
24. Гринев, А. П. Анализ научно-технического потенциала предприятий промышленности по производству санитарно-гигиенических модулей для Арктики / А. П. Гринев, И. М. Руднев, В. И. Кириленко, В. К. Тучков // Актуальные проблемы военнo-научных исследований. — 2019. — № 4(5). — С. 168–180. — EDN JHEDPM.
25. Пономаренко, А. М. Современные быстровозводимые модульные жилые здания / А. М. Пономаренко // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство: сборник статей 78-ой всероссийской научно-технической конференции, Самара, 19–23 апреля 2021 года. — Самара: Самарский государственный технический университет, 2021. — С. 585–592. — EDN LUBBVV.
26. Дементьев, Н. М. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта / Н. М. Дементьев, В. А. Волкодав, И. А. Волкодав, И. Д. Титова // Инженерный вестник Дона. — 2023. — № 4(100). — С. 402–434. — EDN YYNQJF.
27. Чепелева, К. В. Внедрение модульных систем в практике жилищного строительства Сибирского федерального округа / К. В. Чепелева, Е. А. Смирнов // Экономика строительства. — 2023. — № 4. — С. 234–238. — EDN ORIUND.
28. Бацаева, М. И. Оценка эффективности организационно-технологических решений при реконструкции зданий / М. И. Бацаева, А. В. Котляревская // Системные технологии. — 2023. — № 2(47). — С. 59–65. — DOI 10.55287/22275398_2023_2_59. — EDN WHMBNQ.
29. Воличенко, О. В. Мобильная модульная система для труднодоступных регионов / О. В. Воличенко, С. Н. Огородников, И. Халиль // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. — 2024. — № 2(46). — С. 76–86. — DOI 10.22227/2311-1518.2024.2.76-86. — EDN AEQDGT.
30. Грахов, В. П. Методика сравнения вариантов быстровозводимого временного жилья для размещения населения, пострадавшего в результате стихийного бедствия /

- В. П. Грахов, Ю. А. Толкачев // ЦИТИСЭ. — 2022. — № 2(32). — С. 317–326. — DOI 10.15350/2409-7616.2022.2.27. — EDN XTYVJM.
31. Узловые решения в стальных модульных зданиях, предназначенных для переселения из аварийного и ветхого жилья / О. С. Царева, В. С. Козодаева, В. М. Андреев, Д. А. Свириденко // Строительство и техногенная безопасность. — 2025. — № 37(89). — С. 25–33. — EDN UUARBK.

Grakhov Valery Pavlovich

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

E-mail: pgs@istu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4783-9044>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=302611

Tolkachev Yuri Alexandrovich

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

E-mail: ukushen13@yandex.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1172186

Reconstruction of modular buildings: classification and definition

Abstract. The authors present a study aimed at solving the problem of the lack of a unified terminology and systematization of reconstruction types as applied to modular buildings. The relevance of the work is driven by the growing use of modular buildings as long-term facilities, for which reconstruction becomes a mandatory stage of the life cycle.

The work includes an analysis of scientific and technical literature, manufacturers' technical specifications and design documentation, as well as an expert survey of specialists followed by statistical processing of the results with the calculation of the arithmetic mean and standard deviation. Five key features of modular buildings are identified that determine the specific nature of their reconstruction.

A classification is proposed according to the degree of change in the space-planning solution. Four types are distinguished: reconstruction without changing block dimensions, with changing block dimensions, with changing the number of blocks, and comprehensive reconstruction. By means of combinatorial analysis based on four binary attributes, the completeness of the classification is proved — it covers all 16 possible transformation scenarios, including relocation. A relative transport cost coefficient is developed to enable a choice between factory-based and on-site reconstruction methods. The threshold value of this coefficient is substantiated. An original definition of modular building reconstruction is formulated, taking into account the replacement of block modules, changes in their dimensions, and relocation of the object.

The obtained results can be used in reconstruction planning, reduction of investment risks, and improvement of structural solutions for modular buildings. The practical significance of the work is confirmed by the possibility of applying the classification to optimise logistics costs and select a rational reconstruction strategy.

Keywords: modular buildings; reconstruction; classification; space-planning solution; standardization; factory manufacturing; life cycle