

Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта

Н.М. Дементьев¹, В.А. Волкодав², И.А. Волкодав², И.Д. Титова²,

¹ Вологодский государственный университет

² Научно-инженерный центр цифровизации и проектирования в строительстве, Санкт-Петербург

Аннотация: Рассматривается опыт стандартизации в области модульного строительства и зданий заводской готовности Китая, США, Канады, Великобритании, Франции, Нидерландов, Германии и других. Произведен анализ действующей в РФ профильной нормативно-технической документации (НТД). Анализ отечественной и зарубежной НТД показал, что единого подхода к нормированию рассматриваемой предметной области не существует. В настоящее время необходима актуализация НТД РФ в области модульного строительства. По результатам анализа и обобщения мировой практики в области модульного строительства, разработаны рекомендации и предложения в части работы с терминами и определениями, предложены варианты развития НТД РФ в области модульного строительства и темы работ для развития регулирования модульного строительства.

Ключевые слова: модульное строительство, быстровозводимые здания, здания заводской готовности, научно-техническая документация.

Интерес к зданиям заводского изготовления появился в начале XX века в связи с потребностью в качественном и быстровозводимом жилье, в сокращении сроков возведения зданий, в необходимости экономии ресурсов и повышении доступности жилья.

По состоянию на 2023 год, модульное строительство находится среди приоритетных направлений развития строительного сектора. Согласно Постановлению Правительства РФ от 30.12.2017 №1710 «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации», создается комфортная среда для стимулирования внедрения новых инновационных технологий в производстве строительных материалов, изделий и конструкций.

Интенсивное использование технологии модульного строительства, например, для освоения территорий Сибири и Крайнего Севера, поднимает вопрос о необходимости развития нормативной базы в рассматриваемой

области. Для корректного использования данного вида технологий необходима нормативно-техническая документация (НТД), охватывающая все строительные процессы на протяжении всего жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства. В 2022 году компанией ООО «НИЦ ЦПС» было проведено исследование [1], в рамках которого проанализирована зарубежная НТД в области зданий заводского изготовления, включая модульные и быстровозводимые здания, типовые конструкции и унифицированные решения. В рамках настоящей статьи рассмотрен отечественный и зарубежный опыт использования модульного строительства, быстровозводимых зданий, зданий заводского изготовления, а также НТД в данной области.

По оценкам авторов [2], значительное увеличение строительства многоэтажных модульных зданий заводского изготовления в Великобритании связано с инициативой 2004 года по увеличению процента строительства для социальных нужд до 25% от всего объема вводимых в эксплуатацию объектов. Помимо этого, в работах [2-4] приведены основные факторы, которые ограничивают распространение данной технологии:

- отсутствие нормативной базы для проектирования модульных зданий;
 - отсутствие специалистов и неосведомленность потенциальных инвесторов;
 - отсутствие координации и коммуникации между заинтересованными сторонами;
 - более высокая стоимость;
 - отсутствие государственной поддержки;
 - трудности транспортировки;
 - необходимость надежных систем соединения модулей между собой;
-

– значительные начальные капитальные затраты на развертывание производства модулей.

Согласно [2], внедрение технологии модульного строительства в мире происходит медленно, но разработка нормативно-технической документации в данной области и обучение специалистов могут значительно ускорить этот процесс. Авторы также рекомендуют проведение научно-исследовательских работ по улучшению стыковых соединений модульных зданий. Ожидается, что доля модульного строительства в Австралии вырастет с текущих 3% до 5–10% к 2030 году.

В исследованиях [5] рассматривается экономическая эффективность модульных зданий. Согласно представленным данным, применение сборной системы со стальным каркасом привело к снижению расхода материалов до 78% по массе по сравнению с бетонной конструкцией.

Кроме положительного эффекта, связанного с применением модульных зданий, необходимо также оценивать возможные риски. Исследователи Республики Корея по результатам анализа лучших международных практик [6] выявили более 20 факторов риска, влияющих на успешное выполнение проекта на разных стадиях (проектирование, производство, транспортировка, подъем, сборка). Авторами предложен алгоритм управления строительством с применением модульных технологий для различных конкретных случаев.

Основной проблематикой модульного строительства, исследуемой в научной среде, является обеспечение прочности и устойчивости модульных конструкций и их соединений [7-9]. Предлагаются новые варианты соединений блоков между собой с последующим контролем на стадии эксплуатации. Рассматриваются вопросы создания самоцентрирующихся и самозапирающихся узлов стыковки объемных блоков. В некоторых работах [10, 11] соединения рассматриваются с применением метода конечных элементов, рассматривается передача нагрузки через узлы на прилегающие

модули. Помимо этого, отечественные ученые упоминают о возможных дефектах, которые могут проявиться в ходе эксплуатации [12]. По большей части они относятся к стыковым соединениям, например, трещины или разрушение самих стыков. В публикации об исследовании трудозатрат на устройство мансард [13] быстровозводимых зданий выявлено превышение фактических затрат нормативных, что свидетельствует о необходимости доработки действующей НТД.

Актуальными являются исследования модульных конструкций на сейсмические воздействия в области многоэтажных зданий, так и отдельных характеристик [14-16]. В некоторых работах [2, 17] рассматриваются композитные материалы в модульных зданиях, такие, как сталебетон и композиты на основе полимеров, армированных волокнами.

Строительство зданий из модулей заводского изготовления вызывает интерес у инвесторов и застройщиков, благодаря ряду преимуществ по сравнению с традиционным строительством:

- сокращение времени строительства;
- повышение качества зданий за счет заводского изготовления элементов при соответствующем контроле;
- сокращение затрат на строительные материалы;
- сокращение отходов.

Рассматриваемая технология интенсивно развивается, благодаря чему в некоторых странах мира модульные здания в скором времени должны занять до 10% от всех вводимых в эксплуатацию объектов. Однако отсутствие нормативно-технической базы для проектирования модульных зданий, трудности при транспортировке, отсутствие обученных кадров и неосведомленность инвесторов, а также значительные капитальные затраты на развертывание производств модульных конструкций тормозят развитие модульного строительства.

Отечественные исследователи, занимающиеся анализом нормативной документации РФ [18], говорят о недостаточном информационном обеспечении в сфере модульного строительства, в частности, требует доработки раздел огнестойкости [19, 20]. В своде правил СП 501.1325800.2021 «Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства» описывается лишь применение бетона и железобетона, не решен вопрос использования других материалов и изделий из них, например стали, древесины и композитов. При этом, легкие металлические модули имеют преимущества, обусловленные простотой процесса изготовления и характеристиками материала. Применение композитных материалов в модульном строительстве также способно дать положительный эффект [21].

В работе [22] авторами сделан вывод о необходимости дальнейшего развития НТД в области модульного строительства по следующим направлениям:

- проектирование блочно-модульного строительства;
- производство строительно-монтажных работ;
- изготовление модульных блоков;
- контроль качества модульных блоков.

Помимо этого, в [23] приведены рекомендации для использования модульного строительства при реализации федеральных программ с ограниченным сроком выполнения проектов.

Исследователи, описывающие в [24-26] перспективы развития модульного строительства, сходятся во мнении, что оно становится все более распространенным в мире. В России модульное строительство также может стать новым равноценным вариантом капитального строительства [27]. Применение типовых конструкций обеспечит оптимизацию финансовых и трудовых ресурсов и сокращения сроков монтажа [28, 29].

В некоторых публикациях [30] отмечено, что России необходимо адаптировать зарубежный опыт различных стран, в которых модульное строительство развито в большей степени, даны рекомендации по устройству технологической части модульных конструкций, их производству и проектированию.

По результатам анализа отечественных источников можно сделать вывод о том, что для развития модульного строительства особенно целесообразна государственная поддержка в части создания новой НТД [31], охватывающей все материалы, применяемые в модульном строительстве.

Помимо этого, учитывая дальнейшие возможные положительные эффекты, возникающие при увеличении количества проектируемых и строящихся быстровозводимых, сборных и модульных зданий, развитие и применение технологий модульного строительства может быть включено в качестве одного из обязательных условий реализации целого ряда федеральных программ. Ими могут служить проекты по освоению территорий крайнего севера или модульному строительству детских садов, школ, малоэтажного и многоэтажного социального жилья, гостиниц, объектов туризма и других социально-значимых зданий по всей стране.

В ходе исследования авторами настоящей статьи проанализирована НТД наиболее продвинутых с точки зрения нормирования и применения модульного быстровозводимого и сборного строительства стран, лидерами среди которых являются США, Китай, Канада, Великобритания, Нидерланды, Германия, а также Сингапур.

По результатам анализа базовых для рассматриваемой предметной области терминов и определений в составе НТД РФ найдено около десяти терминов и определений, большая часть которых относится к мобильным инвентарным зданиям и содержится в национальном стандарте РФ ГОСТ Р 58759-2019 «Здания и сооружения мобильные (инвентарные).

Классификация. Термины и определения». В СП 380.1325800.2018 «Здания пожарных депо. Правила проектирования» отсутствует определение термина «модульные быстровозводимые конструкции», а в СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» и СП 501.1325800.2021 «Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства» определения не охватывают всю область быстровозводимых зданий. Проведенный анализ показал недостаточность терминологической базы в области модульных быстровозводимых зданий и конструкций, а также зданий заводского изготовления в отечественной НТД.

В рамках анализа релевантной зарубежной терминологии в рамках исследования рассмотрены НТД Китая, США, Канады, Франции, Чехии, Великобритании и Германии.

Выявленные в ходе анализа термины были классифицированы и распределены по трем основным категориям (рис. 1):

- общие термины;
- термины, относящиеся к зданиям;
- термины, относящиеся к конструкциям.

Китайская нормативно-техническая документация также определяет быстровозводимые здания через методы заводского изготовления элементов зданий за пределами площадки (примером подобного документа может служить «Стандарт оценки быстровозводимого здания»), нормы США разделяют объемную, необъемную и комбинированную модульные конструкции [31], а в Германии применяется множество терминов [32], описывающих используемый материал в наименованиях модульных зданий.

Оптимальной схемой [31] для классификации конструкций высокой степени готовности является схема, предложенная Fannie Mae совместно с National Institute of Building Sciences (NIBS, USA), описывающая принцип классификации модульных конструкций (рис. 2).

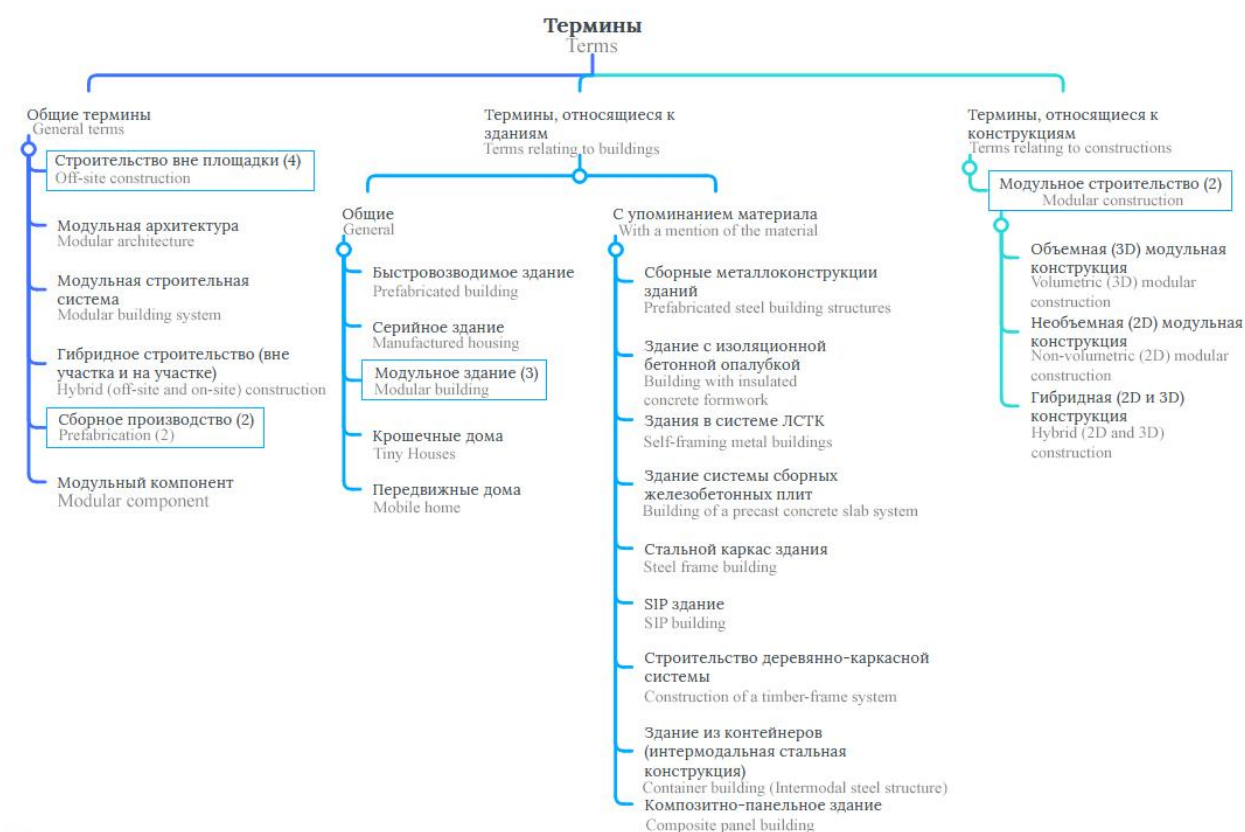


Рис. 1. – Термины зарубежной НТД в области модульного строительства (в скобках указана частота упоминания)

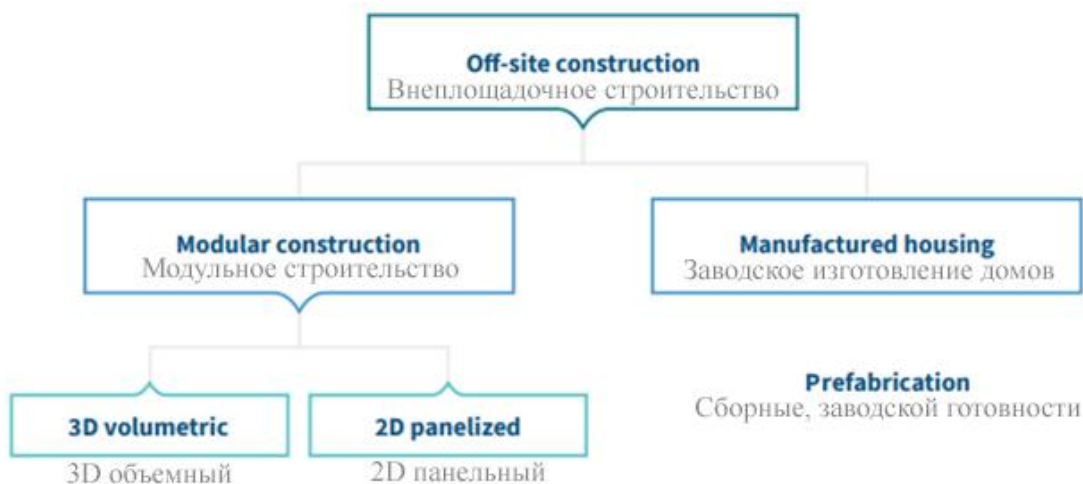


Рис. 2. – Схема классификации конструкций для внеплощадочного строительства [31]

В зарубежных нормах и методических документах большое внимание уделено применению информационного моделирования в модульном строительстве. Для рационального развития и применения технологии

быстровозводимых зданий из модулей рекомендуется использовать классификацию строительных элементов, изделий и материалов. Атрибутивная информация в составе информационной модели, используемая на стадии проектирования, в дальнейшем применяется при изготовлении элементов на заводах, строительстве и в дальнейшей эксплуатации зданий такого типа.

Для продуктивного внедрения модульного строительства на территории РФ необходима классификация элементов здания на всех этапах ЖЦ, начиная с заводского изготовления при помощи классификатора строительной информации (КСИ) [33-35].

Нормативно-техническая документация Китая, регулирующая применение технологий модульного и быстровозводимого строительства, представляет собой ряд документов со схожим назначением, в основном отличающихся материалами элементов здания и территориями применения.

Для стальных конструкций коробчатого типа в Китае используется документ T/CECS 641-2019 «Техническая спецификация (технический регламент) комплексного модульного здания коробчатого типа со стальной конструкцией», регулирующий практически все стадии ЖЦ: проектирование, производство, транспортировку, монтаж на объекте, приемку качества, эксплуатацию и управление комплексными модулями.

Весьма насыщенным документом является DB32/T3750-2020 «Технический регламент для интегрированного модульного здания со стальным каркасом Технический регламент провинции Цзянсу»), рассматривающий строительство сборных зданий со стальным каркасом на протяжении всего ЖЦ объекта и включающий терминологию, требования к проектным разделам, производству и транспортировке модулей, процессам строительства и монтажа на местности, по соблюдению правил качества при приемке, а также требования по обслуживанию и дальнейшей эксплуатации

здания. В документе также приведены рекомендации о необходимости использования технологий информационного моделирования (ТИМ) при использовании сборных стальных конструкций и делается акцент на экологичность материалов и изделий.

Технический регламент DB33/T1165-2019 «Стандарты оценки сборных зданий провинции Чжэцзян [с текстовым описанием]» имеет схожую структуру с GB/T 51129-2017 «Национальный стандарт Китайской Народной Республики Стандарт оценки сборных зданий», но содержит требования по изготовлению и проверке модулей на заводе. Документ включает в себя большое количество качественных и количественных характеристик, например, допустимые габаритные размеры элементов металлоконструкций, стеновых панелей, требования к монтажному положению напрягаемых стальных стержней и закладных деталей, а также допустимые отклонения при сборке модулей. В регламенте содержится важная информация по сертификации модулей, согласно которой модуль считается сертифицированным, если он прикреплен к объекту с сертификатом продукта (модуля), выданным изготовителем.

Документация различных провинций Китая содержит требования по определению процентного соотношения элементов здания, выполняемых в заводских условиях к элементам, изготовленным на площадке (коэффициент сборности) и стандартизацию его оценки. Приводятся формулы для расчета коэффициента сборности и предъявляемые к нему требования в зависимости от результатов расчета. Помимо этого, приводятся формулы для расчета коэффициента сборности различных частей сооружения.

Приоритетным документом, на который опираются стандарты провинций, является Национальный стандарт Китайской Народной Республики (КНР) GB/T 51129-2017 «Национальный стандарт Китайской Народной Республики Стандарт оценки сборных зданий», описывающий

вычисление общего коэффициента сборности для всего здания в зависимости от коэффициентов сборности его основных элементов (например, несущих конструкций, ограждающих конструкций, инженерных сетей, отделки и другие). Каждый из элементов здания должен получить определенное количество баллов от минимального значения и выше. В результате расчета общего коэффициента сборности зданию присваивается класс от «А» до «ААА». Если коэффициент сборности здания не превышает 35%, то дальнейшая оценка качества проекта производиться не может. Акцент в указанных документах сделан, преимущественно, на стальных конструкциях, что говорит о широком применении стальных модульных конструкций в Китае.

В США одной из авторитетных организаций-разработчиков норм является негосударственная организация International Code Council (ICC, USA), разработавшая типовые строительные нормы и правила (коды), охватывающие всю строительную отрасль и являющиеся приоритетными нормативными документами. В различных штатах США могут использоваться разные редакции кодов ICC. Наиболее широко применяемыми являются Международный строительный кодекс (International Building Code) и Международный пожарный кодекс (International Fire Code), однако при строительстве модульных быстровозводимых зданий в той или иной мере используются все документы ICC.

Другой авторитетной организацией-разработчиком строительных норм США является National Fire Protection Association (NFPA, USA), разработавшая множество стандартов. Наиболее часто используемыми стандартами NFPA в области модульного строительства являются стандарты для обычного строительства NFPA 13 «Стандарт на установку спринклерных систем» (Standard for the Installation of Sprinkler Systems) и NFPA 1 «Кодекс пожарной безопасности» (Fire Code).

Среди специализированной литературы стоит отметить стандарт, созданный совместно ICC и Modular Building Institute (MBI, USA) – ICC/MBI 1205-2021 «Стандарт для строительства за пределами площадки: проверка и соответствие нормативным требованиям» (Standard for Off-site Construction: Inspection and Regulatory Compliance), содержащий требования и описывающий методы контроля исполнения этих требований на всех стадиях жизненного цикла строительства модульного здания, изготовленного за пределами строительной площадки. С точки зрения заимствования опыта, интерес представляют требования по части пожарной безопасности и требования к проектной документации в области модульного строительства.

Наиболее важным документом в области быстровозводимых зданий в США является ICC/MBI 1200-2021 «Стандарт для строительства за пределами площадки: планирование, проектирование, изготовление и сборка» (Standard for Off-site Construction: Planning, Design, Fabrication and Assembly), используемый на таких стадиях жизненного цикла, как планирование, проектирование, изготовление и сборка. Документ имеет насыщенную структуру, заслуживающую рассмотрения при разработке отечественных нормативных документов в области модульного строительства. При разработке отечественного документа верхнего уровня рекомендуется разместить в нем необходимые ссылки на детализирующие своды правил, стандарты, пособия и рекомендации по аналогии с ICC/MBI 1200-2021. Регулированию модульного строительства также посвящен стандарт Свод федеральных правил (Code of Federal Regulations), а конкретно - части 3280 и 3282 (общие положения для производства домов, основные определения и требования), 3284-3286 (требования к налоговым сборам для производства передвижных домов, сертификация, лицензирование и описание от подготовки участка под строительство до подключения

коммуникаций) и 3288 (для разрешения споров между участниками строительного процесса с описанием зоны ответственности).

Система нормативной документации Канады схожа по своей структуре с системой нормирования США – она также включает основные своды правил в области строительства, которые могут меняться в зависимости от провинции, на территории которой планируется строительство. Главным нормативным документом, регулирующим все строительство в стране, является Национальный строительный кодекс Канады (National Building Code of Canada).

В области модульного строительства применяется (но не во всех землях) специализированный стандарт, созданный Canadian Standards Association (CSA, Canada), CSA A277 «Порядок сертификации быстровозводимых зданий, модулей и панелей» (Procedure for certification of prefabricated buildings, modules, and panels). Документ предназначен для сертификации как жилых, так и нежилых зданий заводского изготовления (в том числе модульных и панельных) на территории Канады, и устанавливает требования к сертификации программы качества завода, готового изделия, аудиту программы качества заводу, внутризаводскому контролю готового изделия.

Стандарт CSA Z240 «Производимые дома» (Manufactured homes) предназначен для передвижных, односекционных или многосекционных одноэтажных жилых домов, которые готовы к заселению после завершения обустройства в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Стандарт рассматривает элементы и конструкции зданий, ограждающие конструкции, пожарную защиту, системы коммуникаций, сертификационную марку, инструкцию по установке и требования к транспорту для перевозки. Согласно стандарту, модульные дома должны иметь сертификационную маркировку, расчет на снеговую нагрузку, давление ветра и термостойкость,

список техники или приборов, а также инструкции по установке от производителя. В разделе энергоэффективности указаны требования к изоляции, размеру и уклону дренажа, обшивке пола, однако отсутствуют требования к окнам, отоплению, вентиляции и кондиционированию.

Стандарт CSA Z250:21 «Процесс поставки объемного модульного здания» (Process for delivery of volumetric modular building) устанавливает правила для проектирования, контроля качества модульного производства, логистики, транспортировки и хранения, немодульных и модульных работ на строительной площадке (non-modular and modular sitework), подъема, размещения и установки модулей, монтажа и отделки, ввода в эксплуатацию и передачи здания в дальнейшем. Стоит отметить, что стандарт не распространяется на процедуру внутризаводской сертификации зданий, модулей или панелей, которая указана в CSA A277.

Одной из самых развитых стран в области модульного строительства является Великобритания. British Standards Institution (BSI, UK) выпустил методическое пособие «The role of Standards in offsite construction» [36], согласно которому стандарты (порядка 50 наименований) для заводского изготовления конструкций и модулей в Великобритании разделены на 5 основных категорий:

- общие стандарты;
- бетонные конструкции;
- конструкции из древесины;
- конструкции из металла;
- применение технологии информационного моделирования (Building Information Modeling – BIM).

За различные допуски при проектировании и строительстве для строительных конструкций, в том числе и для модульных конструкций отвечает британский стандарт (British Standard – BS) – BS 5606:2022

«Точность и допуски в проектировании и строительстве. Руководство - Европейские стандарты» (Accuracy and tolerance in design and construction. Guide - European Standards). Контроль сертификации модульных систем производит, выпущенный Building Research Establishment (BRE, UK), стандарт продукта BRE (BRE Product Standard – BPS) BPS 7014 «Стандарт модульной конструкции» (Standard for Modular Construction). Согласно положениям данного документа, производители модулей должны иметь заводскую систему производственного контроля для обеспечения постоянного качества продукции.

Благодаря внедрению BIM на государственном уровне и развитию направления модульного строительства в Великобритании существуют общие открытые библиотеки элементов цифровых моделей (в том числе включающие в себя объекты модульного строительства).

По результатам исследования стандартов стран Евросоюза (ЕС) отмечено их малое количество в части модульного строительства. Во Франции частично используется стандарт 3.3/15-810_V1 «Модульная архитектура» (Modulaire architecture), представляющий собой описание готовой модульной конструкции со стальным каркасом, его изготовления, монтажа и дальнейшего обслуживания при эксплуатации. Из профильных стандартов в области модульного строительства в Чехии стоит выделить EAD 130087-00-0204 «Модульная строительная система» (Modular construction system), представляющий собой описание модульного объекта строительства на деревянной основе. Помимо древесины используются склеенные между собой кирпичи, разнообразные механические металлические соединения и утеплитель. Документы по модульному строительству Франции и Чехии ссылаются на другие стандарты строительной области в части характеристик материалов, конструкций и

оценки строительных элементов. Они также не охватывают большую часть процессов жизненного цикла объектов строительства.

При анализе НТД Германии не было выявлено специализированных нормативно-технических документов в области быстровозводимых модульных зданий, не считая общие стандарты ЕС. Разработка стандартов ведется негосударственными организациями и Немецким институтом строительной технологии (Deutsches Institut für Bautechnik – DiBt, Germany), который, в свою очередь, сертифицирует строительные изделия и строительные технологии для применения в строительстве. Примером стандарта в области модульных конструкций может служить корпоративный стандарт предприятия KLEUSBERG GmbH & Co. KG, описывающий устройство огнезащитных элементов объемного модуля из стальных конструкций [37].

В Нидерландах в 60% строительных проектов используют элементы заводского изготовления, по сравнению, например, с 16% во Франции [38]. Однако анализ НТД Нидерландов показал, что вопросы строительства зданий заводского изготовления специально не регулируются и нормотворчество, как и во многих странах ЕС, сильно отстает от Великобритании, несмотря на широкое распространение модульного строительства на практике.

Сингапур является одной из самых популяризирующих модульное строительство стран при отсутствии профильной нормативно-технической документации. Как и в Нидерландах с Германией, продвижение модульного строительства базируется на прикладных методических пособиях и использовании документов для традиционного строительства.

В отечественной нормативно-технической документации сложно выделить конкретные документы в области модульного строительства. При анализе документов перечня национальных стандартов, и сводов правил для обеспечения требований Федерального закона №384 «Технический

регламент о безопасности зданий и сооружений», не выявлено предметных блоков в части зданий и конструкций заводского изготовления, включая модульные здания, типовые конструкции и унифицированные решения. Вероятно, это обусловлено тем, что требования безопасности являются универсальными для всех зданий, независимо от типа здания, вариантов возведения и объемно-планировочных решений.

Массовое строительство панельно-сборных домов в советский период можно уверенно отнести к периоду расцвета модульного строительства. В настоящее время в России возвращается интерес к использованию сборных элементов в строительстве, но в НТД РФ модульные здания рассматриваются преимущественно в контексте мобильных и инвентарных зданий.

В настоящее время комплексного нормативного документа, регламентирующего модульное строительство в РФ не существует. Существующие требования фрагментарно распределены по нормативной базе. В СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» содержится раздел 7.8 «Модульные конструкции», не в полной мере описывающий требования к проектированию и строительству модульных и быстровозводимых зданий. Отсутствуют важные требования к качеству изготовленной продукции (модулям), требования к допускам и параметрам элементов конструкции. В качестве обязательной используемой документации применяются паспорт качества, оформленный по ГОСТ 23118 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия», техническая документация изготовителя модульных конструкций, монтажные схемы и спецификации. В стандарте отсутствуют требования к качеству модульных конструкций из древесины, железобетона и композитов, что ограничивает применение этих материалов в модульном строительстве.

Железобетон в качестве материала для модульных конструкций рассматривается, например, в стандарте организации СТО «Здания из

крупногабаритных модулей по технологии Комбината Инновационных Технологий — МонАрх. Проектирование, изготовление, транспортирование и строительство. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ», который регламентирует качество изготавливаемых модульных конструкций и результатов работ по строительству модульных зданий.

Согласно наименованию и области применения СП 501.1325800.2021, данный свод правил должен рассматривать все виды материалов. Однако в примечании к п. 3.1.2 (определение крупногабаритного модуля) область применения по части конструктивных решений ограничена использованием железобетона. Для железобетона в СП 501.1325800.2021 представлены необходимые требования, предъявляемые к проектированию, производству, транспортировке и строительству из крупногабаритных модулей.

Железобетон при сборном строительстве традиционно наиболее широко применялся в Российской Федерации и СССР, что обуславливает его частое упоминание в отечественной НТД в области сборно-модульного строительства.

Существующая нормативная база в области строительства из стали и древесины содержит универсальные требования к проектированию и строительству зданий и сооружений без выделения специфики модульных и быстровозводимых зданий. Требуется разработка специализированной нормативной документации для зданий и сооружений заводской готовности и их элементов.

Согласно п. 5 Постановлению Правительства РФ от 27 декабря 1997 года № 1636 «О правилах подтверждения пригодности новых материалов, изделий, конструкций и технологий для применения в строительстве», модули и конструкции зданий заводского изготовления не требуют дополнительной сертификации в случае их производства в рамках действующих норм и правил. Однако, их все равно сертифицируют для

исключения необходимости рассмотрения в рамках экспертизы проектной документации. НТД, регламентирующая маркировку и сертификацию элементов зданий заводской готовности может применяться при строительстве зданий заводской готовности, в связи с этим рекомендуется разработка отдельного нормативно-технического документа или включения соответствующего раздела в СП, регламентирующие строительство и проектирование зданий заводской готовности.

На схеме на рис. 3 показаны страны с наибольшим развитием модульного строительства с разделением по критерию применения профильной НТД в области модульного строительства, быстровозводимых зданий и зданий заводского изготовления.

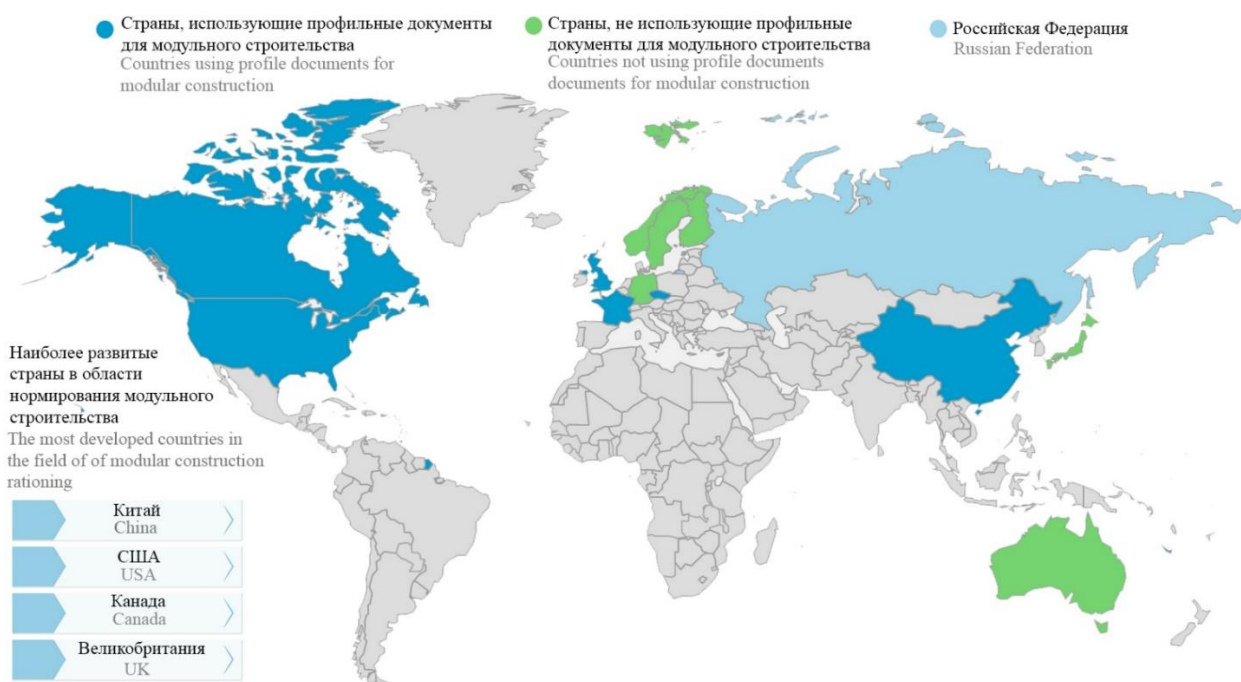


Рис. 3. - Наиболее развитые в области нормирования модульного строительства страны

Результаты анализа отечественной и зарубежной НТД показывают, что в разных странах подходы к нормированию проектирования и строительства модульных и быстровозводимых зданий различны. Рассмотрим подходы наиболее развитых стран в области строительства модульных зданий.

Нормативным документом США верхнего уровня в рассматриваемой области является ICC/MBI 1200-2021. Стандарт для строительства за пределами площадки: планирование, проектирование, изготовление и сборка (Standard for Off-site Construction: Planning, Design, Fabrication and Assembly), регламентирующий общие подходы к разработке жизненного цикла зданий заводского изготовления, в том числе состоящих из модулей. Стандарт ссылается на другие документы в области проектирования и безопасности зданий и сооружений (не обязательно модульных).

Нормативно-техническая документация Китая часто разрабатывается локально (в провинциях) и на отдельные типы зданий заводского изготовления с учетом имеющегося разнообразия конструктивных схем.

Разница данных подходов состоит в том, что Китай рассматривает частные решения и создает стандарты на каждый из используемых видов, а США действует по принципу «от общего к частному», принимая во главе основной стандарт, регулирующий все аспекты, и детализируемый документами следующих уровней.

В Великобритании и Сингапуре, несмотря на широкое применение модульного строительства, специализированная НТД в данной области практически отсутствует. Развитием отрасли занимаются заинтересованные ассоциации, компании и учебные заведения, выпускающие методические и прикладные пособия [39] и руководства (guides) по применению модульного строительства на различных стадиях ЖЦ. В таких пособиях чаще всего указаны ссылки на НТД, регулиующую традиционное строительство. Существуют случаи внесения изменений в действующую НТД на основании изысканий, выполненных в рамках разработки подобных пособий. Однако, некоторые исследователи [6, 36] заявляют об отрицательном влиянии отсутствия профильной НТД на распространение технологий модульного строительства.

Относительно недавно, в июле 2022 года, в рамках Международной организации по стандартизации был создан профильный технический подкомитет (Technical Committees – TC) ISO/TC 59/SC 19. «Быстровозводимые здания» (Prefabricated building), в задачи которого входят вопросы разработки общей терминологии в рассматриваемой предметной области, геометрических размеров, допусков и характеристик элементов модульных конструкций и быстровозводимых зданий. По результатам первого заседания подкомитета были выделены стандарты в области модульного строительства, имеющие отношение к регулированию швов, допусков и соединений [40]. Работы по данной теме находятся на начальной стадии, а информация о разработке новых стандартов пока отсутствует.

Результаты анализа отечественной НТД показывают, что в настоящее время в достаточной степени обеспечено нормами лишь одно направление строительства зданий заводской готовности – панельное домостроение. Хотя отечественные исследования в рассматриваемой предметной области ведутся достаточно давно [24, 41, 42], модульные здания до сих пор в полной мере не обеспечены нормативными документами, поскольку пока в них пока рассматривается только железобетон (СП 501.1325800.2021).

Произведенный в рамках исследования анализ показал, что подход США может быть полезно применен для развития нормативной базы РФ в области модульных конструкций быстровозводимых зданий. Например, при принятии решения о необходимости разработки нового свода правил верхнего уровня «Модульные здания и конструкции. Классификация. Термины и определения», включающего специализированные требования в части модульного строительства и ссылающегося на стандарты и своды правил общего применения, профильные нормативно-методические документы и специализированные стандарты.

Помимо разработки и доработки НТД в рассматриваемой предметной области, представляется целесообразной актуализация устаревших и разработка новых нормативно-методических документов в области модульного строительства (рекомендаций, пособий, руководств) для всех этапов ЖЦ, в особенности для проектирования и строительства.

По результатам терминологического анализа зарубежных НТД выделены термины и синтезированы определения, предлагаемые к применению в рамках развития отечественного модульного строительства. Примером может служить предлагаемое на основе анализа НТД Китая понятие «Модульный компонент - модуль для сборки, подсистема или комбинация элементов, включающая панельные системы, строительные системы или ваннные комнаты, для использования в качестве части модульного здания, которая не является структурно независимой, но является частью конструкционной, сантехнической, механической, электрической систем, противопожарной защиты или других систем, влияющих на безопасность жизнедеятельности».

Нормативно-техническая документация РФ содержит такие термины, как «Модуль», «Укрупненный модуль», «Кратный модуль» и другие производные от этого термина (ГОСТ 28984-2011). Во избежание коллизий, при развитии и гармонизации профильной отечественной НТД, рекомендуется проведение терминологической работы и дополнительных исследований на предмет возможности гармонизации и включения в отечественную НТД терминов и определений ISO 21723:2019 «Здания и строительные работы — Модульная координация — Модуль».

По результатам анализа зарубежной и отечественной документации предлагаются к рассмотрению варианты развития НТД в области зданий заводской готовности, модульных и быстровозводимых зданий, представленные на рис. 4. Они предполагают дополнение разделов сводов

правил общего применения требованиями к объектам модульного строительства и разработку новых НТД в области модульного строительства верхнего уровня (с разработкой единого СП по модульным конструкциям или нескольких СП для различных материалов – подход, аналогичный применяемому в Германии для классификации модульных зданий).

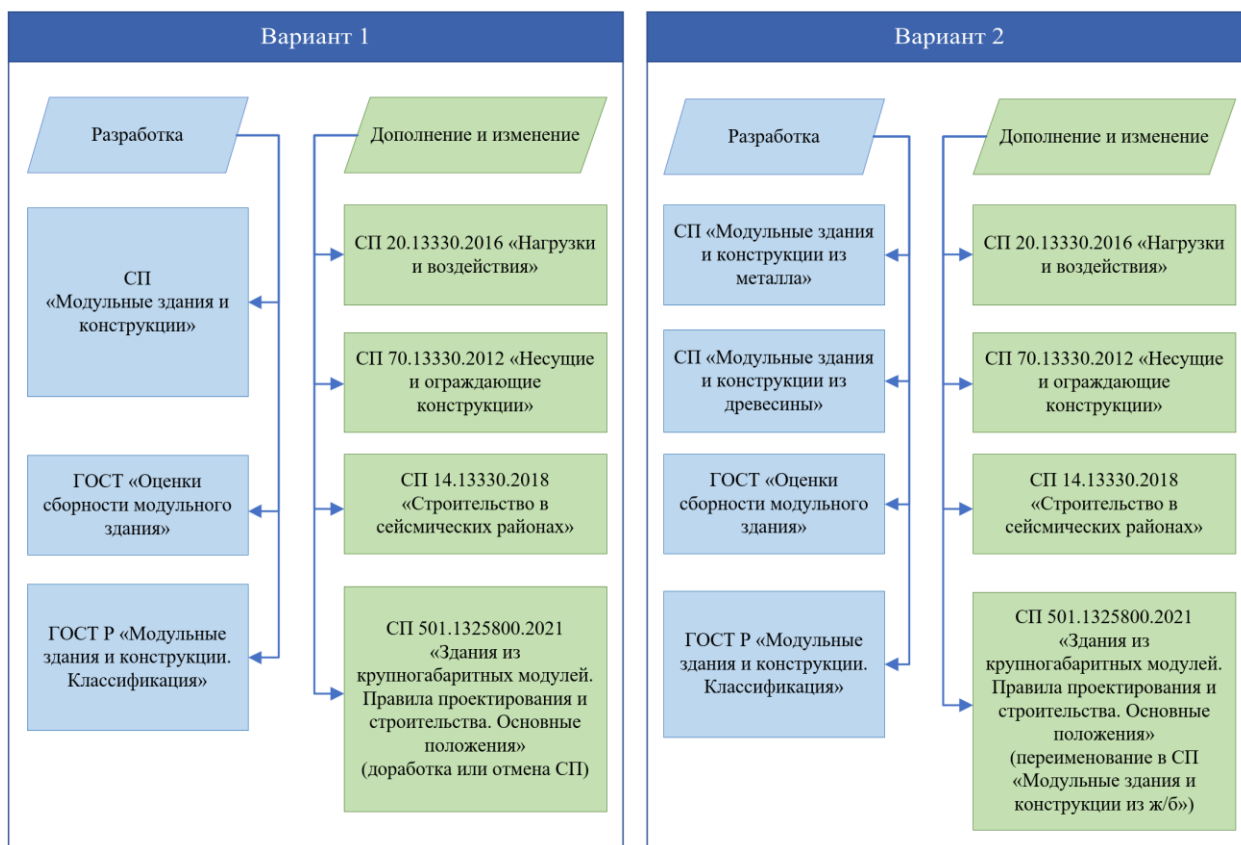


Рис. 4. - Варианты развития НТД в области модульных, быстровозводимых зданий и зданий заводской готовности

В качестве примеров для развития системы отечественных научно-методических документов (пособий) в рассматриваемой предметной области рекомендуется к рассмотрению прикладное пособие, справочник по проектированию модульных конструкций (Handbook for the design of modular structures, Australia) [39] как формирующее наиболее полное представление о принципах модульного строительства с примерами и рекомендациями.

Перечень рекомендуемых к выполнению работ в рассматриваемой предметной области представлены в табл. 1.

Таблица № 1

Темы работ для развития НТД РФ в области модульного строительства

№ п/п	Рекомендуемые темы работ
1	Обобщение опыта Китайской народной республики в строительстве многоэтажных модульных зданий заводского изготовления из стальных конструкций
2	Разработка руководства по обеспечению безопасности соединений модульных конструкций
3	Разработка рекомендаций по проектированию зданий заводского изготовления из объемных модулей для сейсмических районов
4	Разработка руководства по обеспечению огнестойкости модульных зданий
5	Разработка руководства по проектированию, строительству и демонтажу модульных конструкций с применением ТИМ
6	Перевод руководства по модульным конструкциям «Murray-Parkes J. et al. Handbook for the design of modular structures» (Австралия) и адаптация к требованиям НТД РФ

Литература

1. Отчет о научно-исследовательской работе выполнение работ по мониторингу и анализу мировой практики строительства зданий заводского изготовления, включая модульные здания, типовые конструкции и унифицированные решения: отчет о НИР; ООО «НИЦ ЦПС», СПб., 2022. 154 с. – № ГР 122022600133-0 – Инв. № б/н.

2. Ferdous, W., Bai, Y., Ngo, T. D., Manalo, A., & Mendis, P. New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review // *Engineering Structures*. 2019. №183 С. 883–893. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.01.061.

3. Sun, Y., Wang, J., Wu, J., Shi, W., Ji, D., Wang, X., & Zhao, X. Constraints Hindering the Development of High-Rise Modular Buildings // *Applied Science*. 2020. №10 (20). DOI: 10.3390/app10207159.

4. Banks, C., Kotecha, R., Curtis, J., Dee, C., Pitt, N., & Papworth, R. Enhancing high-rise residential construction through design for manufacture and

assembly – a UK case study // Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law. 2018. №171(4), C. 164–175. DOI: 10.1680/jmapl.17.00027.

5. Gunawardena, T., Mendis, P., Ngo, T., Aye, L., & Alfano, J. Sustainable Prefabricated Modular Buildings // 5th International Conference on Sustainable Built Environment. 2014. C. 1-7. DOI: 10.13140/2.1.4847.3920.

6. Shin, H., & Ahn, Y. Modular Building Construction Process Development by Benchmarking International Best Practices // Korean Journal of Construction Engineering and Management. 2016. № 17(6). C. 3–12. DOI: 10.6106/KJCEM.2016.17.6.003.

7. Rajanayagam, H., Poologanathan, K., Gatheeshgar, P., Varelis, G. E., Sherlock, P., Nagaratnam, B., & Hackney, P. A-State-Of-The-Art review on modular building connections // Structures. 2021. № 34, C. 1903–1922. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.08.114.

8. Zhang, G., Xu, L.-H., & Li, Z.-X. Theoretical and parametric studies of a self-centering modular steel structure connection // Engineering Structures. 2021. № 247. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113146.

9. Chen, Z., Liu, J., & Yu, Y. Experimental study on interior connections in modular steel buildings // Engineering Structures. 2017. № 147. C. 625–638. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.06.002.

10. Chua, Y. S., Liew, J. Y. R., & Pang, S. D. Modelling of connections and lateral behavior of high-rise modular steel buildings // Journal of Constructional Steel Research. 2020. № 166. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.105901.

11. Lacey, A. W., Chen, W., Hao, H., & Bi, K. Simplified structural behaviours of post-tensioned inter-module connection for modular buildings // Journal of Constructional Steel Research. 2020. № 175. DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106347.

12. Рахметова А.Ш. Особенности строительства модульных сооружений // Актуальные научные исследования в современном мире. № 10(78), ч. 4, С. 10-12.

13. Сычев С.А. Нормативно-технологическое обеспечение процесса монтажа быстровозводимых модульных зданий (хронометражные исследования) // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 3(24). С. 49-54.

14. Chu, G., Wang, W., & Zhang, Y. Quantification of seismic performance factors of beam-through steel frames with self-centering modular panel and replaceable hysteretic dampers // Journal of Constructional Steel Research. 2022. № 189. DOI: 10.1016/j.jcsr.2021.107059.

15. Deng, E.-F., Zong, L., Ding, Y., Zhang, Z., Zhang, J.-F., Shi, F.-W., Cai, L.-M., & Gao, S.-C. Seismic performance of mid-to-high rise modular steel construction - A critical review // Thin-Walled Structures. 2020. № 155. DOI: 10.1016/j.tws.2020.106924.

16. Fathieh, A., & Mercan, O. Seismic evaluation of modular steel buildings // Engineering Structures. 2016. № 122, С. 83–92. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.04.054.

17. Liew, J. Y. R., Chua, Y. S., & Dai, Z. Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings // Structures. 2019. № 21. С. 135–149. DOI: 10.1016/j.istruc.2019.02.010.

18. Алексеева Н. А., Толкачев Ю. А. Анализ ограничений, препятствующих развитию многоэтажного модульного строительства // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2021. Т. 17. № 4. С. 12–18. DOI: 10.22213/2618-9763.2021.4.12.18.

19. Хубаев А.О., Саакян С.С., Макаев Н.В. Мировая практика в области модульного строительства // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11. №2. С. 99–108. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.09.

20. Фирсова Т.Ф., Хохлов А.В. Огнестойкость модульных зданий пожарных депо // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2019. № 3. С. 43-47.

21. 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.

22. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт объемно-модульного строительства зданий и сооружений // Construction and Geotechnics. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2017. С. 1-10.

23. Рыбакова А.О. Анализ особенностей проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование. 2020. Т. 11. №2. URL: nsojournal.ru DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.5.

24. Скворцов М.Е. Потенциал модульного строительства // Вестник Московского Информационно-технологического университета - Московского архитектурно-строительного института. 2021. № 3. С. 34-46.

25. Забудский Д.А., Посвятенко Ю.В. Особенности строительства в условиях крайнего севера. Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии // Сборник статей XXI Международной научно-практической конференции. 2019, С. 44-49.

26. Малаева П.Ю., Ерохина Е.В. Модульные строительные конструкции: перспективы использования // Инновационная экономика и современный менеджмент. 2020, № 2(28), С. 33-36.

27. Сычев С.А., Копосов А.А. Технология возведения быстровозводимых зданий и сооружений на основе одноэлементной плоской строительной системы высокоскоростного монтажа полносборных зданий // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1(72), С. 100-109.

28. Чекардовский М.Н., Жилина Т.С., Афонин К.В., Гусева К.П. Сокращение затрат на строительство путем оптимизации ограждающих конструкций на примере блочно-модульных зданий // Construction and Geotechnics. 2021. Т. 12. № 2. С. 64–78. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.06.

29. Анциферова Е.О., Лотенкова М.Д. Технология модульного строительства // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 2. С. 255-258.

30. Хубаев А.О., Саакян С.С. Практика применения объемно-блочного домостроения в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2020. № 3(39), С. 112-119.

31. Multifamily Modular Construction Toolkit. URL: multifamily.fanniemae.com/media/13576/display.

32. DEUTSCHE NORMUNGSROADMAP BIM Version 1 URL: din.de/resource/blob/801340/ac23712d9d160d27695afc678d100b44/normungsroadmap-bim-data.pdf.

33. Классификатор строительной информации (КСИ). URL: ksi.faufcc.ru/.

34. Волкодав В.А., Волкодав И.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. №6. С. 867–906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-90.

35. Тимченко В.С., Волкодав В.А., Волкодав И.А., Тимченко О.В., Осипов Н.А. Разработка классификационных таблиц «Процессы управления», «Процессы проектирования» и «Информация» классификатора строительной информации для создания и ведения информационных моделей объектов капитального строительства // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. №7. С. 926–954. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.7.926-9.

36. Price, C., Goodier, C., Fouchal, F., & Fraser, N. The role of Standards in offsite construction. A review of existing practice and future need. 2019 URL: repository.lboro.ac.uk/articles/report/The_role_of_Standards_in_offsite_construction_A_review_of_existing_practice_and_future_need/9459104.

37. Allgemeine Bauartgenehmigung (Z-19.33-2537). Feuerwiderstandsfähige Bauteile in mit nichtbrennbaren Bauplatten bekleideter Stahlbauweise - DIBt - Deutsche Institut für Bautechnik. URL: dibt.de/pdf_storage/2021/Z-19.33-2537%281.19.33-203%2116%29.pdf.

38. Prefab Most Applied In Projects In The Netherlands, The UK Ahead When It Comes To Advanced Prefab Applications. URL: usp-research.com/prefab-most-applied-in-projects-in-the-netherlands-the-uk-ahead-when-it-comes-to-advanced-prefab-applications/.

39. Lucchetti J., Forbes B., Gardiner P., Murray-Parkes B., Murray-Parkes J. Handbook for the design of modular structures // Monash University: Melbourne, Australia. 2017. 216 с.

40. Standards by ISO/TC 59/SC 19 Prefabricated building. URL: iso.org/committee/8560915/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0.

41. Абрамян С.Г., Ишмаматов Р.Х., Оганесян О.В., Улановский И.А., Дикмеджян А.А. Модульные конструкции и энергоэффективная реконструкция современных строительных систем // Инженерный вестник Дона. 2019, №6 URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_11__7y2019_Abramian.pdf_596bc5dfc1.pdf.

42. Вержбовский Г.Б. Быстровозводимые малоэтажные здания из композитных материалов // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_44_Verzhbovskiy.pdf_a4cda6cd52.pdf.

References

1. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote vy`polnenie rabot po monitoringu i analizu mirovoj praktiki stroitel'stva zdaniy zavodskogo izgotovleniya, vkluchaya modul'ny`e zdaniya, tipovy`e konstrukcii i

unificirovanny`e resheniya [Report on research work performance of works on monitoring and analysis of world practice in the construction of prefabricated buildings, including modular buildings, standard structures and unified solutions]: otchet o NIR; OOO «NIC CPS», SPb., 2022. 154 p. № GR 122022600133-0. Inv. № b.n nomer.

2. Ferdous, W., Bai, Y., Ngo, T. D., Manalo, A., & Mendis, P. Engineering Structures. 2019. №183 pp. 883–893. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.01.061.

3. Sun, Y., Wang, J., Wu, J., Shi, W., Ji, D., Wang, X., & Zhao, X. Applied Science. 2020. №10 (20). DOI: 10.3390/app10207159.

4. Banks, C., Kotecha, R., Curtis, J., Dee, C., Pitt, N., & Papworth, R. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Management, Procurement and Law. 2018. №171(4), pp. 164–175. DOI: 10.1680/jmapl.17.00027.

5. Gunawardena, T., Mendis, P., Ngo, T., Aye, L., & Alfano, J. Sustainable Prefabricated Modular Buildings. 5th International Conference on Sustainable Built Environment. 2014. pp. 1–7. DOI: 10.13140/2.1.4847.3920.

6. Shin, H., & Ahn, Y. Korean Journal of Construction Engineering and Management. 2016. № 17(6). pp. 3–12. DOI: 10.6106/KJCEM.2016.17.6.003.

7. Rajanayagam, H., Poologanathan, K., Gatheeshgar, P., Varelis, G. E., Sherlock, P., Nagaratnam, B., & Hackney, P. Structures. 2021. № 34, pp. 1903–1922. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.08.114.

8. Zhang, G., Xu, L.H., & Li, Z.X. Engineering Structures. 2021. № 247. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113146.

9. Chen, Z., Liu, J., & Yu, Y. Engineering Structures. 2017. № 147. pp. 625–638. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.06.002.

10. Chua, Y. S., Liew, J. Y. R., & Pang, S. D. Journal of Constructional Steel Research. 2020. № 166. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.105901.

11. Lacey, A. W., Chen, W., Hao, H., & Bi, K. Journal of Constructional Steel Research. 2020. № 175. DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106347.

12. Rakhmetova A.Sh. Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. № 10(78), part 4, pp. 10–12.
 13. Sychev S.A. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2015. № 3(24). pp. 49–54.
 14. Chu, G., Wang, W., & Zhang, Y. Journal of Constructional Steel Research. 2022. № 189. DOI: 10.1016/j.jcsr.2021.107059.
 15. Deng, E. F., Zong, L., Ding, Y., Zhang, Z., Zhang, J.F., Shi, F.W., Cai, L.M., & Gao, S. C. Thin-Walled Structures. 2020. № 155. DOI: 10.1016/j.tws.2020.106924.
 16. Fathieh, A., & Mercan, O. Engineering Structures. 2016. № 122, pp. 83–92. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.04.054.
 17. Liew, J. Y. R., Chua, Y. S., & Dai, Z. Structures. 2019. № 21. pp. 135–149. DOI: 10.1016/j.istruc.2019.02.010.
 18. Alekseeva N. A., Tolkachev Yu. A. Sotsial'no-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika. 2021. Vol. 17. №4. pp. 12–18. DOI: 10.22213/2618-9763.2021.4.12.18.
 19. Khubaev A.O., Saakyan S.S., Makaev N.V. Construction and Geotechnics. 2020. Vol. 11. №2. pp. 99–108. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.09.
 20. Firsova T.F., Khokhlov A.V. Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya. 2019. № 3. pp. 43–47.
 21. Abramyan S. G., Ulanovskiy I. A.. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5371.
 22. Zakharova M.V., Ponomarev A.B. Construction and Geotechnics. Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura. 2017. pp. 1–10.
 23. Rybakova A.O. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2020. Vol. 11. № 2. URL: nsojournal.ru DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.5.
-

24. Skvortsov M.E. Vestnik Moskovskogo Informatisionno-tekhnologicheskogo universiteta. Moskovskogo arkhitekturno-stroitel'nogo instituta. 2021. № 3. pp. 34–46.

25. Zabudskiy D.A., Posvyatenko Yu.V. Sbornik statey XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Collection of articles of the XXI International Scientific and Practical Conference). 2019, pp. 44–49.

26. Malaeva P.Yu., Erokhina E.V. Innovatsionnaya ekonomika i sovremennyy menedzhment. 2020, № 2(28), pp. 33–36.

27. Sychev S.A., Koposov A.A. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2019. № 1(72), pp. 100–109.

28. Chekardovskiy M.N., Zhilina T.S., Afonin K.V., Guseva K.P. Construction and Geotechnics. 2021. Vol. 12. № 2. pp. 64–78. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.06.

29. Antsiferova E.O., Lotenkova M.D. Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2020. № 2. pp. 255–258.

30. Khubaev A.O., Saakyan S.S. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. 2020. № 3(39), pp. 112–119.

31. Multifamily Modular Construction Toolkit. URL: multifamily.fanniema.com/media/13576/display.

32. DEUTSCHE NORMUNGSROADMAP BIM Version 1. URL: din.de/resource/blob/801340/ac23712d9d160d27695afc678d100b44/normungsroadmap-bim-data.pdf.

33. Klassifikator stroitel'noj informacii (KSI) [Building information classifier (BIS)]. URL: ksi.faufcc.ru/.

34. Volkodav V.A., Volkodav I.A. Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. № 6. pp. 867–906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-90.

35. Timchenko V.S., Volkodav V.A., Volkodav I.A., Timchenko O.V., Vestnik MGSU. 2021. Vol. 16. № 7. pp. 926–954. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.7.926-9.

36. Price, C., Goodier, C., Fouchal, F., & Fraser, N. The role of Standards in offsite construction. A review of existing practice and future need. 2019 URL: repository.lboro.ac.uk/articles/report/The_role_of_Standards_in_offsite_construction_A_review_of_existing_practice_and_future_need/9459104.

37. Allgemeine Bauartgenehmigung (Z-19.33-2537). Feuerwiderstandsfähige Bauteile in mit nichtbrennbaren Bauplatten bekleideter Stahlbauweise. DIBt. Deutsche Institut für Bautechnik. URL: dibt.de/pdf_storage/2021/Z-19.33-2537%281.19.33-203%2116%29.pdf.

38. Prefab Most Applied In Projects In The Netherlands, The UK Ahead When It Comes To Advanced Prefab Applications. URL: usp-research.com/prefab-most-applied-in-projects-in-the-netherlands-the-uk-ahead-when-it-comes-to-advanced-prefab-applications/.

39. Lucchetti J., Forbes B., Gardiner P., Murray-Parkes B., Murray-Parkes J. Handbook for the design of modular structures. Monash University: Melbourne, Australia. 2017. 216 p.

40. Standards by ISO/TC 59/SC 19 Prefabricated building. URL: iso.org/committee/8560915/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0.

41. Abramyan S.G., Ishmametov R.Kh., Oganesyanyan O.V., Ulanovskiy I.A., Dikmedzhyan A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019, №6. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_11__7y2019_Abramian.pdf_596bc5dfc1.pdf.

42. Verzhbovskiy G.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_44_Verzhbovskiy.pdf_a4cda6cd52.pdf.