

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8363

УДК 69.001.5

*Статья*

## **Быстровозводимый складной модуль на основе деревянных конструкций для условий Севера**

**Кузьменков Александр Алексеевич**

*кандидат экономических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), akka1977@bk.ru*

**Пахомов Ярослав Александрович**

*магистрант, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), jaroslav007772@bk.ru*

**Кириллов Александр Николаевич**

*студент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), aleksandrbirovic@gmail.com*

*Получена: 9 января 2025 / Принята: 5 марта 2025 / Опубликовано: 26 марта 2025*

---

**Аннотация:** Исследования и разработки в сфере применения быстровозводимых деревянных зданий для условий Севера актуальны в силу необходимости комплексного развития территорий и промышленного производства Арктической зоны РФ. Целью исследования является разработка системы складывания многофункционального, быстровозводимого модуля высокой степени заводской готовности на основе деревянных конструкций с учётом его применения в северных условиях. Методика исследования заключается в оценке опыта применения трансформируемых деревянных конструкций в малоэтажном домостроении и разработке решения, удовлетворяющего российским требованиям для условий Арктики. Предложено модульное решение на основе деревянных трансформируемых конструкций высокой степени заводской готовности. Изготовление основных конструкций модуля в заводских условиях позволяет существенно сократить сроки возведения в построечных условиях. Результаты могут быть применены в туристической сфере, жилищном строительстве, а также в качестве объектов временного размещения и продукции двойного назначения.

**Ключевые слова:** малоэтажные здания; модульные деревянные здания; быстровозводимые здания; высокая степень заводской готовности

---

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8363

*Article*

## **Prefabricated folding module based on wooden structures for Northern conditions**

**Alexander Kuzmenkov**

*Ph. D. in economics, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation), akka1977@bk.ru*

**Jaroslav Pakhomov**

*student in the master's program, Petrozavodsk State University (Russian Federation), jaroslav007772@bk.ru*

**Alexander Kirillov**

*student, Petrozavodsk State University (Russian Federation), aleksandrbikovic@gmail.com*

*Received: 9 January 2025 / Accepted: 5 March 2025 / Published: 26 March 2025*

---

**Abstract:** Research and development in the field of prefabricated wooden buildings application for the conditions of the North is relevant out of necessity for territories and industrial production integrated development in the Russian Federation Arctic zone. The purpose of the study was to develop a folding system for a multifunctional prefabricated rapidly erected module based on wooden structures and designed for northern conditions. The research methodology included evaluation of the experience of using transformable wooden structures in low-rise housing construction and solutions development to meet Russian requirements for Arctic conditions. A modular solution based on prefabricated wooden transformable structures is proposed. Main module structures manufacturing in the factory conditions allows reducing significantly the construction time in-situ. The results can be applied in the tourism sector, in housing construction, as well as temporary accommodation facilities and dual-use products.

**Keywords:** low-rise buildings; modular wooden buildings; prefabricated buildings; high degree of factory readiness

---

## 1. Введение

Научные исследования и опытно-конструкторские разработки в сфере проектирования и строительства быстровозводимых деревянных зданий для северных и арктических территорий актуальны в силу реализации Стратегии развития Арктики и Арктической зоны Российской Федерации (далее — Арктическая зона) и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г. (утв. Указом Президента Российской Федерации № 645 от 26 октября 2020 г., в ред. Указов Президента РФ № 651 от 12 ноября 2021 г. и № 126 от 27 февраля 2023 г.), а также Государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» (утв. постановлением Правительства РФ № 484 от 30 марта 2021 г., с изм. и доп.). Вышеуказанные документы относят к особенностям Арктической зоны экстремальные природно-климатические условия, крайне низкую плотность населения и уровень развития транспортной и социальной инфраструктуры; высокую чувствительность экологических систем к внешним воздействиям; климатические изменения, способствующие возникновению как новых экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и окружающей среды; неравномерность промышленно-хозяйственного освоения отдельных территорий; высокую ресурсоёмкость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения.

Актуальность исследований и разработок в области возможностей применения быстровозводимых малоэтажных деревянных зданий в северных и арктических условиях обусловлена следующими факторами:

- Необходимостью комплексного развития территорий регионов Арктической зоны, в т. ч. отдельных районов Республики Карелия, входящих в её состав. Комплексное развитие преследует поддержку жилищного строительства, в т. ч. деревянного домостроения, и развитие социальной инфраструктуры [1], [2]. Снижению миграционного оттока населения может способствовать развитие существующих и создание новых промышленных производств, в т. ч. организация производства строительных материалов в целях удовлетворения потребностей топливно-энергетического комплекса и жилищного строительства, а также разработка и внедрение технологий, имеющих особое значение для освоения Арктики.

- Необходимостью обеспечения глубокой переработки древесины [3] и вторичного использования отходов деревообработки [4] на территориях заготовки древесины в силу экспортных ограничений на вывоз леса с территории Российской Федерации и в целях реализации перечня поручений по итогам совещания по вопросам развития лесопромышленного комплекса (поручения Президента РФ № Пр-562 от 22 марта 2023 г.), положений Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации № 312-р от 11 февраля 2021 г.), а также Стратегии развития лесного комплекса Республики Карелия до 2030 г.

(утв. распоряжением Правительства Республики Карелия № 235р-П от 29 марта 2019 г.). Вышеуказанные стратегические документы предусматривают:

- развитие строительства с целевым уровнем 20 % жилых домов и объектов социально-культурного назначения с использованием деревянных конструкций;
- поддержку индивидуального жилищного строительства, в т. ч. с использованием деревянных домокомплектов;
- стимулирование производства деревянных домокомплектов и иных деревянных конструкций заводского изготовления, используемых в жилищном строительстве;
- стимулирование развития деревянного домостроения в регионах;
- выделение бюджетных средств на строительство деревянных малоэтажных жилых зданий с использованием отечественных деревянных домокомплектов заводского изготовления в целях осуществления мероприятий по переселению граждан из аварийных домов;
- расширение деревянного домостроения при строительстве объектов социальной инфраструктуры и применение отечественных деревянных домокомплектов в целях модернизации отделений почтовой связи;
- внедрение типовых проектов повторного применения деревянных домокомплектов заводского изготовления в целях размещения в них многофункциональных объектов, позволяющих совмещать выполнение социальных, коммерческих, правоохранительных и иных функций.

▪ Возможностями рынка жилищного строительства [5—7] и предпочтениями потребителя при выборе готовой строительной продукции в качестве жилья. Более 50 % вводимой жилой площади в северных регионах обеспечивается за счёт объектов индивидуального жилищного строительства (ИЖС) и порядка 30—50 % ИЖС реализовано в деревянных конструкциях. Рыночная ниша деревянного домостроения с использованием складных (трансформируемых) конструкций на основе древесины практически не занята, ни в Республике Карелии, ни в РФ. В зарубежной практике успешно реализуются и развиваются проекты с применением трансформируемых конструкций.

▪ Возможностями минимизации антропогенного воздействия на экосистему арктических территорий за счёт глубокой переработки древесины и применения продукции высокой степени готовности, использования экологически безопасных материалов [8—10] и технологий [11—13], а также снижения негативного воздействия на окружающую среду [14] при сокращении сроков ведения строительного-монтажных работ в построечных условиях. Минимизация антропогенного воздействия также может быть, отчасти, достигнута за счёт энергоэффективности [15], [16] возводимых в арктических условиях зданий путём снижения потребления энергетических ресурсов.

В настоящем исследовании представлены результаты разработки элементов системы складывания (трансформации) многофункционального быстровозводимого модуля высокой степени заводской готовности на основе деревянных конструкций с учётом его применения

в северных условиях. Быстровозводимые здания повышенной заводской готовности на основе деревянных конструкций могут быть применены в туристическом секторе, в индивидуальном жилищном строительстве, в качестве объектов временного размещения, а также в виде продукции двойного назначения для МЧС и Минобороны РФ.

Для достижения поставленной цели реализованы следующие задачи:

- Разработка объёмно-планировочных решений здания, предусматривающих использование многофункционального модуля в условиях Арктики с учётом действующих требований Российской Федерации к жилым малоэтажным зданиям.
- Разработка и конструктивный расчёт элементов системы складывания (несущего и шарнирных элементов) с учётом нагрузок и воздействий, возникающих при производстве в заводских условиях, возведении (монтаже) и эксплуатации.
- Разработка конструкторской документации, необходимой для изготовления элементов системы складывания высокой степени заводской готовности.

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Обзор научной периодики

Предварительно был выполнен анализ отечественной и зарубежной научной периодики по тематике применения трансформируемых (складных) конструкций на основе древесины при строительстве малоэтажных, в т. ч. модульных, зданий. В работе А. Р. Минабутдиновой и И. Н. Агишевой [17] выявлены общие принципы формирования трансформируемого жилого пространства. Исследования Э. Ш. Акимовой и С. Ф. Акимова [18] посвящены циклам, средствам и способам трансформации малоэтажных жилых объектов и формулированию основных принципов трансформации малоэтажных жилых домов. В статье А. С. Митькиной и С. Б. Поморова [19] рассмотрены и классифицированы существующие виды трансформирующихся систем: раздвижные, подъёмные и поворотные, внутренние и наружные, а также предложены решения по трансформации жилых пространств в индивидуальных домах. В работе V. Yudin [20] представлены результаты разработки малоэтажного каркасно-панельного здания с возможностью трансформации внутреннего и внешнего пространства. В работе С. Г. Абрамяна и А. Б. Илиева [21] выполнены исследования недостатков строительства быстровозводимых зданий и сооружений на основе анализа ряда научных публикаций отечественных и зарубежных учёных, а также отмечается, что, несмотря на огромные достоинства быстровозводимых строительных систем, на современном этапе развития они не полностью отвечают требованиям надёжности, энергоэффективности, рациональности и комфортности, пригодности для эксплуатации в любых климатических условиях. Исследование А. А. Pleshivtsev, M. I. Abu Mahadi, A. C. Markovich et al. [22] посвящено теоретическому и экспериментальному обоснованию рациональных параметров быстровозводимых трансформируемых малоэтажных зданий из сэндвич-панелей для разработки оптимальных

конструктивных решений по обеспечению пространственной жёсткости. Работа E. Korol, A. Pleshivcev [23] посвящена изучению параметров технологических операций при монтаже трансформируемых малоэтажных зданий со стенами из сэндвич-панелей. В исследованиях А. А. Плешивцева, Т. А. Суэтиной, И. Х. Наназашвили [24], [25] рассматриваются организационно-технологические решения при строительстве трансформируемых малоэтажных жилых зданий с использованием сэндвич-панелей. В статье С. Г. Абрамяна, А. В. Котляревской, А. А. Котляревского, З. Ю. Галда с соавт. [26] рассматриваются вопросы корреляции монтажной технологичности выполнения работ и низкой транспортной технологичности объёмных блок-модулей. Технологические аспекты возведения быстровозводимых трансформируемых зданий исследованы в работах М. С. Никольского, Ю. Н. Казакова [27], [28], Г. М. Бадьина и С. А. Сычева [29—31], в т. ч. в условиях Крайнего Севера. Исследования зарубежного опыта отражены в работах С. А. Сычева [32], [33], Н. М. Дементьева, В. А. Волкодава, И. А. Волкодава, И. Д. Титовой [34], М. В. Захаровой и А. Б. Пономарева [35], Л. А. Красиловой [36]. В исследовании [37] рассмотрен вопрос о развитии быстровозводимого строительства в Китае с исторической и глобальной точки зрения. В работах [38], [39] рассмотрен опыт проектирования и строительства модульных зданий в зарубежной практике, что свидетельствует об эффективности и положительных тенденциях развития строительства данного вида объектов.

## *2.2. Методика и критерии оценки*

Методика настоящего исследования заключается в оценке зарубежного и российского опыта использования трансформируемых деревянных конструкций в малоэтажном домостроении и разработке решения, удовлетворяющего российским требованиям нормативно-технических документов для строительства и эксплуатации в условиях Арктики. В целях дальнейших исследований и разработок были приняты следующие критерии и технические параметры складного быстровозводимого жилого модуля высокой степени заводской готовности на основе деревянных складных конструкций:

- Основные конструктивные (в т. ч. несущие) элементы модуля должны быть выполнены из древесины.
- Габаритные размеры модуля в транспортном (сложенном) состоянии должны составлять  $6,0 \times 2,4 \times 2,6$  м (длина  $\times$  ширина  $\times$  высота) для возможности транспортировки по дорогам общего пользования распространёнными грузовыми автомобилями и железнодорожным транспортом. Количество транспортируемых модулей с помощью одного транспортного средства — 2 единицы.
- Планируемая общая площадь модуля, исходя транспортных габаритных размеров, должна быть не менее  $15 \text{ м}^2$  с учётом возможности устройства мансардного этажа — не менее  $22 \text{ м}^2$  (первый этаж —  $15 \text{ м}^2$ , мансардный этаж —  $7 \text{ м}^2$ ).

- Объёмно-планировочные решения, с учётом возможной блокировки модулей, должны соответствовать требованиям нормативно-технических документов РФ, предъявляемым к малоэтажным зданиям (жилым многоквартирным домам, блокированным жилым домам, объектам социальной инфраструктуры). В настоящем исследовании рассмотрена разработка быстровозводимого жилого модуля.

- Сборка модуля в составе несущих конструкций, теплоизолирующих слоёв и наружных и внутренних отделочных слоёв должна быть выполнена в заводских условиях. В зависимости от применимой конструкции фундамента теплоизолирующие слои нижнего перекрытия и чистые покрытия пола могут выполняться в построечных условиях после монтажа модуля.

- Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций должно соответствовать требованиям эксплуатации в арктических условиях и составлять не менее  $3,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ .

- Время монтажа (раскладывания и приведения в эксплуатируемое положение) предполагается не более 4 ч.

- Подвижность конструкций должна обеспечиваться за счёт поворотных шарниров, реализованных из металла. Возможно рассмотрение вариантов на основе усиленных петель заводского изготовления.

Для оценки соответствия нормативно-техническим документам Российской Федерации использовались требования СП 55.13330.2016 «СНиП 31-02-2001 Дома жилые многоквартирные», СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные», приказа Минстроя РФ № 633/пр от 2 сентября 2022 г. «Об утверждении методики отбора проектов индивидуальных жилых домов для переселения граждан из аварийного жилого фонда» и постановления Правительства РФ от 28 января 2006 г. «Об утверждении положения о признании помещения жилыми помещениями, жилого помещения непригодным для проживания, многоквартирного дома аварийным и подлежащим сносу и или реконструкции, садового дома жилым домом и жилого дома садовым». В соответствии с требованиями СП 54.13330.2022 и вышеуказанных приказа Минстроя РФ и постановления Правительства РФ объёмно-планировочные решения индивидуального жилого дома должны удовлетворять следующим критериям:

- Индивидуальный жилой дом должен состоять из одной или нескольких жилых комнат (общей комнаты или гостиной и спальни) и вспомогательных помещений [передней, холла, кухни, в т. ч. кухни-столовой или кухни-ниши, ванной (душевой) комнаты и туалета или совмещённого санитарного узла].

- Площадь общей комнаты составляет не менее  $14 \text{ м}^2$ , гостиной — не менее  $16 \text{ м}^2$ , спальни — не менее  $8 \text{ м}^2$  (спальни для 2 человек — не менее  $10 \text{ м}^2$ , а при размещении спальни в мансарде — не менее  $7 \text{ м}^2$ ), спальни для инвалида-колясочника — не менее  $9 \text{ м}^2$ , кухни — не менее  $9 \text{ м}^2$  (кухни-ниши или кухонной зоны в кухне-столовой — не менее  $6 \text{ м}^2$ ).

- Высота (от пола до потолка) комнат и кухни (кухни-столовой) в климатических районах IA, IB, IG, ID и IVa, определяемых по СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99\*

Строительная климатология», должна быть не менее 2,7 м, а в других климатических районах — не менее 2,5 м. Высота внутриквартирных коридоров, холлов, передних, антресолей должна составлять не менее 2,1 м.

В соответствии с СП 55.13330.2016 площади помещений домов должны быть не менее: общей комнаты (или гостиной) — 12 м<sup>2</sup>, спальни — 8 м<sup>2</sup> (при размещении её в мансарде — 7 м<sup>2</sup>), кухни — 6 м<sup>2</sup>. Ширина помещений должна быть не менее: кухни и кухонной зоны в кухне-столовой — 1,7 м, передней — 1,4 м, внутриквартирных коридоров — 0,85 м, ванной — 1,5 м, туалета — 0,8 м. Размер туалетной комнаты по оси установки унитаза должен быть не менее 1,2 м при открывании двери наружу и не менее 1,5 м — при открывании двери внутрь.

Теплотехнический расчёт выполнялся для территории г. Мурманска. Расчёт проводился на основе следующих исходных данных, СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с изм. N 1, 2)» и ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»:

- Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 — -28 °С.
- Средняя температура периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной +8 °С (средняя температура воздуха отопительного периода) — -3,3 °С.
- Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной +8 °С (продолжительность отопительного периода) — 273 сут.
- Температура пребывания — +22 °С.
- Относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца — 84 %.
- Условия эксплуатации помещения — Б.
- Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП) — 66361 °С•сут.

В соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с изм. N 1, 2)» были получены значения сопротивления теплопередаче для следующих ограждающих конструкций:

- Покрытие (скатная утеплённая кровля): санитарно-гигиенические требования — 1,84 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт; нормируемое значение поэлементных требований — 4,30 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт; базовое значение поэлементных требований — 5,38 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт.
- Стены: санитарно-гигиенические требования — 1,38 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт; нормируемое значение поэлементных требований — 2,28 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт; базовое значение поэлементных требований — 3,63 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт.

### *2.3. Анализ продукции европейских производителей*

Анализ рынка трансформируемых конструкций показал, что в России не представлены производства и компании, применяющих в своей практике технологию трансформации (складывания) деревянных конструкций зданий для производства и строительства малоэтажных зданий с круглогодичным режимом эксплуатации. В зарубежной практике



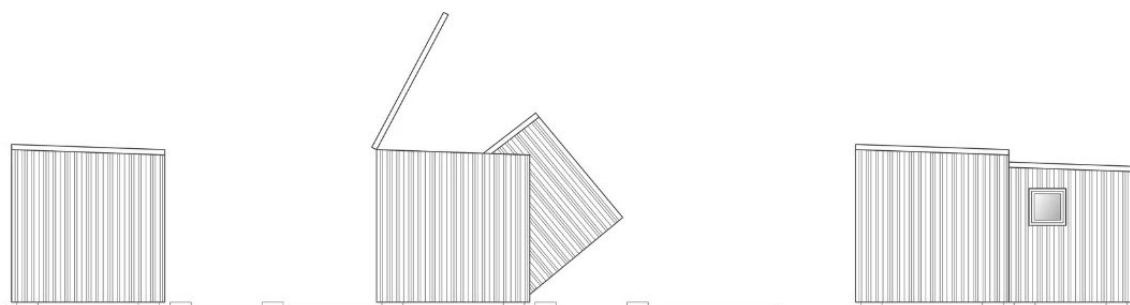
деревянные трансформируемые конструкции используют латвийская компания Brette House и итальянские M.A.Di и A-Fold, продукция которых была проанализирована в настоящей работе.

### 2.3.1. Модульные здания латвийской компании Brette House

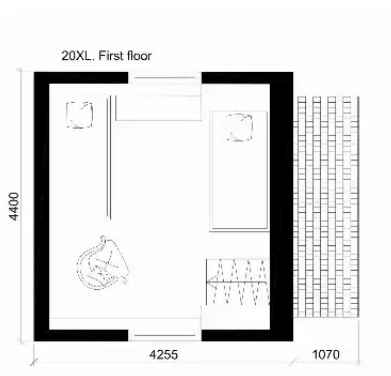
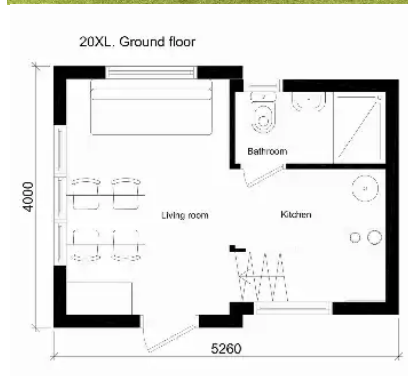
Продукция латвийской компании Brette House представлена четырьмя типами складных (трансформируемых) и сборных зданий — TINY D, COMPACT 20XL/30XL, RUSTIC 20XL/30XL и A-FRAME [40]. Для оценки в настоящем исследовании были рассмотрены типы COMPACT (рисунок 1) и RUSTIC (рисунок 3). Основным материалом несущих конструктивных элементов зданий являются панели из поперечно-клееной древесины (Cross Laminated Timber, далее — CLT). Дом выполнен из CLT-панелей толщиной 90 мм. В качестве утеплителя применяется материал STEICO Flex на основе древесного волокна. Снаружи применена гидро-ветрозащитная мембрана. В качестве облицовки фасада используется обшивка из деревянной фасадной доски. Дополнительных отделочных слоёв для внутренних поверхностей CLT-панелей не требуется. Трансформирование модулей осуществляется выдвижением одного объёма (помещений кухни и санузла) из другого (помещений общей комнаты и спальни) за счёт системы поворотных металлических шарниров (рисунки 2 и 4 соответственно). Время разворачивания из транспортного положения в эксплуатационное, заявленное производителем, составляет 4 ч.



**Рисунок 1.** Трансформируемый модуль COMPACT компании Brette House, [[https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member\\_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=902-big&sid=](https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=902-big&sid=), [https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member\\_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=903-big&sid=](https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=903-big&sid=)]



**Рисунок 2.** Схема трансформации модуля COMPACT компании Brette House [<https://brette.haus/compact>]



**Рисунок 3.** Трансформируемый модуль RUSTIC компании Brette House [[https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member\\_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=910&sid=](https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=910&sid=), <https://i.pinimg.com/originals/cc/a6/39/cca6397cfcb6fbc3d456e38cdabfcb5c.jpg>, [https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member\\_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=907&sid=](https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=907&sid=), [https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member\\_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=908&sid=](https://tecsit.de/wpcontents/member.php?member_id=2b8fcae3f63af1c053ebe1fa910e0e74e6a80314f08eaf0ea9d09bb5bbcb4709&action=tinyhouses&api=87e1688abf4e4f30f5628725dfea44e6c6d0a312e9a7d35ae472e441&value=908&sid=)]

Металлические шарниры складывания в нижней части зданий находятся в тёплом контуре конструкций. Конструкции кровельных шарниров частично располагаются за пределами тёплого контура здания. Решение по изоляции вертикальных стыков, образованных в месте сочленениядвигающихся при монтаже объемов, реализовано за счёт применения ранее изготовленных вставок с элементами фасада и внутренней отделки, которые монтируются вместе с теплоизоляционной клейкой лентой встык и враспор, а также фиксируются конструкционными самонарезающими винтами. При необходимости складывания здания в транспортное положение самонарезающие винты демонтируются и вставки удаляются.



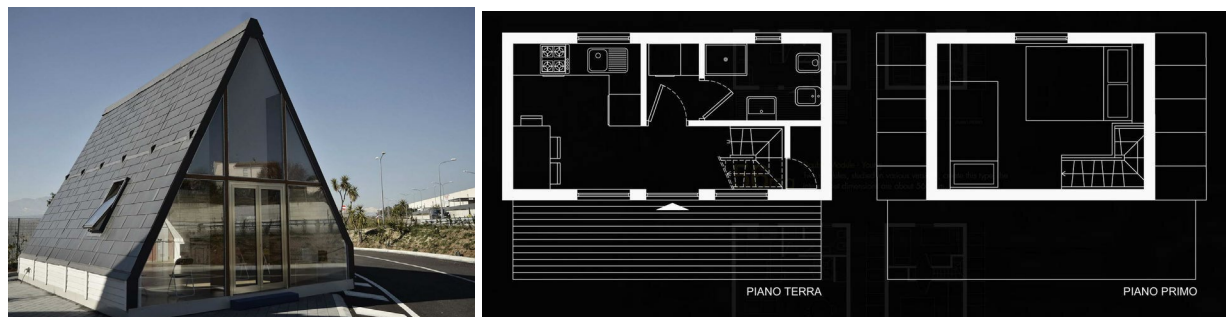
**Рисунок 4.** Схема трансформации модуля RUSTIC компании Brette House [<https://i.piniing.com/736x/e4/9d/01/e49d016f76bf0c1239b3ab46d391d388.jpg>]

### 2.3.2. Модульные здания итальянских компаний M.A.Di и A-FOLD

Продукцией итальянских компаний M.A.Di и A-FOLD являются системы сборных быстровозводимых модульных зданий. В переводе с итальянского языка аббревиатура M.A.Di — это «разворачиваемый жилой модуль» (от итал. *modulo abitativo dispiegabile*) [41]. Продукция компании представлена четырьмя типами систем — Tipologia A-Frame, Tipologia classica, Tipologia tradizionale и Tipologia minimal e moderna. Линейка модульных складных зданий выпускается сразу в 5 размерах и в разной ценовой категории представлена домами площадью в 27, 46, 56, 70 и 84 м<sup>2</sup>. В настоящем исследовании рассмотрен модульный дом типа A-Frame (рисунок 5).

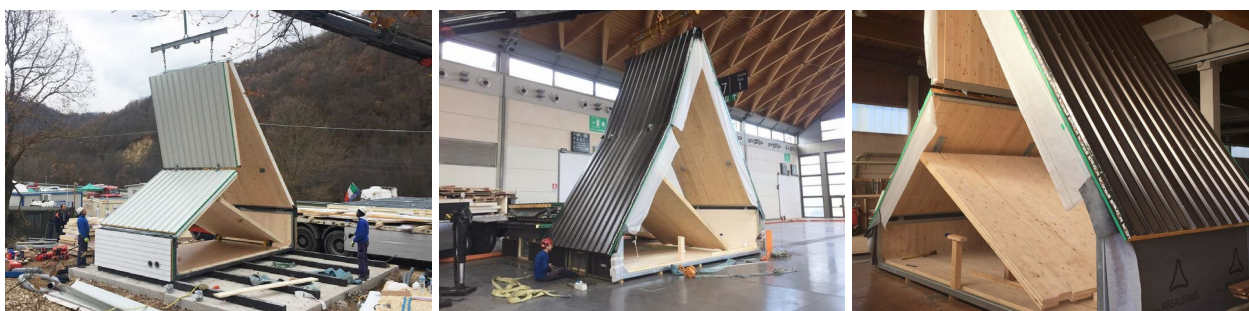
Автором проекта складного дома выступил итальянский архитектор Ренато Видал (Renato Vidal). Несущие элементы здания спроектированы в виде буквы А (A-Frame) и оборудованы оригинальным складывающимся механизмом (рисунок 6), базирующимся на применении шарнирных элементов, один из которых расположен в одном из скатов. Готовое здание блокируется из нескольких однотипных модулей, что позволяет выбирать более гибкие решения по площади и схеме блокировки. Здания M.A.Di вне зависимости от площади представлены двухэтажными. Первый этаж предусматривает открытое пространство для свободной планировки, но традиционно выделяют кухонный уголок, ванную комнату

и гостиную со столовой. Второй этаж предусматривает размещение спальни и рабочей/игровой зоны. Первый этаж может быть дооборудован верандой, а на втором этаже можно предусмотреть балкон (в базовую комплектацию не входит).



**Рисунок 5.** Модульный дом типа A-Frame компании M.A.Di [[https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen\\_doc/5175112/pub\\_6315c20e35c64a2734aa173b\\_6315c299865-eba6d1c9192ce/scale\\_1200](https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/5175112/pub_6315c20e35c64a2734aa173b_6315c299865-eba6d1c9192ce/scale_1200), [https://avatars.dzeninfra.ru/getzen\\_doc/98165/pub\\_6315c20e35c64a-2734aa173b\\_6315c2f1e61c2234d6749763/scale\\_240](https://avatars.dzeninfra.ru/getzen_doc/98165/pub_6315c20e35c64a-2734aa173b_6315c2f1e61c2234d6749763/scale_240)]

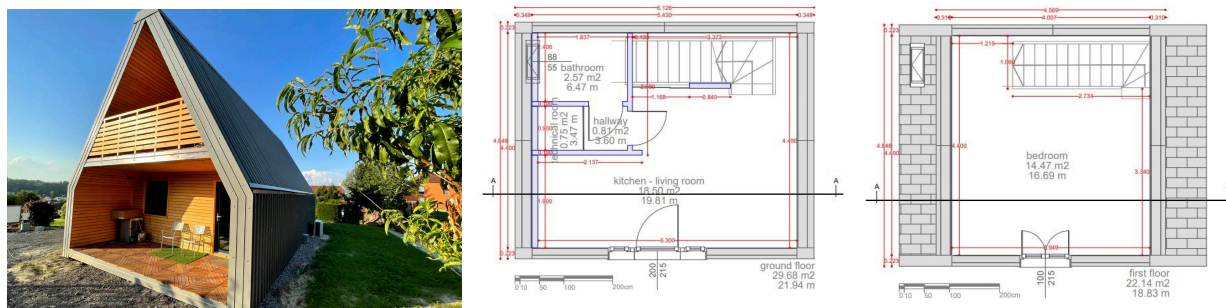
Несущие конструкции модулей реализованы на основе перекрёстно-клееных панелей CLT/X-LAM, однако строительная система M.A.Di не исключает возможности создания таких же модулей с каркасной конструкцией. Модульная конструкция базируется на оцинкованной стальной раме и шарнирных элементах, которые обеспечивают возможность трансформации (складывания). В качестве гидроизоляции и теплоизоляции скатных элементов применены пенополиуретан и жёсткая минеральная вата для стен. По европейским стандартам здание относится к классу энергосбережения B. Строительный модуль поставляется в упакованном для транспортировки блоке высотой 1,5 м, а на месте установки раскладывается в здание высотой 6,5 м. Время монтажа одного модуля тремя рабочими при помощи крана на строительной площадке занимает 6—7 ч, а время сборки дома под ключ составляет 3 дня.



**Рисунок 6.** Схема раскладывания (трансформации) дома типа A-Frame компании M.A.Di [[https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen\\_doc/3533726/pub\\_6315c20e35c64a2734aa-173b\\_6315c2dbef468614a6639de2/scale\\_1200](https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/3533726/pub_6315c20e35c64a2734aa-173b_6315c2dbef468614a6639de2/scale_1200), <https://hightech.fm/wp-content/uploads/-2018/10/42448.jpg>, <https://novate.ru/files/u39778/2-modulnyj-dom-m-a-di.jpg>]



Продукция компании A-FOLD [42] аналогична изделиям компании M.A.Di. Продукция компании представлена двумя типами — Residential и Clamping. Линейка модульных складных зданий каждого типа представлена тремя моделями — Model A, Model T и Model C. В настоящем исследовании рассмотрен модульный дом модели Model A (рисунок 7).



**Рисунок 7.** Модульный дом модели Model A компании A-FOLD [<http://www.-designdiffusion.com/wp-content/uploads/2023/07/casa-prefabbricata-legno-afold-francia.-jpg>, <https://housinginnovation.co/wp-content/uploads/2020/07/dd.jpg>, <https://housinginnovation.co/wp-content/uploads/2020/07/ddd.jpg>]

В отличие от панели модуля M.A.Di, которые выполнены из CLT-древесины по металлическому каркасу, в качестве несущих конструктивных элементов в варианте компании A-FOLD применяются деревянные панели из спрессованных досок, перекрёстно соединённых друг с другом алюминиевыми крепёжными элементами (Massiv-Holz-Mauer, далее — МНМ). МНМ-технология изготовления панельных элементов более экологически чистая и экономически более эффективна в сравнении с CLT-древесиной, в силу отсутствия необходимости применения вяжущих на основе меланиновых и полиуретановых компонентов и высокотехнологичного оборудования с высокой стоимостью. В качестве теплоизолирующего материала применяется материал на основе древесного волокна.

Конструктивно-технологические решения компаний M.A.Di и A-FOLD защищены международными патентами. Системы предлагают множество типологических решений, которые различаются в зависимости от компоновки нескольких модулей и/или использования различных материалов. Наличие модулей разного размера и возможность их различной блокировки позволяют вести массовую разнообразную застройку. Здания могут устанавливаться для постоянного проживания на стандартный железобетонный фундамент, а в альтернативном временном варианте жилья может использоваться система свай.

В отличие от продукции компании Brette House, где модуль является уже готовым к эксплуатации зданием, модули компаний M.A.Di и A-FOLD являются составной частью здания. Готовый дом состоит из нескольких однотипных модулей, что позволяет выбирать более гибкие решения по площади, этажности и схемы блокировки здания. Панели модуля

компаний M.A.Di выполнены из CLT-древесины по металлическому каркасу, а в качестве несущих конструктивных элементов в варианте компании A-FOLD применяются деревянные МНМ-панели из спрессованных досок, перекрёстно соединённых друг с другом алюминиевыми крепёжными элементами. Толщина CLT- или МНМ-панелей варьируется от 60 до 160 мм. Основное утепление реализовано из плит на основе жёсткой минеральной ваты или теплоизолирующего материала на основе древесного волокна толщиной от 50 до 250 мм. В результате анализа теплотехнических характеристик получены приемлемые показатели сопротивления теплопередачи.

#### *2.4. Результаты анализа продукции европейских производителей*

По результатам оценки возможности применения решений европейских производителей для арктических условий выявлены следующие решения и особенности, ограничивающие их применение в северных условиях:

- Объёмно-планировочные решения дома типа COMPACT от компании Brette Hause не соответствуют требованиям РФ в части площадей помещений и их высоты. При попытке увеличить высоту помещений в здании до 2,7 м габаритные размеры перевозимого модуля превысили транспортный габарит по высоте.

- Решения модулей компаний M.A.Di и A-FOLD также не соответствуют требуемым параметрам площади помещений, но при использовании нескольких модулей требования соблюдаются. Необходимо отметить сложное решение складывания (трансформации) модуля за счёт шарнирного соединения в скатной конструкции покрытия. Кровельный скат ослаблен стыковым соединением панелей, которое расположено поперёк ската. В северных условиях эксплуатации такое решение может стать проблемным из-за недостаточной гидро- и теплоизоляции и необходимости воспринимать значительные внешние нагрузки и воздействия (например, существенные снеговые и ветровые нагрузки). К минусам также можно отнести нестандартную форму большей части внутренних помещений в связи с применением типа A-Frame. Наличие наклонных скатов, выполняющих одновременно функцию и стены, и скатной кровли, требует более детальной проработки решений внутреннего пространства здания и рационального использования объёма и площади.

- При эксплуатации зданий COMPACT и RUSTIC компании Brette House в условиях холодного климата частичное расположение конструкций шарнира за пределами теплового контура будет влиять на теплотехнические характеристики здания в местах установки кровельных шарниров, создавая «мостики холода» [43]. В данном случае место установки шарнира в структуре деревянной конструкции будет испытывать негативные воздействия из-за постоянного выпадения влаги на металлических поверхностях шарнира.

- В основе конструкции пола и нижней неподвижной части стен модулей M.A.Di и A-FOLD лежит металлический каркас. Металлические элементы в конструкции понижают сопротивление теплопередаче локально и негативно влияют на энергоэффективность здания в целом. Также конструкция шарнира складывания ската, состоящая из нескольких

металлических пластин, пронизывает теплоизоляционные и конструктивные слои на всю толщину. Такой значительный «мостик холода» и благоприятные условия для возникновения конденсата на металлических элементах существенно ограничивают возможность использования здания в северных условиях.

▪ Санитарно-гигиенические требования по тепловой защите для всех рассмотренных решений удовлетворяются, но поэлементные требования к сопротивлению теплопередаче для арктических зон недостаточны. Это может говорить о недостающей энергоэффективности ограждающих конструкций и необходимости проверки решений в реальных условиях эксплуатации [44—46] с учётом реальных теплофизических характеристик применяемых материалов [47], [48]. Можно сделать вывод, что, несмотря на возможное увеличение изоляционного слоя, первоначальная конструкция имеет множество «мостиков холода» в виде сложных шарниров и металлических элементов в основании конструкции.

### 3. Результаты

В результате выполненного анализа и оценки решений, применяемых на европейском рынке, а также с учётом заданных критериев была предложена концепция складываемого (трансформируемого) модуля, представленная на рисунке 8. В целях получения решения, удовлетворяющего требованиям эксплуатации в условиях северных территорий, в данном варианте конструкции учтены положительные стороны европейских вариантов решений и исключено большинство их недостатков. Предлагаемая конструкция предполагает применение двух отдельных складных конструкций первого и мансардного (скатной крыши) этажей. Конструкция мансардного этажа может быть использована самостоятельно для формирования зданий типа A-Frame. Возможность компоновки нескольких модулей позволяет реализовывать здания различной площади и функционального назначения.



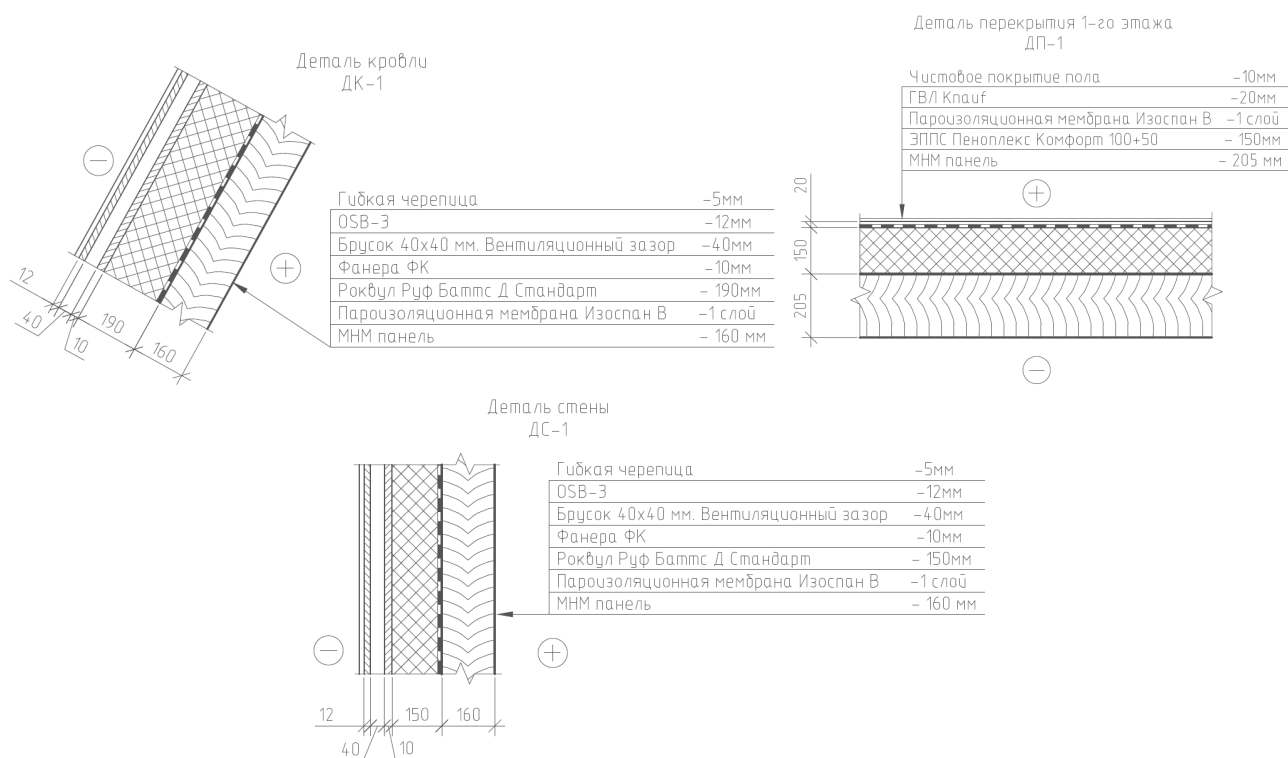
**Рисунок 8.** Предлагаемая концепция складного (трансформируемого) модуля [рисунок авторов]

Конструкция модуля представляет панельно-каркасную систему. В качестве основы для конструкций модуля приняты МНМ-панели. Готовые стены из МНМ-панелей не дают усадку, не гниют, не содержат токсичных клеевых компонентов. Все шарнирные элементы находятся внутри тёплого контура, не создавая дополнительных «мостиков холода». В качестве шарнирных элементов применены усиленные петли заводского изготовления, дополненные монтажными пластинами для крепления к панели. Предусмотрена установка по три шарнирных петли на одно стыковое соединения между панелями. Шарнир испытывает только монтажные нагрузки в момент складывания (трансформации). При раскрытии и фиксации модуля в проектное положение шарнир не задействован в работе конструкции в период эксплуатации. Такое решение позволяет упростить шарнирный элемент и использовать классическую схему стыковки МНМ-панелей в половину сечения, что исключает продувание стыка. Классическое вертикальное расположение стен первого этажа позволяет рационально использовать площадь и объём помещений. Для обеспечения необходимой жёсткости конструкций межэтажного перекрытия и пола может быть использован дополнительный балочный элемент.

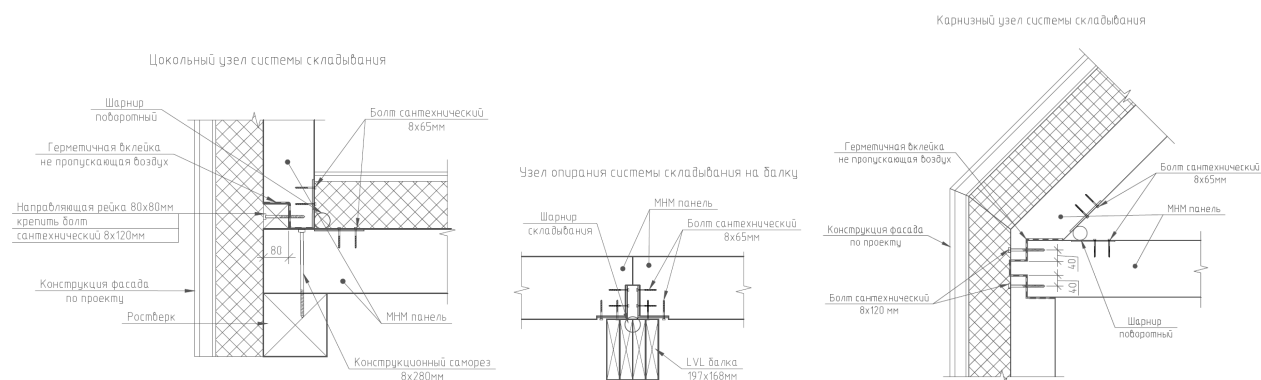
В результате анализа изоляционных и отделочных материалов в качестве теплоизоляционного материала принята минеральная вата толщиной 150 мм в стенах и 190 мм в утеплённой кровле (рисунок 9). В качестве изоляционно-отделочных покрытий кровли и фасада принята гибкая черепица, в силу своей долговечности и прочности на сжатие (что важно при транспортировке и трансформировании модуля). Фиксация минеральной ваты к МНМ-панели происходит при помощи клея с последующим закреплением конструктивными самонарезающими винтами через слой фанеры. Для утепления нижнего перекрытия был выбран экстрадированный пенополистирол за счёт своей жёсткости и возможности быстрого устройства по нему основания для конструкции пола. Недостаточная огнестойкость пенополистирола компенсируется за счёт применения в качестве основания для конструкции пола гипсоволокнистых листов.

При выполнении теплотехнического расчёта было получено, что сопротивление теплопередаче конструкции стен составляет  $4,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , а сопротивление теплопередаче конструкции крыши —  $5,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ . Данные показатели превосходят минимальные требования, отмеченные выше, а разработанная конструкция позволяет смонтировать элементы фасада и утепления до транспортировки, что повышает заводскую готовность системы складывания. Герметизация стыков происходит за счёт соединения в половину сечения и укрытия стыка теплоизоляционным материалом (рисунок 10). Такое решение не создаёт «мостиков холода» и является классическим при постройке домов из CLT- и МНМ-панелей.





**Рисунок 9.** Детали ограждающих конструкций утепленной кровли, утепленного нижнего перекрытия и стены [рисунок авторов]



**Рисунок 10.** Узлы конструкции складывания (сначала — налево): цокольный узел, узел опирания на балку, карнизный узел [рисунок авторов]

#### 4. Обсуждение и заключение

Новизна разработок заключается в применении трансформации (складывания) конструкции деревянного модульного здания на основе продукции высокой степени заводской готовности, изготовленной в производственных условиях, и с возможностью раскладывания при монтаже в условиях строительной площадки с учётом применения в условиях Арктики. Возможность применения системы складывания в северных условиях

обеспечивается за счёт нахождения шарнирных элементов в тёплом контуре модуля, что выгодно отличает данный проект от европейских аналогов. Изготовление основных конструкций модуля в заводских условиях позволяет существенно сократить сроки производства строительного-монтажных работ в благоприятный период времени в условиях строительной площадки. В сложенном состоянии модуль имеет компактные размеры, что даёт возможность его транспортировки по дорогам общего пользования и железнодорожным транспортом. За счёт возможности блокировки применение модульной технологии позволяет реализовывать здания различной площади и компоновки.

Получены следующие технические параметры разрабатываемого быстровозводимого складного модуля на основе деревянных конструкций:

- Несущий каркас складного модуля выполнен из МНМ-древеси́ны.
- Габаритные размеры складного модуля в транспортном состоянии —  $6,0 \times 2,4 \times 1,6$  м (длина  $\times$  ширина  $\times$  высота). Количество транспортируемых модулей с помощью грузового автомобиля (евро-фуры) составляет 2 шт.
- Общая площадь складного модуля в эксплуатируемом состоянии составляет  $21,6 \text{ м}^2$ , в т. ч. первого этажа —  $14,6 \text{ м}^2$  и мансардного этажа —  $7 \text{ м}^2$ .
- Чистовая отделка стен не требуется за счёт применения МНМ-панелей. Ограждающие конструкции фасада и утеплитель смонтированы в заводских условиях. Отделка пола и его утепление монтируются в построечных условиях, после установки модуля.
- Сопротивление теплопередаче конструкций нижнего перекрытия составляет  $4,95 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , конструкций стен —  $4,64 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , конструкций кровли —  $5,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$  т. В качестве утеплителя для конструкций нижнего перекрытия использован экструзивный пенополистирол. Утепление стен и кровли реализовано за счёт применения минеральной ваты повышенной жёсткости.
- Время раскладывания (приведение в эксплуатируемое положение) модуля составляет 3 ч.
- В основе конструкции элементов системы складывания применён листовый металл, соединённый при помощи сварных соединений. Подвижность конструкций обеспечивается за счёт поворотных шарниров реализованных на основе усиленных петель заводского изготовления.

В качестве дальнейших направлений исследований и разработок предполагаются следующие:

- Для уменьшения проектных ошибок, более подробной детализации конструкций и соответствия современным стандартам проектирования предполагаются разработка предлагаемых решений с применением технологий информационного моделирования [49], [50] и создание информационной модели модуля.
- В целях уменьшения веса конструкции, коэффициента использования древесины, а также конечной стоимости продукции необходимо рассмотреть возможность применения в основе несущих элементов системы складывания каркасную технологию.

▪ Для расширения возможностей применения модуля в качестве многофункционального необходима разработка объёмно-планировочных решений зданий различного функционального назначения и площади.

Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос инженерного обеспечения (системы электроснабжения, вентиляции, отопления, водоснабжения и водоотведения), необходимого для достаточного и комфортного функционирования зданий на основе модульного решения для временного или постоянного пребывания пользователей. Отметим лишь, что, несмотря на существование современного компактного оборудования для инженерного обеспечения, может оказаться необходимым увеличение площади проектируемых зданий. Предлагаемой конструкцией предусмотрено создание системы из двух и более модулей, в одном из которых может быть скомпоновано основное инженерное оборудование.

*Исследования были проведены в ходе реализации проекта «Разработка системы складывания для многофункционального быстровозводимого жилого модуля высокой степени заводской готовности на основе деревянных складных конструкций», поддержанного в рамках Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих учёную степень и обеспечивающих значительный вклад в инновационное развитие отраслей экономики и социальной сферы Республики Карелия, в 2024 г., финансируемой Правительством Республики Карелия (договор № 3-Г24 от 20.03.2024 между ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» и Фондом венчурных инвестиций Республики Карелия).*

## Список литературы

1. Зеленин Н. А., Пучков М. В. Проблемы разработки комплексных проектов индивидуального жилищного строительства на неосвоенных территориях и пути их решений // Современное строительство и архитектура. 2024. № 12 (55). DOI: 10.60797/mca.2024.55.2.
2. Федорова А. В., Емельянова Е. Г., Кузьменков А. А. Демографическое благополучие и обеспеченность объектами социальной инфраструктуры муниципальных образований Республики Карелия // Региональная экономика: теория и практика. 2023. Т. 21, № 5. С. 821—840. DOI: 10.24891/re.21.5.821.
3. Possibilities of using wood and wood materials in the construction of the Republic of Karelia / A. A. Kuzmenkov, O. N. Galaktionov, E. G. Emelyanova [et al.] // E3S Web of Conference. 2023. Vol. 389. P. 01013. DOI: 10.1051/e3sconf/202338901013.
4. Wood raw materials and wood waste use for the building materials production (on the example of the Republic of Karelia timber industry) / A. A. Kuzmenkov, O. N. Galaktionov, M. V. Karpov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 458. P. 07025. DOI: 10.1051/e3sconf/202345807025.
5. Федорова А. В., Емельянова Е. Г., Кузьменков А. А. Трансформация показателей рынка жилищного строительства: основные тенденции и прогнозы // Фундаментальные исследования. 2022. Т. 1, № 10. С. 129—135. DOI: 10.17513/fr.43355.
6. Федорова А. В., Емельянова Е. Г., Кузьменков А. А. Тенденции развития жилищного строительства в муниципальных образованиях Республики Карелия // Проблемы развития территории. 2023. Т. 27, № 2. С. 23—39. DOI: 10.15838/ptd.2023.2.124.3.

7. *Fedorova A. V., Yemelyanova E. G., Kuzmenkov A. A.* Individual housing construction in municipalities of the Republic of Karelia // Materials of the AIP conference. 2023. No. 2936. С. 050014. DOI: 10.1063/5.0179051.
8. Energy-efficient building materials for Arctic conditions as a criterion for «green building» Ya. M. Karachentseva, A. A. Kuzmenkov, A. V. Kaychënov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 383. P. 04075. DOI: 10.1051/e3sconf/202338304075.
9. *Кузьменков А. А., Караченцева Я. М., Дербенёв А. В.* Обоснование конструктивных и технологических решений экспериментального деревянного малоэтажного здания с учётом принципов «Зелёного строительства» // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 1. С. 66—93. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5522.
10. *Кузьменков А. А., Титова С. А.* Техничко-экономическое сравнение вариантов конструкций стен малоэтажных жилых зданий для северных условий Республики Карелия // Resources and Technology. 2016. Т. 13, № 4. С. 57—70. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3481.
11. *Kuzmenkov A., Kolesnikov G., Voronin Z.* Green Technologies of Wooden Building for Arctic // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 227. P. 385—398. DOI: 10.1007/978-3-030-94770-5\_30.
12. Green building in the northern and Arctic regions / A. A. Kuzmenkov, S. Y. Buryachenko, Z. A. Voronin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937, no. 4. P. 042030. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042030.
13. Factors influencing the rating of low-rise wooden houses as «green» buildings / A. A. Kuzmenkov, S. Y. Buryachenko, Ya. M. Karachentseva [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. P. 05018. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305018.
14. Russian economy and industry in decarbonization focus: problems and solutions / O. N. Galaktionov, Yu. V. Sukhanov, A. V. Kuznecov [et al.] // BIO Web of Conferences. 2024. No. 116. P. 07015. DOI: 10.1051/bioconf/202411607015.
15. The influence of enclosing structures of walls on the energy efficiency of a wooden building (on the example of the international project KO 1089 «Green Arctic Building») / S. Y. Buryachenko, Z. A. Voronin, Ya. M. Karachentseva [et al.] // IOP conference series: Science of the Earth and the Environment. 2020. Vol. 539. P. 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012024.
16. *Зайцева М. И., Кошелев С. Н., Кузьменков А. А.* О комплексном подходе при строительстве зданий с пониженным потреблением энергии на отопление // Resources and Technology. 2016. Т. 13, № 3. С. 42—48. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3461.
17. *Минабутдинова А. Р., Агишева И. Н.* Принципы формирования трансформируемого жилого пространства // Известия КГАСУ. 2019. № 3 (49). С. 62—70.
18. *Акимова Э. Ш., Акимов С. Ф.* Технологические особенности малоэтажного жилищного строительства // Экономика строительства и природопользования. 2019. № 2 (71). С. 149—158.
19. *Митькина А. С., Поморов С. Б.* Способы трансформации жилых пространств в индивидуальном жилище конструкционными методами // Ползуновский альманах. 2020. Т. 2, № 2. С. 53—56.
20. *Yudin V.* Panel low-rise building with possibility of changing internal and external space // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687, no. 5. P. 055024. DOI: DOI 10.1088/1757-899X/687/5/055024.
21. *Абрамян С. Г., Илиев А. Б.* Основные требования к быстровозводимым строительным системам // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426). Текст: электронный.

22. Development of methods for buildings calculation from sandwich panels for transformable low-rise buildings / A. A. Pleshivtsev, M. I. Abu Mahadi, A. C. Markovich [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 675. P. 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/675/1/012015.
23. Korol E., Pleshivtsev A. Multiple-criteria decision analysis of the transformable low-rise building technological construction process // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. P. 03042. DOI: 10.1051/mateconf/201819303042.
24. Пleshивцев А. А. Технологические особенности монтажа трансформируемых малоэтажных зданий из сэндвич-панелей // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8, № 1 (27). С. 15—25. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.1.2.
25. Суэтина Т. А., Наназашивили И. Х., Пleshивцев А. А. Организация строительства экологичных быстровозводимых зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31 (5), ч. 2. С. 535—539.
26. Трансформирующиеся и сборно-разборные объёмные блок-модули, применяемые в строительстве / С. Г. Абрамян, А. В. Котляревская, А. А. Котляревский [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2020. № 12 (72). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755). Текст: электронный.
27. Никольский М. С., Казаков Ю. Н. Рациональные конструктивно-технологические решения быстровозводимых коттеджей для загородного домостроения на основе деревянных панелей // Вестник гражданских инженеров. 2009. № 4 (21). С. 61—67.
28. Казаков Ю. Н. Технологии быстрого строительства экономичных малоэтажных жилых домов на основе оптимизированных лёгких сэндвич-панельных систем // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 4. С. 95—102.
29. Сычев С. А. Индустриальная технология монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера // Жилищное строительство. 2017. № 3. С. 71—78.
30. Бадьин Г. М., Сычев С. А. Научные и технологические основы высокоскоростных энергоэффективных строительных систем в условиях Крайнего Севера // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году. 2020. С. 22—31.
31. Сычев С. А., Бадьин Г. М. Технология монтажа быстровозводимых конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 3 (16). С. 56—61.
32. Сычев С. А. Технология высокоскоростного строительства малоэтажных зданий // Актуальные вопросы технических наук: Сб. материалов Междунар. науч. конф. М., 2014. С. 71—76.
33. Сычев С. А. Системный анализ технологий высокоскоростного строительства в России и за рубежом // Перспективы науки. 2015. № 9. С. 126—131.
34. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учётом зарубежного опыта / Н. М. Дементьев, В. А. Волкодав, И. А. Волкодав [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2023. № 4 (100). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321). Текст: электронный.
35. Захарова М. В., Пономарев А. Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Construction and Geotechnics. 2017. Т. 8, № 1. С. 148—155.
36. Красилова Л. А. Проблемы экспериментального, массового и индивидуального деревянного жилища в странах Европы в первой половине XX века // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 244—253. DOI: 10.21285-/2227-2917-2016-2-224-253.

37. Junjun Z., Haining W., Hong Z. Reflections on the Development of Prefabricated Buildings in China from a Historical and Global Perspective // Towards Implementation of Sustainability Concepts in Developing Countries. 2021. P. 185—192. DOI: 10.1007/978-3-030-74349-9\_15.
38. Puzey A., Balding T. Use of load-bearing AAC panels in transportable, prefabricated, pre-finished, modular housing // Proceeding on Civil Engendering. 2023. Vol. 6, no. 2. P. 182—190. DOI: 10.1002/cepa.1974.
39. Construction Industry Transformation through Modular Methods / W. Ferdous, A. Manalo, A. Sharda [et al.] // Innovation in Construction: A Practical Guide to Transforming the Construction Industry. 2022. P. 259—276. DOI: 10.1007/978-3-030-95798-8\_11.
40. Brette Huas: official site. URL: <https://brette.haus/es/> (дата обращения: 05.01.2025). Текст: электронный.
41. Home — MADI: official site. URL: <https://madihome.com/> (дата обращения: 05.01.2025). Текст: электронный.
42. Home — A-FOLD: official site. URL: <https://www.a-fold.com/> (дата обращения: 05.01.2025). Текст: электронный.
43. Kuzmenkov A., Tikhonov E., Kolesnikov G. Thermal Bridges in Wall Panels of Wooden Frame Houses // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 70. P. 329—336. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3\_29.
44. Temperature and relative humidity monitoring system of the experimental building / A. A. Kuzmenkov, D. A. Kuvshinov, S. Yu. Buryachenko [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2131, no. 5. P. 052070. DOI: 10.1088/17426596/2131/5/052070.
45. Thermal imaging survey of wooden buildings: Evaluation of two structural and technological solutions / A. A. Kuzmenkov, Ya. M. Karachentseva, Z. A. Voronin [et al.] // AIP Conference Proceedings. 2023. No. 2936. P. 040011. DOI: 10.1063/5.0178498.
46. Automated systems for monitoring microclimate parameters and electricity metering of an experimental building / A. V. Kaychenov, S. A. Lukin, A. A. Yarockaya [et al.] // E3S Web of Conference. 2023. Vol. 389. P. 02005. DOI: 10.1051/e3sconf/202338902005.
47. Monitoring of thermophysical properties of wooden buildings envelopes in climatic conditions of Murmansk and Petrozavodsk / S. Yu. Buryachenko, Z. A. Voronin, Ya. M. Karachentseva [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 244. P. 05025. DOI: 10.1051/e3sconf/-202124405025.
48. Kuzmenkov A., Karachenceva Ya. Refinement of thermal engineering calculations results taking into account actual materials characteristics // E3S Web of Conference. 2023. No. 402. P. 07001. DOI: 10.1051/e3sconf/202340207001.
49. Information model of green building research in the Arctic: methodological aspects / A. Kuzmenkov, A. Kaychenov, Ya. Karachenceva [et al.] // E3S Web of Conferences. 2023. No. 420. P. 03021. DOI: 10.1051/e3sconf/202342003021.
50. Кузьменков А. А., Кайчёнов А. В. Критерии выбора технологий экологически безопасного строительства в Арктике // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19, № 6. С. 1031—1046. DOI: 10.22-227/1997-0935.2024.6.1031-1046.

## References

1. Zelenin N. A., Puchkov M. V. Problems of developing complex projects of individual housing construction in undeveloped territories and ways of their solutions. *Modern construction and architecture*, 2024, no. 12 (55). doi: 10.60797/mca.2024.55.2. (In Russ.)
2. Fedorova A. V., Yemelyanova E. G., Kuzmenkov A. A. Demographic well-being and provision of social infrastructure facilities in municipalities of the Republic of Karelia. *Regional*

- economics: theory and practice*, 2023, vol. 21, no. 5, pp. 821—840. doi: 10.24891/re.21.5.821. (In Russ.)
3. Kuzmenkov A. A., Galaktionov O. N., Emelyanova E. G., Fedorova A. V. Possibilities of using wood and wood materials in the construction of the Republic of Karelia. *E3S Web of Conference*, 2023, vol. 389, p. 01013. doi: 10.1051/e3sconf/202338901013.
  4. Kuzmenkov A. A., Galaktionov O. N., Karpov M. V., Emelyanova E. G. Wood raw materials and wood waste use for the building materials production (on the example of the Republic of Karelia timber industry). *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 458, p. 07025. doi: 10.1051/e3sconf/202345807025
  5. Fedorova A. V., Yemelyanova E. G., Kuzmenkov A. A. Transformation of indicators of the housing construction market: main trends and forecasts. *Fundamental research*, 2022, vol. 1, no. 10, pp. 129—135. doi: 10.17513/fr.4335. (In Russ.)
  6. Fedorova A. V., Yemelyanova E. G., Kuzmenkov A. A. Trends in the development of housing construction in municipalities of the Republic of Karelia. *Problems of territory development*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 23—39. doi: 10.15838/ptd.2023.2.124.3. (In Russ.)
  7. Fedorova A. V., Yemelyanova E. G., Kuzmenkov A. A. Individual housing construction in municipalities of the Republic of Karelia. *Materials of the AIP conference*, 2023, no. 2936, p. 050014. doi: 10.1063/5.0179051.
  8. Karachenceva Ya. M., Kuzmenkov A. A., Kaychënov A. V., Voronin Z. A. Energy-efficient building materials for Arctic conditions as a criterion for «green building». *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 383, p. 04075. doi: 10.1051/e3sconf/202338304075.
  9. Kuzmenkov A. A., Karachentseva Ya. M., Derbenev A. V. Substantiation of constructive and technological solutions for an experimental wooden low-rise building taking into account the principles of «Green construction». *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 66—93. doi: 10.15393/j2.art.2021.5522. (In Russ.)
  10. Kuzmenkov A. A., Titova S. A. Technical and economic comparison of wall designs of low-rise residential buildings for the northern conditions of the Republic of Karelia. *Resources and Technology*, 2016, vol. 13, no. 4, pp. 57—70. doi: 10.15393/j2.art.2016.3481. (In Russ.)
  11. Kuzmenkov A., Kolesnikov G., Voronin Z. Green Technologies of Wooden Building for Arctic. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 227, pp. 385—398. doi: 10.1007/978-3-030-94770-5\_30.
  12. Kuzmenkov A. A., Buryachenko S. Y., Voronin Z. A., Karachentseva Ya. M., Popova O. M. Green building in the northern and Arctic regions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 937, no. 4, p. 042030. doi: 10.1088/1755-1315/937/4/042030.
  13. Kuzmenkov A. A., Buryachenko S. Y., Karachentseva Ya. M., Voronin Z. A., Popova O. M. Factors influencing the rating of low-rise wooden houses as «green» buildings. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 263, p. 05018. doi: 10.1051/e3sconf/202126305018.
  14. Galaktionov O. N., Sukhanov Yu. V., Kuznecov A. V., Vasilev A. S., Lukashevich V. M., Kuzmenkov A. A. Russian economy and industry in decarbonization focus: problems and solutions. *BIO Web of Conferences*, 2024, no. 116, p. 07015. doi: 10.1051/bioconf/202411607015.
  15. Buryachenko S. E., Voronin Z. A., Karachentseva Ya. M., Kuzmenkov A. A. The influence of enclosing structures of walls on the energy efficiency of a wooden building (on the example of the international project KO 1089 «Green Arctic Building»). *IOP conference series: Science of the Earth and the Environment*, 2020, vol. 539, p. 012024. doi: 10.1088/17551315/539/1/012024.
  16. Zaitseva M. I., Koshelev S. N., Kuzmenkov A. A. About an integrated approach in the construction of buildings with reduced energy consumption for heating. *Resources and Technology*, 2016, vol. 13, no. 3, pp. 42—48. doi: 10.15393/j2.art.2016.3461 (In Russ.)

17. Minabutdinova A. R., Agisheva I. N. Principles of forming a transformable living space. *Izvestiya KGASU*, 2019, no. 3 (49), pp. 62—70. (In Russ.)
18. Akimova E. Sh., Akimov S. F. Technological features of low-rise housing construction. *Economics of construction and environmental management*, 2019, no. 2 (71), pp. 149—158. (In Russ.)
19. Mitkina A. S., Pomorov S. B. Methods of transformation of living spaces in individual housing by structural methods. *Polzunovsky almanac*, 2020, vol. 2, no. 2, pp. 53—56. (In Russ.)
20. Yudin V. Panel low-rise building with possibility of changing internal and external space. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 687, no. 5, p. 055024. doi: DOI 10.1088/1757-899X/687/5/055024.
21. Abrahamyan S. G., Aliev A. B. Basic requirements for prefabricated building systems. *Engineering Bulletin of the Don*, 2017, vol. 47, no. 4 (47). Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426). Text. Image: electronic. (In Russ.)
22. Pleshivtsev A. A., Abu Mahadi M. I., Markovich A. C., Chiadighikaobi P. C. Development of methods for buildings calculation from sandwich panels for transformable low-rise buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 675, p. 012015. doi: 10.1088/1757-899X/675/1/012015.
23. Korol E., Pleshivtsev A. Multiple-criteria decision analysis of the transformable low-rise building technological construction process. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 193, p. 03042. doi: 10.1051/mateconf/201819303042.
24. Pleshivtsev A. A. Technological features of the installation of transformed low-rise buildings from sandwich panels. *Construction: science and education*, 2018, vol. 8, no. 1 (27), pp. 15—25. doi: 10.22227/2305-5502.2018.1.2. (In Russ.)
25. Suetina T. A., Nanazashvili I. Kh., Pleshivtsev A. A. Organization of the construction of environmentally friendly prefabricated buildings. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 2013, no. 31 (5), part 2, pp. 535—539. (In Russ.)
26. Abrahamyan S. G., Kotlyarevskaya A. V., Kotlyarevsky A. A., Golda Z. Yu., Dikmedjian A. A. Transformable and collapsible volumetric block modules used in construction. *Engineering Bulletin of the Don*, 2020, no. 12 (72). Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755). Text. Image: electronic. (In Russ.)
27. Nikolsky M. S., Kazakov Yu. N. Rational constructive and technological solutions of prefabricated cottages for suburban housing based on wooden panels. *Bulletin of Civil Engineers*, 2009, no. 4, pp. 61—67. (In Russ.)
28. Kazakov Yu. N. Technologies for the rapid construction of economical low-rise residential buildings based on optimized lightweight sandwich panel systems. *Academia. Architecture and construction*, 2017, no. 4 (21), pp. 95—102. (In Russ.)
29. Sychev S. A. Industrial technology of installation of prefabricated transformable buildings in the conditions of the Far North. *Housing construction*, 2017, no. 3, pp. 71—78. (In Russ.)
30. Badin G. M., Sychev S. A. Scientific and technological foundations of high-speed energy-efficient building systems in the Far North. *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019*, 2020, pp. 22—31. (In Russ.)
31. Sychev S. A., Badin G. M. Technology of installation of prefabricated structures. *Bulletin of Civil Engineers*, 2008, no. 3 (16), pp. 56—61. (In Russ.)



32. Sychev S. A. Technology of high-speed construction of low-rise buildings. *Actual issues of technical sciences: collection of materials of the international scientific conference*. Moscow, 2014, pp. 71—76. (In Russ.)
33. Sychev S. A. System analysis of high-speed construction technologies in Russia and abroad. *Prospects of science*, 2015, no. 9, pp. 126—131. (In Russ.)
34. Dementyev N. M., Volkodav V. A., Volkodav I. A., Titova I. D. Prospects for the development and rationing of modular construction in Russia, taking into account foreign experience. *Engineering Bulletin of the Don*, 2023, no. 4 (100). Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321). Text. Image: electronic. (In Russ.)
35. Zakharova M. V., Ponomarev A. B. Experience in the construction of buildings and structures using modular technology. *Construction and Geotechnics*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 148—155. (In Russ.)
36. Krasilova L. A. Problems of experimental, mass and individual wooden housing in European countries in the first half of the twentieth century. *Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty*, 2016, no. 2 (17), pp. 244—253. doi: 10.21285/2227-2917-2016-2-224-253. (In Russ.)
37. Junjun Z., Haining W., Hong Z. Reflections on the Development of Prefabricated Buildings in China from a Historical and Global Perspective. *Towards Implementation of Sustainability Concepts in Developing Countries*, 2021, pp. 185—192. doi: 10.1007/978-3-030-74349-9\_15.
38. Puzey A., Balding T. Use of load-bearing AAC panels in transportable, prefabricated, pre-finished, modular housing. *Proceeding on Civil Engendering*, 2023, vol. 6, no. 2, pp. 182—190. doi: 10.1002/cepa.1974.
39. Ferdous W., Manalo A., Sharda A., Bai Y., Ngo T. D., Mendis P. Construction Industry Transformation through Modular Methods. *Innovation in Construction: A Practical Guide to Transforming the Construction Industry*, 2022, pp. 259—276. doi: 10.1007/978-3-030-95798-8\_11.
40. Brute has: official site. Available at: <https://brette.haus/es/> (accessed: 05.01.2025). Text. Image: electronic.
41. Home — MADI: official site. Available at: <https://madihome.com/> (accessed: 05.01.2025). Text. Image: electronic.
42. Home — A-FOLD: official site. Available at: <https://www.a-fold.com/> (accessed: 05.01.2025). Text. Image: electronic.
43. Kuzmenkov A., Tikhonov E., Kolesnikov G. Thermal Bridges in Wall Panels of Wooden Frame Houses. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020, vol. 70, pp. 329—336. doi: 10.1007/978-3-030-42351-3\_29.
44. Kuzmenkov A. A., Kuvshinov D. A., Buryachenko S. Yu., Kaichanov A. V., Karachentseva Ya. M., Voronin Z. A. Temperature and relative humidity monitoring system of the experimental building. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 2131, no. 5, p. 052070. doi: 10.1088/1742-6596/2131/5/052070.
45. Kuzmenkov A. A., Karachentseva Ya. M., Voronin Z. A., Kaichenov A. V., Popova O. M. Thermal imaging survey of wooden buildings: Evaluation of two structural and technological solutions. *AIP Conference Proceedings*, 2023, no. 2936, p. 040011. doi: 10.1063/5.0178498.
46. Kaychenov A. V., Lukin S. A., Yarockaya A. A., Selyakov I. Yu., Ereschenko V. V., Kuzmenkov A. A., Karachentseva Ya. M. Automated systems for monitoring microclimate parameters and electricity metering of an experimental building. *E3S Web of Conference*, 2023, vol. 389, p. 02005. doi: 10.1051/e3sconf/202338902005.
47. Buryachenko S. Yu., Voronin Z. A., Karachentseva Ya. M., Kuzmenkov A. A., Popova O. M. Monitoring of thermophysical properties of wooden buildings envelopes in climatic conditions

- of Murmansk and Petrozavodsk. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 244, p. 05025. doi: 10.1051/e3sconf/202124405025.
48. Kuzmenkov A., Karachenceva Ya. Refinement of thermal engineering calculations results taking into account actual materials characteristics. *E3S Web of Conference*, 2023, no. 402, p. 07001. doi: 10.1051/e3sconf/202340207001.
49. Kuzmenkov A., Kaychenov A., Karachenceva Ya., Vasileva V., Buryachenko S., Voronin Z. Information model of green building research in the Arctic: methodological aspects. *E3S Web of Conferences*, 2023, no. 420, p. 03021. doi: 10.1051/e3sconf/202342003021.
50. Kuzmenkov A. A., Kaichenov A. V. Criteria for choosing environmentally sound construction technologies in the Arctic. *Bulletin of MGSU*, 2024, vol. 19, no. 6, pp. 1031—1046. doi: 10.22-227/1997-0935.2024.6.1031-1046. (In Russ.)

© Кузьменков А. А., Пахомов Я. А., Кириллов А. Н., 2025