

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ/CONSTRUCTION STRUCTURES,  
BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.59.1>

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ БЫСТРОВЗВОДИМОГО  
СКЛАДНОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Научная статья

Пахомов Я.А.<sup>1,\*</sup>, Кириллов А.Н.<sup>2</sup>, Кузьменков А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0009-0006-5914-5425;

<sup>1,2,3</sup>Петрозаводский Государственный Университет, Петрозаводск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (jaroslav007772[at]bk.ru)

**Аннотация**

В статье рассмотрены проблемы, возникающие при разработке и адаптации конструктивно-технологических решений быстровозводимых трансформируемых модульных малоэтажных зданий на основе деревянных конструкций для применения в северных и арктических условиях. В статье проанализированы конструктивно-технологические решения быстровозводимых трансформируемых деревянных зданий, представленные на европейском рынке. Произведен анализ европейских решений, с точки зрения возможности их адаптации и применения для условий территорий Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ) и их соответствия российским нормативно-техническим документам. Выполнен анализ теплофизических характеристик ограждающих конструкций европейских быстровозводимых деревянных зданий. Предложен концептуальный вариант ограждающих конструкций быстровозводимого жилого модуля высокой степени заводской готовности на основе деревянных складных конструкций.

**Ключевые слова:** малоэтажные деревянные здания, модульные деревянные здания, быстровозводимые трансформируемые здания, высокая степень заводской готовности, теплопроводность ограждающих конструкций, теплофизические характеристики ограждающих конструкций.

THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE ENCLOSING STRUCTURES OF A QUICK-ERECTED  
FOLDING MODULE BASED ON WOODEN STRUCTURES

Research article

Pakhomov Y.A.<sup>1,\*</sup>, Kirillov A.N.<sup>2</sup>, Kuzmenkov A.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0009-0006-5914-5425;

<sup>1,2,3</sup>Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russian Federation

\* Corresponding author (jaroslav007772[at]bk.ru)

**Abstract**

The article examines the problems emerging in the development and adaptation of structural and technological solutions of quick-erected transformable modular low-rise buildings based on wooden structures for use in northern and arctic conditions. The paper analyses the design and technological solutions of quick-erected transformable wooden buildings presented in the European market. The European solutions are analysed from the point of view of their adaptation and application for the conditions of the territories of the Arctic zone of the Russian Federation (AZ RF) and their compliance with the Russian normative and technical documents. The thermal and physical characteristics of the enclosing structures of European fast wooden buildings have been analysed. The conceptual variant of the enclosing structures of the quick-erected residential module of a high degree of factory readiness on the basis of wooden folding structures is suggested.

**Keywords:** low-rise wooden buildings, modular wooden buildings, quick-erecting transformable buildings, high degree of factory readiness, thermal conductivity of envelope structures, thermophysical characteristics of envelope structures.

**Введение**

Актуальность научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области проектирования и строительства быстровозводимых [1] трансформируемых деревянных малоэтажных зданий [2] на северных и арктических территориях Российской Федерации обуславливается следующими условиями и факторами:

- Необходимостью освоения и комплексного развития территорий Арктической зоны Российской Федерации [3].
- Более 50% вводимой жилой площади в северных регионах обеспечивается за счет объектов индивидуального жилищного строительства (ИЖС) и порядка 30–50% ИЖС реализовано в деревянных конструкциях.
- Экспортные ограничения на вывоз древесины за рубеж обуславливают необходимость переработки леса на российской территории и внедрения технологий глубокой переработки для получения продукции высокой степени заводской готовности.
- Модульное [4], [5], в том числе и деревянное домостроение уже известно потребителю своими преимуществами и недостатками в виде ограниченной площади зданий. Производство деревянных модульных конструкций и их элементов в заводских условиях достаточно молодая технология для российского рынка, но стремительно набирающая популярность за счет высокого качества изделий заводского изготовления.
- Производство и применение складных (трансформируемых) деревянных конструкций позволяет значительно увеличить преимущества высокой степени заводской готовности элементов здания, а также сократить

продолжительность строительно-монтажных работ в построечных условиях, что положительно скажется на качестве коечной строительной продукции.

- 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.

Быстровозводимые здания повышенной заводской готовности с деревянным складным каркасом могут быть применены в туристическом секторе, в индивидуальном жилищном строительстве, в качестве объектов временного размещения, а также в качестве продукции двойного назначения для МЧС и Минобороны РФ. На территориальном рынке Петрозаводской агломерации и Республики Карелия к предлагаемым к разработке решениям проявило заинтересованность ООО «ЛИННА» (ТМ «ЕСО TALO»), входящее в группу компаний «НОВА», и занимающиеся строительством индивидуальных жилых домов из стеновых панелей повышенной заводской готовности на основе деревянного каркаса. Проектная организация ООО «НОВА-ПРО», входящая в группу компаний «НОВА» также проявила интерес к разрабатываемым конструктивно-технологическим решениям с возможностью внедрения инженерных решений в базу типовых решений при проектировании.

В рамках разработки и научно-технического обоснования концептуальной модели (эскизного проекта) многофункционального трансформируемого модуля для типового проекта повторного применения быстро возводимого здания на основе объемно модульного решения высокой степени заводской готовности на основе деревянных каркасных конструкций необходимо реализовать следующие задачи:

- Разработка объемно планировочных решений здания, предусматривающих использование многофункционального модуля высокой степени заводской готовности на основе деревянных складных конструкций с учетом эксплуатации здания в условиях Арктики.

- Конструктивный расчет (в том числе теплотехнический) элементов системы складывания (элементов несущих конструкций и шарнирных элементов) с учетом нагрузок и воздействий, возникающих при заводском производстве, возведении (монтаже) и эксплуатации.

- Анализ и оценка ранее разработанных и применяемых решений и предлагаемого варианта.

Предварительно были выполнены исследования опыта применения модульных трансформируемых зданий и технологий их возведения, а также опыта применения деревянных конструкций в трансформируемых решениях зданий в России и за рубежом. На первом этапе исследований были разработаны объемно планировочные решения здания, предусматривающие использование многофункционального модуля высокой степени заводской готовности на основе деревянных складных конструкций с учетом эксплуатации здания на северных и Арктических территориях. Объемно-планировочные решения предполагают не только габаритные размеры модуля, но и способ крепление модулей между собой. На следующем этапе работ была разработана система складывания складного модуля. Система складывания включает в себя элементы несущих конструкций модуля и шарнирные элементы складывания (трансформации). На основе решений несущих и шарнирных элементов выполнялось конструирование всей системы складывания с подбором используемых материалов и сечений элементов. Сравнительная оценка предлагаемого решения и классических решений по строительству зданий на основе деревянных каркасных конструкций предполагает сравнение по продолжительности строительно-монтажных работ, выполняемых в построечных условиях, общей продолжительности строительства, качеству и стабильности получаемой продукции за счет заводского изготовления модульной конструкции.

Основные технические параметры разрабатываемого складного модуля предполагают следующие характеристики:

- Несущие элементы конструкции должны быть выполнены из древесины.

- Габаритный размер элементов заводского изготовления должен быть не более 13,0 x 2,5 x 2,6 м (Длина x Ширина x Высота) с учетом возможности перевозки автомобильным и железнодорожным транспортом.

- Спротивление теплопередаче элементов ограждающих конструкции должно обеспечивать возможность эксплуатации здания в арктических условиях.

- Время раскладывания (приведение в эксплуатируемое состояние) модуля должно составлять не более 4 часов.

В научной периодике представлено достаточно большое количество статей, описывающих различные системы складывания и модульные конструкции зданий, как в России, так и за рубежом. Однако тематика, связанная со зданиями, состоящими из модулей повышенной заводской готовности на основе деревянный каркас возможность раскладывания в период монтажа, представлена не достаточно широко. Европейские компании, успешно реализующие данную технологию, и имеют ряд международных патентов на собственные системы складывания, которые не достаточно подходят для применения в арктических территориях.

Анализ рынка трансформируемых конструкций показал, что в России отсутствуют производства и компании, реализующих технологию трансформации (складывания) конструкций зданий [6]. За рубежом складные технологии в области жилищного строительства реализуют большое количество китайских производителей, американская компания Voxabl, латвийская Brette House и итальянские M.A.Di и A-FOLD. Из отмеченных компаний деревянные конструкции используют три последние. Для оценки возможности применения трансформируемых деревянных конструкций в условиях Севера был выполнен анализ продукции европейских компаний Brette House, M.A.Di и A-FOLD. Анализ проводился исходя из оценки возможности транспортировки грузовым транспортом по дорогам общего пользования, оценки системы складывания (трансформации) и элементов складываемых несущих конструкций и стыковых соединений, а также показателей экологичности [7], [8] и энергоэффективности [9], [10], [11]. В настоящем исследовании представлены результаты оценки возможности применения трансформируемых деревянных конструкций в северных условиях, исходя из оценки теплофизических характеристик ограждающих конструкций [12], [13].

## Методы и принципы исследования

### 2.1. Определение минимально необходимых требований тепловой защиты

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

- Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 — минус 30 °С.
- Средняя температура периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной плюс 8 °С (средняя температура воздуха отопительного периода) — минус 3,4 °С.
- Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной плюс 8 °С (продолжительность отопительного периода) — 275 суток.
- Температура пребывания — плюс 22 °С.
- Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП) — 6985 °С•сут.

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

- Покрытие (скатная утепленная кровля) — 5,2 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт.
- Перекрытие (нижнее, утепленное) — 4,7 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт.
- Стены — 4,0 (м<sup>2</sup>•°С)/Вт.

### 2.2. Определение сопротивления теплопередаче конструкций рассматриваемых вариантов

Сборно-разборный утепленный дом латвийской компании «Rustic 20 XL Brette Haus» площадью 30 квадратных метров, изготавливается совместно с заводом по производству CLT-панелей «WIGO Group». Дом является изделием высокой степени заводской готовности со складной концепцией (см. рисунок 1) и поставляется в готовом виде по принципу «подключи и эксплуатируй». На первом этаже расположена гостиная с кухней и ванной комнатой, а в мезонине предполагается размещение зоны отдыха со спальней. Дом изготовлен из возобновляемого древесного материала с почти нулевым количеством отходов [14] и выбросов углекислого газа [15], что полностью соответствует концепции экологичности [16], [17].



Рисунок 1 - Схема раскладывания (трансформации) Rustic 20 XL Brette Haus

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.59.1.1>

Дом выполнен из CLT-панелей толщиной 90 мм. В качестве утеплителя применяется материал STEICO Flex толщиной 50 мм на основе древесного волокна. Снаружи применена гидро-ветрозащитная мембрана. В качестве облицовки фасада используется деревянный планкен. В результате выполнения теплотехнического расчета на соответствие требованиям северных территорий Российской Федерации [18], [19], что данная конструкция не эффективна для применения в Арктических условиях. Низкое значение сопротивления теплопередаче не удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям.

Шарнирные механизмы не являются типовыми (стандартизированными) элементами и изготавливаются по специальному заказу. Конструкция шарнира реализована по принципу дверной петли и не имеет сложных элементов крепления и подвижных частей. Шарнир складывания основания находится в теплом контуре и не создает дополнительных мостиков холода. Кровельный шарнир частично располагается за пределами теплого контура здания. При эксплуатации, частичное расположение конструкций шарнира за пределами теплого контура, будет влиять на теплотехнические характеристики дома в местах установки кровельных шарниров и рядом находящихся конструкций, создавая точечное понижение температуры. В данном случае место установки шарнира в структуре деревянной конструкции будет испытывать негативные воздействия влаги. Из-за постоянного выпадения влаги на металлической конструкции шарнира вне теплого контура будет происходить снижения прочности деревянных конструкций в месте установки шарнира.

Решения по изоляции вертикальных стыков образованных в месте сочленения элементов здания применено простое и эффективное. Ранее изготовленные вставки с элементами фасада и внутренней отделки монтируются вместе с теплоизоляционной клейкой лентой встык и враспор, а также фиксируются конструкционными самонарезающими винтами. При необходимости складывания дома, самонарезающие винты выкручиваются и вставка демонтируется.

В заключение анализа продукции компании «Brette House» можно отметить, что конструкция дома «Rustic 20 XL» достаточно простая и надежная. По заявлениям производителя, здание трансформируется из транспортного положения в эксплуатационное положение всего за 4 часа. Для применения в условиях Арктики конструкция здания не может

рассматриваться в качестве здания постоянного проживания из-за низкого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и конструкции шарнирных элементов складывания, частично выходящих за пределы теплого контура.

Итальянские компании M.A.Di и A-FOLD производят систему сборных быстровозводимых модульных зданий. Название компании M.A.Di в переводе с итальянского языка обозначает «разворачиваемый жилой модуль». Продукция компании A-FOLD аналогична продукции компании M.A.Di. Изделия M.A.Di и A-FOLD защищены международными патентами Система предлагает множество типологических решений, которые различаются в зависимости от компоновки нескольких модулей и/или использования различных материалов. Линейка продукции представлена зданиями площадью 27, 46, 56, 70 и 84 квадратных метра.

Модульный дом Model-A собирается на месте установки за несколько часов. Здание основано на оригинальном складном дизайне, базирующемся на оцинкованной стальной раме и шарнирах, которые обеспечивают возможность складывания (трансформации) (рисунок 2). Все дома серии M.A.Di — двухэтажные: на первом этаже расположены кухня, ванная, столовая, на втором — спальни и комнаты. Строительный модуль поставляется в транспортном контейнере высотой 1,5 метра, а на месте установки раскладывается в здание высотой 6,5 метра.



Рисунок 2 - Схема раскладывания (трансформации) здания Model-A  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.59.1.2>

Готовое здание блокируется из нескольких однотипных модулей, что позволяет выбирать более гибкие решения по площади и схеме блокировки. 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 панели из спрессованных досок, перекрестно соединенных друг с другом алюминиевыми крепежными элементами (Massiv-Holz-Mauer, далее — МНМ). Толщина CLT или МНМ панелей варьируется от 60 до 160 мм. Основное утепление реализовано из плит на основе жесткой минеральной ваты или теплоизолирующего материала на основе древесного волокна толщиной от 50 до 250 мм. В результате выполнения теплотехнического расчета (см. рисунок 4) получены приемлемые показатели сопротивления теплопередаче. Санитарно-гигиенические требования удовлетворяются, но поэлементные требования сопротивления теплопередаче для арктических зон недостаточное, что может говорить о недостаточной энергоэффективности ограждающих конструкций.

В основе конструкции пола и нижней неподвижной части стен лежит металлический каркас, который не учитывался при теплотехническом расчете. 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, пронизывают 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.

Стыки между модулями перекрываются сэндвич панелями, поэтому они надежно защищены от атмосферных воздействий и не подвержены продуванию. Крепление модулей между собой происходит с помощью конструкционных самонарезающих винтов. Фронтонная часть дома поставляется как панель высокой степени заводской готовности. Шарнир складывания ската подвергается в процессе эксплуатации значительным нагрузкам и является достаточно сложным в исполнении. Также нагруженным и подвижным является шарнир подъема перекрытия.

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. Идея быстровозводимого здания из нескольких типовых блокируемых модулей является приемлемой для северных регионов с коротким благоприятным периодом для строительства.

### Основные результаты и обсуждения

По результатам выполненного анализа продукции рассмотренных европейских компаний была разработана концепция складного дома пригодного для эксплуатации в северных и арктических условиях. Предлагаемый модуль состоит из двух трансформируемых (складываемых) конструкций (см. рисунок 3): складываемая конструкция первого этажа и складываемая конструкции скатной крыши (мансардного этажа).

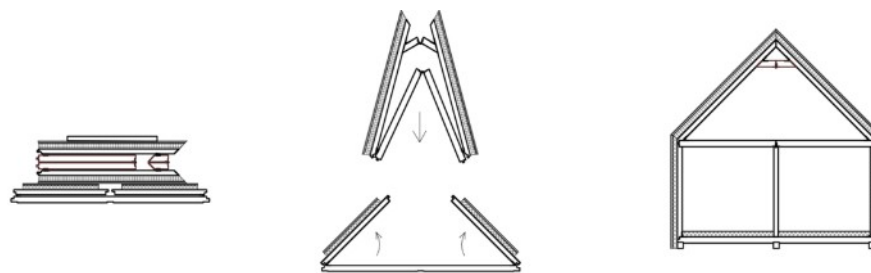


Рисунок 3 - Предлагаемая конструкция модуля и схема складывания элементов  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.59.1.3>

В качестве основы для конструкций модуля приняты МХМ панели. Материал изготавливается из заранее высушенных, спрессованных послойно накрест и дополнительно скрепленных алюминиевыми метизами досок. Готовые стены из МХМ панелей не дают усадку, не гниют, не содержат клея, не полые внутри, более экологичны, по сравнению с CLT [20], и более экономически выгодные. Предлагаемая конструкция представлена на рисунке 4.

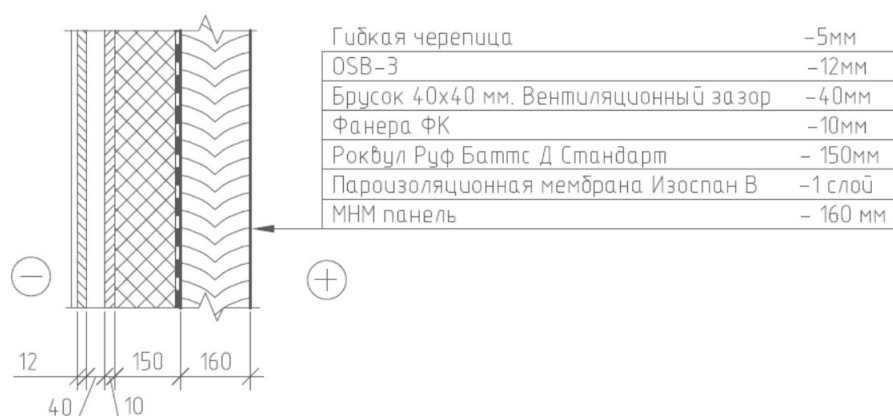


Рисунок 4 - Предлагаемая ограждающая конструкция  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.59.1.4>

В результате анализа изоляционных и отделочных материалов в качестве теплоизоляции принята минеральная вата толщиной 150 мм на стенах и 190 мм на кровле. 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). Поскольку минеральная вата применена повышенной жесткости, используемая для устройства плоских кровель, ее фиксация к МХМ панели происходит при помощи клея с последующим закреплением конструктивными самонарезающими винтами через слой фанеры. Для утепления нижнего перекрытия был выбран экструдированный пенополистирол за счет своей жесткости и возможности быстрого устройства по нему основания для конструкции пола. Недостаточная огнестойкость пенополистирола компенсируется за счет применения в качестве основания для конструкции пола гипсоволокнистых листов.

При выполнении теплотехнического расчета 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.

В системе складывания используются шарнирные элементы складывания. Все шарнирные элементы находятся внутри теплового контура, не создавая дополнительных мостиков холода. В качестве шарнирных элементов применены усиленные петли заводского изготовления, дополненные монтажными пластинами для крепления к панели. Такое решение является достаточно простым и надежным. Сам шарнир испытывает нагрузку только в момент складывания (трансформации) в момент монтаж. При раскрытии и фиксации модуля в эксплуатируемом положении шарнир не задействуется в работе конструкции и не несет на себе нагрузку. Такое решение позволяет упростить шарнирный элемент и использовать классическую схему стыковки МХМ панелей — в половину сечения.

Классическое вертикальное расположения стен первого этажа позволяет рационально использовать площадь помещения и сделать более удобную систему складывания и раскладывания модуля. Также может быть использован дополнительный элемент в виде балки, для обеспечения необходимой жесткости конструкций перекрытия и пола. Нагрузка равномерно распределяется с крыши на перекрытие, далее на стены и далее на фундамент.

Герметизация стыков происходит за счет соединения в половину сечения и укрытия стыка теплоизоляционным материалом (см. рисунок 5). Такое решение не создает мостиков холода и является классическим при постройке домов из CLT и МХМ панелей. Все шарнирные элементы находятся внутри теплового контура, не создавая дополнительных мостиков холода. В качестве шарнирных элементов применены усиленные петли заводского изготовления, дополненные монтажными пластинами для крепления к панели. Такое решение является достаточно простым и

надежным. Фронтонные элементы поставляются в виде панельных конструкций высокой степени заводской готовности.

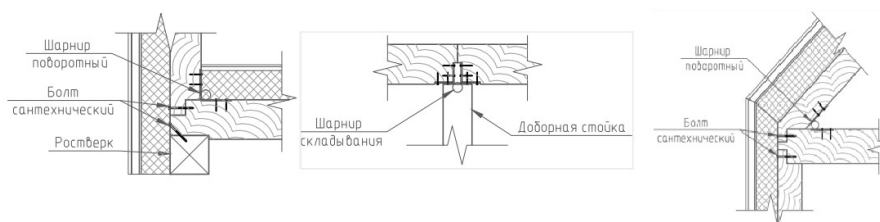


Рисунок 5 - Предлагаемое устройство стыков элементов конструкции  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.59.1.5>

В основе предлагаемой концепции представлена идея об использовании преимуществ решений зарубежных компаний и о компенсации их недостатков для использования в условиях Севера. В предлагаемом решении применена модульная конструкция со стыковкой однотипных модулей для формирования различных по площади зданий, а также использованы простые и надежные решения шарниров складывания, конструкции которых размещены в теплом контуре здания.

### Заключение

Новизна разработок заключается в применении трансформации (складывания) конструкции деревянного модульного здания на основе продукции высокой степени заводской готовности изготовленных в производственных условиях и с возможностью раскладывания при монтаже в условиях строительной площадки с учетом их применения в условиях Арктики. Возможность применения системы складывания в северных условиях обеспечивается за счет нахождения шарнирных элементов в теплом контуре модуля, что выгодно отличает данный проект от европейских аналогов. Возможность раскладывания несущих конструкций быстровозводимого модуля высокой степени заводского готовности позволит значительно сократить время монтажа в условиях строительной площадки. В сложном состоянии модуль имеет компактные размеры, что дает возможность его транспортировки по дорогам общего пользования и железнодорожным транспортом.

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

- Несущий каркас складного модуля выполнен из МНМ древесины.
- Габаритные размеры складного модуля в транспортном состоянии (длина x ширина x высота) — 6,0 x 2,4 x 1,6м. Количество транспортируемых модулей с помощью грузового автомобиля (евро фуры) составляет 2шт.
- Общая площадь складного модуля в эксплуатируемом состоянии составляет 21,6 квадратных метра, в том числе первого этажа — 14,6 квадратных метра и мансардного этажа — 7 квадратных метров.
- Чистовая отделка стен не требуется за счет применения МНМ панелей. Ограждающие конструкции фасада и утеплитель смонтированы в заводских условиях. Отделка пола и его утепление монтируется в построечных условиях, после установки модуля.
- Мопротивление теплопередаче конструкций нижнего перекрытия составляет 4,95 (м<sup>2</sup>•°C)/Вт, конструкций стен — 4,64 (м<sup>2</sup>•°C)/Вт, конструкций кровли — 5,57 (м<sup>2</sup>•°C)/Вт т. В качестве утеплителя для конструкций нижнего перекрытия использован экструзивный пенополистирол. Утепление стен и кровли реализовано за счет применения минеральной ваты повышенной жесткости.
- Время раскладывания (приведение в эксплуатируемое положение) модуля составляет 3 часа.
- В основе конструкции элементов системы складывания применен листовой металл соединенный при помощи сварных соединений. Подвижность конструкций обеспечивается за счет поворотных шарниров реализованных на основе усиленных петель заводского изготовления.

**Финансирование**

Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках 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 ученую степень, обеспечивающих значительный вклад в инновационное развитие отраслей экономики и социальной сферы Республики Карелия, в 2024 году, финансируемой Правительством Республики Карелия (Договор №3-Г24 от 20.03.2024 между ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» и Фондом венчурных инвестиций Республики Карелия).

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Funding**

The studies described in this paper were conducted within the framework of the project "Development of a folding system for a multifunctional prefabricated residential module of high factory readiness based on wooden folding structures", supported within the framework of the R&D Support Program for students, postgraduates and persons with an academic degree, providing a significant contribution to the innovative development of the economic and social sectors of the Republic of Karelia, in 2024, financed by the Government of the Republic of Karelia (Agreement No. 3-G24 dated 20.03.2024 between the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Petrozavodsk State University" and the Venture Investment Fund of the Republic of Karelia).

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Кизилова С.А. Эволюция подходов к организации капсульного быстровозводимого жилища Арктики / С.А. Кизилова // Современное строительство и архитектура. — 2024. — № 11 (54). — DOI: 10.60797/mca.2024.54.6.
2. Пахомов Я.А. Возможности применения трансформируемых конструкций при возведении деревянных зданий в Арктических условиях / Я.А. Пахомов, А.А. Кузьменков // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции, Петрозаводск, 24 октября 2024 г. — 2024. — С. 127–135.
3. Зеленин Н.А. Проблемы разработки комплексных проектов индивидуального жилищного строительства на неосвоенных территориях и пути их решений / Н.А. Зеленин, М.В. Пучков // Современное строительство и архитектура. — 2024. — № 12 (55). — DOI: 10.60797/mca.2024.55.2.
4. Ширкунова Е.А. Здания из объемных модулей для регионов, пострадавших вследствие стихийных бедствий / Е.А. Ширкунова, Р.В. Лопаткин, Т.А. Аббасов [и др.] // Современное строительство и архитектура. — 2023. — № 11 (42). — DOI: 10.18454/mca.2023.42.2.
5. Толкачев Ю.А. Особенности этапов предпроектной и проектной подготовки при реализации модульных объектов / Ю.А. Толкачев // Современное строительство и архитектура. — 2023. — № 6 (37). — DOI: 10.18454/mca.2023.37.1.
6. Пахомов Я.А. Трансформируемые (складные) дома: обзор и сравнение вариантов / Я.А. Пахомов, А.А. Кузьменков // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции, Петрозаводск, 13 ноября 2023 г. — 2023. — С. 39–49.
7. Кузьменков А.А. Критерии выбора технологий экологически безопасного строительства в Арктике / А.А. Кузьменков, А.В. Кайчёнов // Вестник МГСУ. — 2024. — № 19 (6). — С. 1031–1046. — DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.1031-1046.
8. Буряченко С.Ю. Оценка энергоэффективности и потенциала ресурсосбережения «зеленых» технологий в деревянном домостроении / С.Ю. Буряченко, Я.М. Караченцева, А.А. Кузьменков // Наука и образование-2020: материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 01 декабря 2020 г. — 2021. — С. 440–446.
9. Буряченко С.Ю. Комплексный подход к исследованию энергоэффективности ограждающих конструкций деревянного здания / С.Ю. Буряченко, Я.М. Караченцева, О.М. Попова [и др.] // Возможности и перспективы проектов энергосбережения. Опыт Норвегии, Финляндии и Мурманской области: материалы Русско-Норвежской конференции, Мурманск, 17 декабря 2020 г. — 2021. — С. 22–29.
10. Buryachenko S.Y. The influence of enclosing structures of walls on the energy efficiency of a wooden building (on the example of the international project КО 1089 “Green Arctic Building”) / S.Y. Buryachenko, I.M. Karachentseva, Z.A. Voronin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — № 539 (1). — P. 012024. — DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012024.
11. Караченцева Я.М. Энергоэффективность, как группа критериев оценки зеленых зданий в Арктической зоне / Я.М. Караченцева, А.В. Кайченев, А.А. Кузьменков // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции, Петрозаводск, 02–08 декабря 2022 г. — 2022. — С. 23–27.
12. Караченцева Я.М. Обоснование методики определения фактических теплофизических свойств строительных материалов ограждающих конструкций деревянного здания / Я.М. Караченцева, А.А. Кузьменков // Возможности и перспективы проектов энергосбережения. Опыт Норвегии, Финляндии и Мурманской области: материалы Русско-Норвежской конференции, Мурманск, 17 декабря 2020 г. — 2021. — С. 42–49.



13. Кузьменков А.А. Комплексная оценка теплотехнических характеристик ограждающих конструкций деревянного здания на базе информационной модели исследования (на примере экспериментальных зданий) / А.А. Кузьменков, Я.М. Караченцева, А.В. Кайченков // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции, Петрозаводск, 13 ноября 2023 г. — 2023. — С. 63–74.
14. Кузьменков А.А. Глубокая переработка древесины в деревянном малоэтажном домостроении / А.А. Кузьменков // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 г. — 2021. — С. 96–99.
15. Galaktionov O.N. Russian economy and industry in decarbonization focus: problems and solutions / O.N. Galaktionov, Yu.V. Sukhanov, A.V. Kuznecov [et al.] // BIO Web of Conf. — 2024. — № 116. — P. 07015. — DOI: 10.1051/bioconf/202411607015.
16. Kuzmenkov A.A. Green Technologies of Wooden Building for Arctic / A.A. Kuzmenkov, G.N. Kolesnikov, Z.A. Voronin // Lecture Notes in Civil Engineering. — 2022. — № 227. — P. 385–398. — DOI: 10.1007/978-3-030-94770-5\_30.
17. Kuzmenkov A.A. Green building in the northern and Arctic regions / A.A. Kuzmenkov, S.Y. Buryachenko, I.M. Karachentseva [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — № 937 (4). — P. 042030. — DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042030.
18. Кузьменков А.А. Оценка фактических теплофизических характеристик строительных материалов деревянного малоэтажного здания (на примере экспериментальных зданий) / А.А. Кузьменков, Я.М. Караченцева // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции, 04–08 октября 2021 г. — 2021. — С. 20–25.
19. Kuzmenkov A. Refinement of thermal engineering calculations results taking into account actual materials characteristics / A. Kuzmenkov, I. Karachentseva // E3S Web of Conf. — 2023. — № 402. — P. 07001. — DOI: 10.1051/e3sconf/202340207001.
20. Осетрина Д.А. Возможности использования CLT-панелей в жилом строительстве для условий Салехарда / Д.А. Осетрина, М.С. Якуненкова // Современное строительство и архитектура. — 2022. — № 6 (30). — DOI: 10.18454/mca.2022.30.6.001.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Kizilova S.A. E`volyuciya podxodov k organizacii kapsul`nogo by`strovovodimogo zhilishha Arktiki [Evolution of approaches to the organization of capsule prefabricated housing in the Arctic] / S.A. Kizilova // Sovremennoe stroitel`stvo i arxitektura [Modern construction and architecture]. — 2024. — № 11 (54). — DOI: 10.60797/mca.2024.54.6. [in Russian]
2. Paxomov Ya.A. Vozmozhnosti primeneniya transformiruemy`x konstrukcij pri vozvedenii derevyanny`x zdaniy v Arkticheskix usloviyax [Possibilities of using transformable structures in the construction of wooden buildings in Arctic condition] / Ya.A. Paxomov, A.A. Kuz`menkov // Derevyannoe maloe`tazhnoe domostroenie: e`konomika, arxitektura i resursosberegayushhie texnologii: sbornik statej nauchno-prakticheskoy konferencii, Petrozavodsk, 24 oktyabrya 2024 g. [Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, October 24, 2024]. — 2024. — P. 127–135. [in Russian]
3. Zelenin N.A. Problemy` razrabotki kompleksny`x proektov individual`nogo zhilishhnogo stroitel`stva na neosvoenny`x territoriyax i puti ix reshenij [Problems of developing complex projects of individual housing construction in undeveloped territories and ways to solve them] / N.A. Zelenin, M.V. Puchkov // Sovremennoe stroitel`stvo i arxitektura [Modern construction and architecture]. — 2024. — № 12 (55). — DOI: 10.60797/mca.2024.55.2. [in Russian]
4. Shirkunova E.A. Zdaniya iz ob`emny`x modulej dlya regionov, postradavshix vsledstvie stixijny`x bedstvij [Buildings from volumetric modules for regions affected by natural disasters] / E.A. Shirkunova, R.V. Lopatkin, T.A. Abbasov [et al.] // Sovremennoe stroitel`stvo i arxitektura [Modern construction and architecture]. — 2023. — № 11 (42). — DOI: 10.18454/mca.2023.42.2. [in Russian]
5. Tolkachev Yu.A. Osobennosti e`tapov predproektnoj i proektnoj podgotovki pri realizacii modul`ny`x ob`ektov [Features of the stages of pre-design and project preparation in the implementation of modular facilities] / Yu.A. Tolkachev // Sovremennoe stroitel`stvo i arxitektura [Modern construction and architecture]. — 2023. — № 6 (37). — DOI: 10.18454/mca.2023.37.1 [in Russian]
6. Paxomov Ya.A. Transformiruemy`e (skladny`e) doma: obzor i sravnenie variantov [Transformable (folding) houses: a review and comparison of options] / Ya.A. Paxomov, A.A. Kuz`menkov // Derevyannoe maloe`tazhnoe domostroenie: e`konomika, arxitektura i resursosberegayushhie texnologii: sbornik statej nauchno-prakticheskoy konferencii, Petrozavodsk, 13 noyabrya 2023 g. [Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, November 13, 2023]. — 2023. — P. 39–49. [in Russian]
7. Kuz`menkov A.A. Kriterii vy`bora texnologij e`kologicheskii bezopasnogo stroitel`stva v Arktike [Environmentally friendly construction technologies selection criteria in the Arctic] / A.A. Kuz`menkov, A.V. Kajchyonov // Vestnik MGSU [Bulletin of MSSU]. — 2024. — № 19 (6). — P.1031–1046. — DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.1031-1046. [in Russian]
8. Buryachenko S.Yu. Ocenka e`nergoe`ffektivnosti i potentsiala resursosberezheniya "zeleny`x" texnologij v derevyannom domostroenii [Assessment of energy efficiency and resource-saving potential of "green" technologies in wooden housing construction] / S.Yu. Buryachenko, Ya.M. Karachenceva, A.A. Kuz`menkov // Nauka i obrazovanie-2020: materialy` vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Murmansk, 01 dekabrya 2020 g. [Science and Education 2020: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Murmansk, December 01, 2020]. — 2021. — P. 440–446. [in Russian]
9. Buryachenko S.Yu. Kompleksny`j podxod k issledovaniyu e`nergoe`ffektivnosti ograzhdayushhix konstrukcij derevyannogo zdaniya [An integrated approach to the study of the environmental efficiency of enclosing structures of a wooden building] / S.Yu. Buryachenko, Ya.M. Karachenceva, O.M. Popova [et al.] // Vozmozhnosti i perspektivy` proektov



e`nergoberezheniya. Opy`t Norvegii, Finlyandii i Murmanskoy oblasti: materialy` Russkonorvezhskoj konferencii, Murmansk, 17 dekabrya 2020 g. [Opportunities and prospects of energy saving projects. The experience of Norway, Finland and the Murmansk region: proceedings of the Russian-Norwegian Conference, Murmansk, December 17, 2020]. — 2021. — P. 22–29. [in Russian]

10. Buryachenko S.Y. 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, I.M. Karachentseva, Z.A. Voronin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — № 539 (1). — P. 012024. — DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012024.

11. Karachenceva Ya.M. E`nergoe`ffektivnost`, kak gruppya kriteriev ocenki zeleny`x zdaniy v Arkticheskoy zone [Energy efficiency as a group of criteria for evaluating green buildings in the Arctic zone] / Ya.M. Karachenceva, A.V. Kajchenov, A.A. Kuz`menkov // Derevyannoe maloe`tazhnoe domostroenie: e`konomika, arxitektura i resursosbergayushhie texnologii: sbornik statej nauchno-prakticheskoy konferencii, Petrozavodsk, 02-08 dekabrya 2022 g. [Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, December 02–08, 2022]. — 2022. — P. 23–27. [in Russian]

12. Karachenceva Ya.M. Obosnovanie metodiki opredeleniya fakticheskix teplofizicheskix svoystv stroitel`ny`x materialov ograzhdayushhix konstrukcij derevyannogo zdaniya [Substantiation of the methodology for determining the actual thermophysical properties of building materials enclosing structures of a wooden building] / Ya.M. Karachenceva, A.A. Kuz`menkov // Vozmozhnosti i perspektivy` proektov e`nergoberezheniya. Opy`t Norvegii, Finlyandii i Murmanskoy oblasti: materialy` Russkonorvezhskoj konferencii, Murmansk, 17 dekabrya 2020 g. [Opportunities and prospects of energy saving projects. The experience of Norway, Finland and the Murmansk region: proceedings of the Russian-Norwegian Conference, Murmansk, December 17, 2020]. — 2021. — P. 42–49. [in Russian]

13. Kuz`menkov A.A. Kompleksnaya ocenka teplotexnicheskix xarakteristik ograzhdayushhix konstrukcij derevyannogo zdaniya na baze informacionnoj modeli issledovaniya (na primere e`ksperimental`ny`x zdaniy) [Comprehensive assessment of the thermal engineering characteristics of enclosing structures of a wooden building based on an information research model (using experimental buildings as an example)] / A.A. Kuz`menkov, Ya.M. Karachenceva, A.V. Kajchenov // Derevyannoe maloe`tazhnoe domostroenie: e`konomika, arxitektura i resursosbergayushhie texnologii: sbornik statej nauchno-prakticheskoy konferencii, Petrozavodsk, 13 noyabrya 2023 g. [Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, November 13, 2023]. — 2023. — P. 63–74. [in Russian]

14. Kuz`menkov A. A. Glubokaya pererabotka drevesiny` v derevyannom maloe`tazhnom domostroenii [[Deep processing of wood in wooden low-rise housing construction]] / A.A. Kuz`menkov // Povy`shenie e`ffektivnosti lesnogo kompleksa: materialy` Sed`moj Vserossiyskoj nacional`noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem, Petrozavodsk, 25 maya 2021 g. [Improving the efficiency of the forest complex: Proceedings of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation, Petrozavodsk, May 25, 2021]. — 2021. — P. 96–99. [in Russian]

15. Galaktionov O.N. Russian economy and industry in decarbonization focus: problems and solutions / O.N. Galaktionov, Yu.V. Sukhanov, A.V. Kuznecov [et al.] // BIO Web of Conf. — 2024. — № 116. — P. 07015. — DOI: 10.1051/bioconf/202411607015.

16. Kuzmenkov A.A. Green Technologies of Wooden Building for Arctic / A.A. Kuzmenkov, G.N. Kolesnikov, Z.A. Voronin // Lecture Notes in Civil Engineering. — 2022. — № 227. — P. 385–398. — DOI: 10.1007/978-3-030-94770-5\_30.

17. Kuzmenkov A.A. Green building in the northern and Arctic regions / A.A. Kuzmenkov, S.Y. Buryachenko, I.M. Karachentseva [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — № 937 (4). — P. 042030. — DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042030.

18. Kuz`menkov A.A. Ocenka fakticheskix teplofizicheskix xarakteristik stroitel`ny`x materialov derevyannogo maloe`tazhnogo zdaniya (na primere e`ksperimental`ny`x zdaniy) [Assessment of the actual thermophysical characteristics of building materials of a wooden low-rise building (using the example of experimental buildings)] / A.A. Kuz`menkov, Ya.M. Karachenceva // Derevyannoe maloe`tazhnoe domostroenie: e`konomika, arxitektura i resursosbergayushhie texnologii: sbornik statej nauchno-prakticheskoy konferencii, 04–08 oktyabrya 2021 g. [Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, October 04–08, 2021]. — 2021. — P. 20–25. [in Russian]

19. Kuzmenkov A. Refinement of thermal engineering calculations results taking into account actual materials characteristics / A. Kuzmenkov, I. Karachentseva // E3S Web of Conf. — 2023. — № 402. — P. 07001. — DOI: 10.1051/e3sconf/202340207001.

20. Osetrina D.A. Vozmozhnosti ispol`zovaniya CLT-panelej v zhilom stroitel`stve dlya uslovij Salekharda [Possibilities of using CLT panels in residential construction for Salekhard conditions] / D.A. Osetrina, M.S. Yakunenkov // Sovremennoe stroitel`stvo i arxitektura [Modern construction and architecture]. — 2022. — № 6 (30). — DOI: 10.18454/mca.2022.30.6.001. [in Russian]