

Обоснование концепции системы складывания быстровозводимого жилого модуля на основе деревянных конструкций

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

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

Аннотация: В статье представлено обоснование концепции системы складывания быстровозводимого жилого модуля на основе деревянных конструкций. Выполнен анализ зарубежных аналогов быстровозводимых трансформируемых деревянных зданий и оценка возможности их применения в северных климатических условиях. Предложена и обоснована система трансформации быстровозводимого деревянного модуля для применения в северных и арктических условиях.

Ключевые слова: малоэтажное жилищное строительство, трансформация, трансформация малоэтажных жилых зданий, быстровозводимые трансформируемые здания, предварительно изготовленные на заводе, высокая степень заводской готовности.

Введение

Необходимость разработки быстровозводимого трансформируемого модульного решения на основе деревянных конструкций обуславливается следующими факторами:

- в связи экспортными ограничениями на вывоз леса возникла необходимость глубокой переработки древесины на территории её заготовки;
- глубокая переработка древесины подразумевает производство деревянных строительных конструкций, изделий, а также домокомплектов и модульных быстровозводимых зданий;
- благоприятный период для производства строительно-монтажных работ в построечных условиях сильно ограничен в северных и арктических условиях;
- перечень поручений по итогам совещания по вопросам развития лесопромышленного комплекса" (утв. Президентом РФ 22.03.2023 N Пр-562) предусматривает развитие производства деревянных домокомплектов заводского изготовления, дополнительную поддержку индивидуального жилищного строительства с использованием отечественной продукции

лесной промышленности, расширение применения отечественных деревянных домокомплектов в целях модернизации отделений почтовой связи, обеспечение граждан древесиной для строительства индивидуальных жилых домов посредством применения сертификатов на получение отечественных деревянных домокомплектов заводского изготовления, расширение деревянного домостроения при строительстве объектов социальной инфраструктуры, а также 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.

Выше перечисленные факторы определяют актуальность исследований и разработок в сфере применения быстровозводимых модульных зданий на основе трансформируемых (складных) деревянных конструкций для условий северных территорий и районов Арктической зоны Российской Федерации.

Научное и инженерное сообщества постоянно уделяют внимание возможностям трансформации в сфере архитектуры и конструкций зданий в исследованиях и разработках. В работах Акимовой Э. Ш. и Акимова С. Ф. [1] и Литвиновой Ю. М. и Кулешовой А. М. [2] сформулированы принципы трансформации малоэтажных жилых зданий в зависимости от временных циклов эксплуатации. В исследовании Минабутдиновой А. Р. и Агишевой А. Н. [3] рассматриваются возможности трансформации объемно-планировочных решений в зависимости от требований к зданиям, функциональных процессов и условий. В статье Митькиной А. С. и Поморова [4] С. Б. представлена классификация существующих видов трансформируемых систем. В работе Рябовой С. С. [5] рассмотрен современный подход к проектированию жилых зданий – кинетическая

архитектура. Исследования Мироненко В. П. и Цымбалова Т. А. [6] и Астаховой Е. С. [7] посвящены сравнительному анализу традиционного и мобильного (передвижного) домостроения. Работы Плешивцева А. А., Король Е. Н. [8-10] посвящены технологическим особенностям возведения трансформируемых зданий. В исследованиях Плешивцева А. А. [11, 12] также представлен анализ альтернативных вариантов монтажа быстровозводимого трансформируемого малоэтажного здания из сэндвичпанелей. В статье Суэтиной Т.А., Наназашвили И.Х., Плешивцева А.А. [13] рассмотрены вопросы организации строительства экологичных быстровозводимых зданий. Работа Левинского Ю. Б. и Омигова С. А. [14] посвящена повышению уровня монтажной готовности модульных жилых строений быстрого развертывания. В работах Абрамяна С. Г., Котляревской А. В., Котляревского А.А., Галда З.Ю., Дикмеджян А.А. и Илиева А. Б. [15, 16] сформулированы основные требования к быстровозводимым строительным системам и рассмотрены трансформирующиеся и сборно-разборные объемные блок-модули. Технологические аспекты возведения быстровозводимых трансформируемых зданий исследованы в работах Казакова Ю. Н. [17, 18], Бадьина Г. М. и Сычёва С. А. [19-21], в том числе в условиях Крайнего Севера. Исследования зарубежного опыта отражены в работах Сычёва С. А. [22], Дементьева Н. М., Волкодава В. А., Волкодава И. А., Титовой И. Д. [23], Захаровой М. В. и Пономарева А. Б. [24] и Красиловой Л. А. [25]. В работе [26] рассмотрен вопрос о развитии быстровозводимого строительства в Китае с исторической и глобальной точки зрения. В работах [27-29] рассмотрен опыт проектирования и строительства модульных зданий в зарубежной практике, что свидетельствует об эффективности и положительных тенденциях развития строительства данного вида объектов.

Анализ рынка трансформируемых конструкций показал, что в России отсутствуют производства и компании, реализующих технологию трансформации (складывания) конструкций для малоэтажных деревянных зданий для постоянного проживания [30]. 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.

Основная часть

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 [31, 32] и энергоэффективности [33-35]. В настоящем исследовании представлены результаты анализа и оценки объемно-планировочных решений, представленных европейскими производителями. Для оценки соответствия нормативно-техническим документам Российской Федерации использовались требования СП 55.13330.2016 «СНиП 31-02-2001 Дома жилые одноквартирные», СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные», приказа Минстроя РФ от 02.09.2022 г. № 633/пр «Об утверждении методики отбора проектов индивидуальных жилых домов для переселения граждан из аварийного жилого фонда» и постановления Правительства РФ от 28.01.2006 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 объемно-планировочные решения индивидуального жилого дома должны удовлетворять следующим критериям:

- 1) Индивидуальный жилой дом должен состоять из одной или нескольких жилых комнат (общей комнаты или гостиной и спальни) и вспомогательных помещений (передней, холла, кухни (в том числе кухни-столовой или кухни-ниши), ванной (душевой) комнаты и туалета или совмещенного санитарного узла);
- 2) Площадь общей комнаты составляет не менее 14 квадратных метров, гостиной - не менее 16 квадратных метров, спальни - не менее 8 квадратных метров (спальни для двух человек - не менее 10 квадратных метров, а при размещении спальни в мансарде - не менее 7 квадратных метров), спальни для инвалида-колясочника - не менее 9 квадратных метров, кухни - не менее 9 квадратных метров (кухни-ниши или кухонной зоны в кухне-столовой - не менее 6 квадратных метров);
- 3) 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 квадратных метров, спальни - 8 квадратных метров (при размещении ее в мансарде - 7

квадратных метров, кухни - 6 квадратных метров. 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.

Продукция латвийской компании Brette House представлена двумя типами складных (трансформируемых) и сборных зданий - TINY D, СОМРАСТ, Rustic 20 XL и A-Frame. В настоящей работе рассмотрено трансформируемое здание типа СОМРАСТ (рисунок 1). Основным материалом несущих конструктивных элементов являются панели из поперечно-клееной древесины (Cross Laminated Timber, далее – CLT). Трансформирование (складывание) модуля обеспечивается за счет выдвигания одного объема (помещений кухни и санузла) из другого (помещений общей комнаты и спальни).

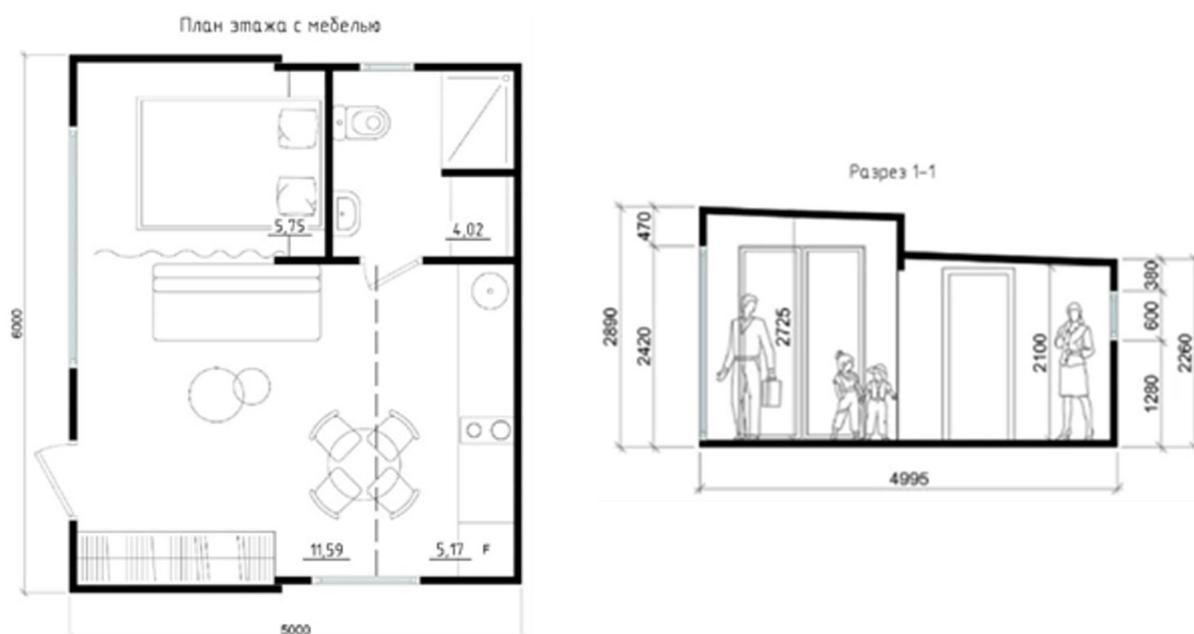


Рис. 1. – План этажа с мебелью и поперечный разрез здания
типа СОМРАСТ компании Brette House

Объемно-планировочные решения дома типа СОМРАСТ имеет следующие характеристики: площадь общей комнаты - 11,59 квадратных метров, спальни - 5,75 квадратных метров, кухни - 5,17 квадратных метров, санузла - 4,02 квадратных метров; минимальная высота этажа от пола до потолка составляет 2,1 м.

При попытке адаптировать объемно-планировочные решения под нормативные требования РФ была увеличена длина модуля с 6 до 7 м (рисунок 2). Таким образом, была увеличена площадь спальни и кухни до 8,45 и 6,04 квадратных метров соответственно (рисунок 2). При этом площадь общей комнаты по-прежнему не удовлетворяла нормативным требованиям и составляла 10,73 квадратных метра. При попытке увеличить высоту помещений в здании до 2,7 м, габаритные размеры перевозимого модуля превысила транспортный габарит по высоте. В силу Правил дорожного движения РФ, максимальные допустимые габариты транспортируемого груза должны составлять 2,5 x 2,4 x 13,6 м. (ширина x высота x длина).

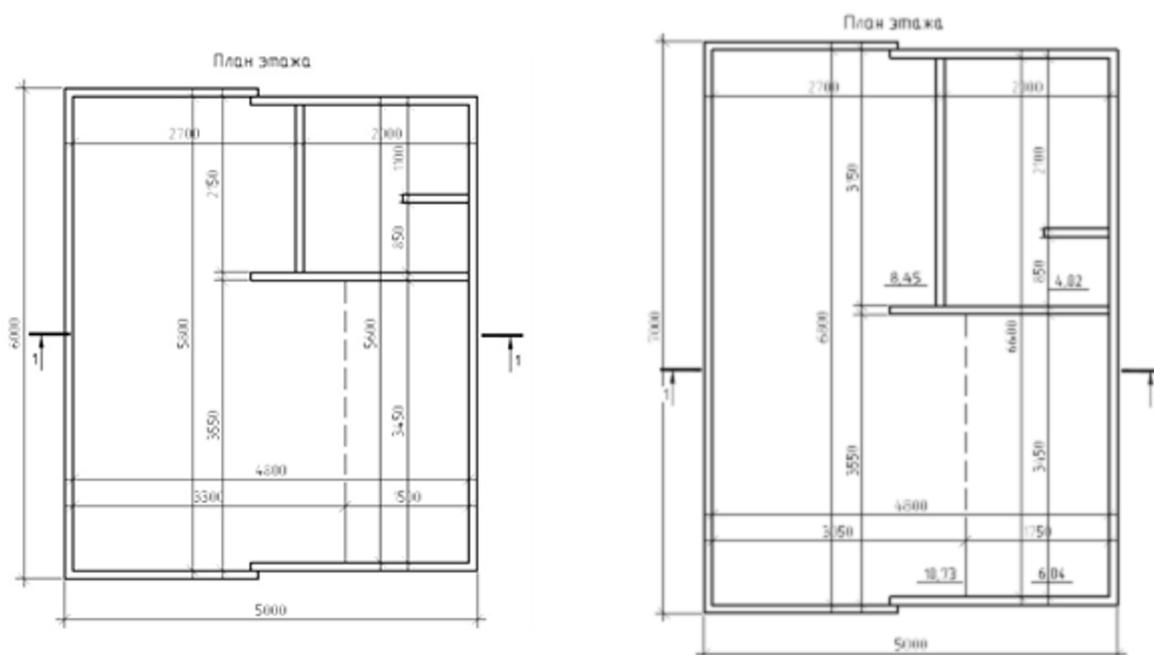


Рис. 2. – Планы здания типа COMPACT компании Brette House:
до адаптации – слева, после адаптации - справа

Таким образом, мы были вынуждены отказаться от данного варианта. Однако, неоспоримым преимуществом здание типа COMPACT компании Brette House является очень высокая степень заводской готовности здания и его быстровозводимость (скорость установки модуля в условиях строительной площадки).

Итальянские компании M.A.Di и A-FOLD производят систему сборных быстровозводимых модульных зданий. M.A.Di (аббревиатура от «*modulo abitativo dispiegabile*»), что в переводе с итальянского означает «разворачиваемый жилой модуль») — это модульное трансформируемое здание. Компания A-FOLD зарекомендовала себя как фирма производящая модульные дома. Ее продукция аналогична продукции компании M.A.Di. Система предлагает 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, позволяет вести массовую

разнообразную застройку. Линейка продукции представлена зданиями площадью 27, 46, 56, 70 и 84 квадратных метра.

Модульный дом Model-A компании «M.A.Di», автор которого итальянский архитектор Ренато Видал (Renato Vidal), собирается на месте установки за несколько часов. Здание основано на оригинальном складном дизайне, базирующемся на применении шарнирных элементов, один из которых расположен в одном из скатов. Все дома серии M.A.Di - двухэтажные: на первом этаже расположены кухня, ванная, столовая, на втором – спальни и комнаты. Здание M.A.Di – это изделие, защищенное международными патентами.

Каркас здания, спроектированный в виде буквы А (A-Frame), оборудован особым складывающимся механизмом. Строительный модуль поставляется в транспортном контейнере высотой 1,5 метра, а на месте установки раскладывается в здание высотой 6,5 метра. Конструкция модульного строения основана на оцинкованной стальной раме и шарнирах, которые обеспечивают легкость сборки и разборки.

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 панели из спрессованных досок, перекрестно соединенных друг с другом алюминиевыми крепежными элементами (Massiv-Holz-Mauer, далее – МНМ).

Вторым рассматриваемым вариантом объемно-планировочных решений был принят вариант, основанный на идее итальянских компаний. В основе второго варианта принят модуль жилого здания в стиле A-Frame. В качестве несущих конструктивных элементов приняты панельные конструкции, выполненные по технологии МНМ (рисунок 3). За подвижную часть конструкции отвечают шарниры складывания.

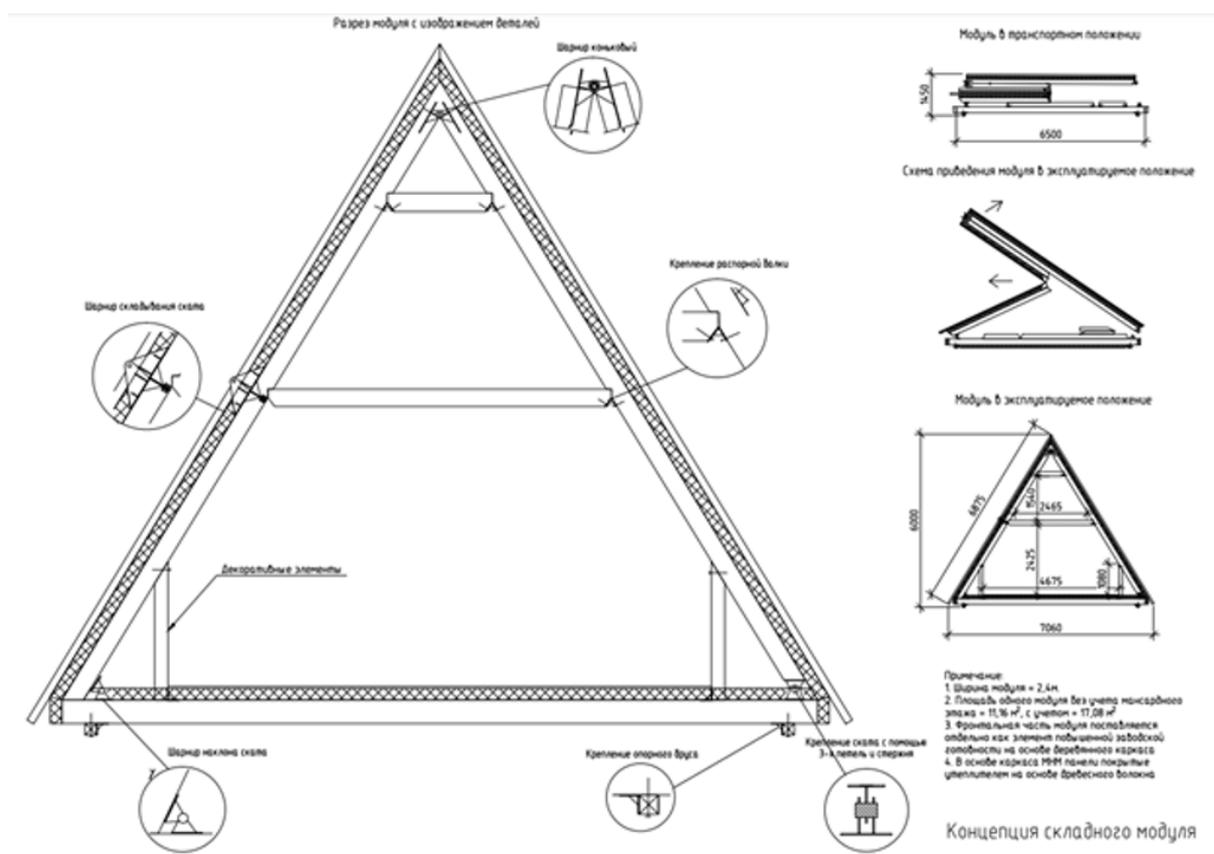


Рис. 3. – Концепция складного модуля в стиле A-Frame

Данное решение модуля также не соответствует требуемым параметрам площади помещений, но при использовании нескольких модулей требования соблюдаются. Площадь одного модуля без учета мансардного этажа составляла 11,16 квадратных метра, а с учетом площади мансарды - 17,08 квадратных метра. В транспортном положении размеры конструкции соответствуют требованиям Правил дорожного движения и составили 2,4 x 1,45 x 6,5 м (Ширина x Высота x Длина).

Преимуществами данного решения является возможность получения зданий различной площади за счет блокировки нескольких модулей в одном здании, что позволяет удовлетворить нормативные требования по составу помещений и их площади. Также положительной стороной является достаточно высокая степень заводской готовности модуля и быстрота возведения здания «под крышу» в построечных условиях.

Говоря о недостатках рассматриваемого решения, необходимо отметить достаточно сложное решение складывания (трансформации) модуля из-за стыкового соединения в скате конструкции. Стык в конструкции покрытия ската, ослабленный наличием шарнирных элементов складывания, должен иметь достаточную гидро- и теплоизоляцию, а также воспринимать внешние нагрузки и воздействия. К минусам так же можно отнести нестандартную форму внутренних помещений в связи с применением стиля типа A-Frame. Наличие наклонных скатов, выполняющих одновременно функцию и стены и скатной кровли, требуют более детальной проработки решений внутреннего пространства здания и рационального использования объема и площади.

Второй вариант решений позволяет гибко планировать состав и площадь помещений дома за счет использования нескольких модулей, а также применение МНМ-панелей. МХМ-технология изготовления панельных элементов более экономична и экологична в сравнении с CLT-древесиной, так как в последней применяются вяжущие на основе меланиновых и полиуретановых компонентов.

В результате выполненного анализа и оценки решений применяемых на европейском рынке была предложена концепция складываемого (трансформируемого) модуля представленная на рисунке 4.

В данном варианте конструкции использованы преимущества предыдущих вариантов и исключены большинство недостатков, в целях получения решения, удовлетворяющего требованиям эксплуатации в условиях северных территорий. Конструкция представляет из себя модуль с габаритными размерами 6,5 x 2,4 x 6,54 м (Длина x Ширина x Высота). В предлагаемой конструкции соблюдаются необходимые размеры помещения, поскольку расчет идет о возможности использования нескольких модулей. Площадь одного модуля составляет 23,7 квадратных метра с учетом мансардного этажа, что удовлетворяет требованиям нормативных документов Российской Федерации. Высота помещений первого этажа так же удовлетворяет нормативным требованиям. Конструкция модуля была разработана таким образом, что бы ее транспортные габариты соответствовали требуемым максимальным транспортным габаритам груза согласно Правил дорожного движения РФ.

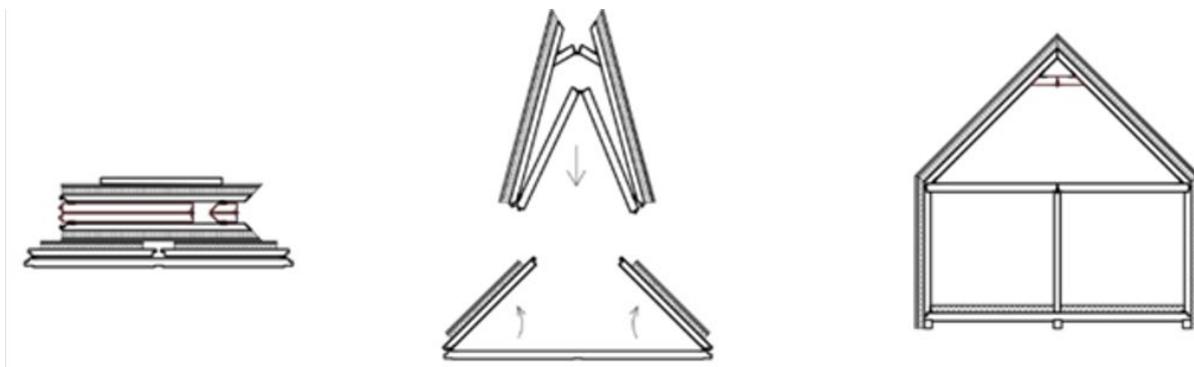


Рис. 4. – Предлагаемая концепция складного (трансформируемого) модуля

Конструкция модуля представляет из себя каркасную систему. В качестве основы для конструкций модуля приняты МНМ панели. По заявлениям производителя, продукция является абсолютно экологически безопасной, надежной и долговечной. Материал изготавливается из заранее высушенных, спрессованных послойно накрест и дополнительно скрепленных алюминиевыми метизами досок. Готовые стены из МНМ

панелей не дают усадку, не гниют, не содержат токсичных клеевых компонентов.

В системе складывания используются шарнирные элементы складывания. Все шарнирные элементы находятся внутри теплого контура, не создавая дополнительных мостиков холода. В качестве шарнирных элементов применены усиленные петли заводского изготовления, дополненные монтажными пластинами для крепления к панели. Такое решения 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 МНМ панелей - в половину сечения.

Классическое вертикальное расположения стен первого этажа позволяет рационально использовать площадь помещения и сделать более удобную систему складывания и раскладывания модуля. Так же 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.

Выводы

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 4): складываемая конструкция первого этажа и складываемая конструкции скатной крыши (мансардного этажа).

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.

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).

Литература

1. Акимова Э.Ш., Акимов С.Ф. Технологические особенности малоэтажного жилищного строительства // Экономика строительства и природопользования. 2019. №2(71). С. 149-158.
2. Литвинова Ю.М., Кулешова А.М. Растущие дома для многодетных семей // Концепции современного образования: вопросы продуктивного взаимодействия наук в рамках технического прогресса. 2020. С. 409-414.
3. Минабутдинова А.Р., Агишева И.Н. Принципы формирования трансформируемого жилого пространства // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. №3(49). С. 62-70.

4. Митькина А.С., Поморов С.Б. Способы трансформации жилых пространств в индивидуальном жилище конструкционными методами // Ползуновский альманах. 2020. Т.2. №2. С. 53-56.
 5. Рябова С.С. Кинетические жилые здания–будущее начинается сегодня // Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2021. №1. С. 207-211.
 6. Мироненко В.П., Цымбалова Т.А. Мобильное жилье как функционально-типологическая разновидность индустрии современного домостроения // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2015. №9(210). С. 55-70.
 7. Астахова Е. С. Современная мобильная архитектура и мобильное жилище // Инженерный вестник Дона. 2017. №4(47) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4622.
 8. Плешивцев А.А. Доступное и комфортное жилье малообеспеченным гражданам России // Градостроительство. 2012. №2. С. 87-90.
 9. Король Е.А., Плешивцев А.А. Исследования технологических операций методом хронометража при возведении трансформируемых малоэтажных зданий // Научное обозрение. 2017. №9. С. 10-15.
 10. Korol E., Pleshivcev A. Multiple-criteria decision analysis of the transformable low-rise building technological construction process // 2018 VI International Scientific Conference “Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education”(IPICSE-2018). MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. Vol. 193. P. 03042.
 11. Плешивцев А.А. Анализ альтернативных вариантов монтажа быстровозводимого трансформируемого малоэтажного здания из сэндвичпанелей // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. №2. С. 54-55.
-

12. Pleshivtsev A. A. et al. Development of methods for buildings calculation from sandwich panels for transformable low-rise buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. Vol. 675. No. 1. P. 012015.
13. Суэтина Т.А., Наназашвили И.Х., Плешивцев А.А. Организация строительства экологичных быстровозводимых зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. №31-2. С. 535-539.
14. Левинский Ю.Б., Омигов С.А. Повышение уровня монтажной готовности модульных жилых строений быстрого развертывания // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2006. С. 66-69.
15. Абрамян С.Г., Илиев А.Б. Основные требования к быстровозводимым строительным системам // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426.
16. Абрамян С.Г. и др. Трансформирующиеся и сборно-разборные объемные блок-модули, применяемые в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2020. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755.
17. Никольский М.С., Казаков Ю.Н. Рациональные конструктивно-технологические решения быстровозводимых коттеджей для загородного домостроения на основе деревянных панелей // Вестник гражданских инженеров. 2009. №4. С. 61-67.
18. Казаков Ю.Н. Технологии быстрого строительства экономичных малоэтажных жилых домов на основе оптимизированных легких сэндвич-панельных систем // Academia. Архитектура и строительство. 2017. №4. С. 95-102.

19. Сычев С.А. Индустриальная технология монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера // Жилищное строительство. 2017. №3. С. 71-78.

20. Бадьин Г.М., Сычёв 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.

21. Сычев С.А. Технология высокоскоростного строительства малоэтажных зданий // Актуальные вопросы технических наук: сборник материалов международной научной конференции. Россия, г. Москва, 27-29 марта 2014 г. МЦНИП, 2014. С. 71.

22. Сычев С.А. Системный анализ технологий высокоскоростного строительства в России и за рубежом // Перспективы науки. 2015. №9. С. 126-131.

23. Дементьев Н.М. и др. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта // Инженерный вестник Дона. 2023. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321.

24. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Construction and Geotechnics. 2017. Т. 8. №1. С. 148-155.

25. 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.

26. 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. Springer International Publishing, 2021. Pp. 185-192.
27. Chai T.J. et al. A Review on Prefab Industrialised Building System Modular Construction in Malaysia: The Perspective of Non-Structural Studies // The Advances in Civil Engineering Materials: Selected Papers of the ICACE 2018 held in Batu Ferringhi, Penang Malaysia on 9th-10th May 2018 2. 2019. Pp. 11-21.
28. Auclair D. et al. Sustainable Modular Timber Construction-A Holistic Perspective Towards Enhancing the Competitiveness of Timber Construction. Karelia University of Applied Sciences, 2023. 39 p.
29. Young, B.E., Seidu, R.D., Thayaparan, M., & Appiah-Kubi, J. Modular construction innovation in the UK: The case of residential buildings // Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, UAE, March 10-12, 2020. IEOM Society, 2020.
30. Пахомов Я.А., Кузьменков А.А. Трансформируемые (складные) дома: обзор и сравнение вариантов // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2023. С.39-49.
31. Кузьменков А.А., Кайчёнов А.В. Критерии выбора технологий экологически безопасного строительства в Арктике // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. №6. С. 1031-1046.
32. Буряченко С.Ю., Караченцева Я.М., Кузьменков А.А. Оценка энергоэффективности и потенциала ресурсосбережения "зеленых" технологий в деревянном домостроении // Наука и образование-2020. 2021. С. 440-446.
33. Буряченко С.Ю. и др. Комплексный подход к исследованию энергоэффективности ограждающих конструкций деревянного здания //
-

Возможности и перспективы проектов энергосбережения. Опыт Норвегии, Финляндии и Мурманской области. 2021. С. 22-29.

34. Buryachenko S.Y. et al. 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: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. Vol. 539. No. 1. P. 012024.

35. Караченцева Я.М., Кайченев А.В., Кузьменков А.А. Энергоэффективность, как группа критериев оценки зеленых зданий в Арктической зоне // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2022. С. 23-27.

References

1. Akimova E.Sh., Akimov S.F. Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya. 2019. №2(71). pp. 149-158.

2. Litvinova Yu.M., Kuleshova A.M. Rastushchie doma dlya mnogodetnykh semey [Growing homes for large families]. Kontseptsii sovremennogo obrazovaniya: voprosy produktivnogo vzaimodeystviya nauk v ramkakh tekhnicheskogo progressa. 2020. pp. 409-414.

3. Minabutdinova A.R., Agisheva I.N. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2019. №3 (49). pp. 62-70.

4. Mit'kina A.S., Pomorov S.B. Polzunovskiy al'manakh. 2020. Vol.2. №2. pp. 53-56.

5. Ryabova S.S. Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. 2021. №1. pp. 207-211.

6. Mironenko V.P., Tsymbalova T.A. Visnik Pridniprovs'koï derzhavnoï akademii budivnitstva ta arkhitekturi. 2015. №9 (210). pp. 55-70.

7. Astakhova E. S. Inzhenernyy vestnik Dona. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4622.
 8. Pleshivtsev A.A. Gradostroitel'stvo. 2012. №2. pp. 87-90.
 9. Korol' E.A., Pleshivtsev A.A. Nauchnoe obozrenie. 2017. №9. pp. 10-15.
 10. Korol, E., & Pleshivcev, A. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Vol. 193, p. 03042.
 11. Pleshivtsev A.A. BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki. 2019. №2. pp. 54-55.
 12. Pleshivtsev, A. A., Mahadi, M. A., Markovich, A. C., & Chiadighikaobi, P. C. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. Vol. 675, No. 1. p. 012015.
 13. Suetina T.A., Nanazashvili I.Kh., Pleshivtsev A.A. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2013. №31-2. pp. 535-539.
 14. Levinskiy Yu.B., Omigov S.A. Povyshenie urovnya montazhnoy gotovnosti modul'nykh zhilykh stroeniy bystrogo razvertyvaniya [Increasing the level of installation readiness of modular residential buildings for rapid deployment]. Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka. 2006. pp. 66-69.
 15. Abramyan S.G., Iliev A.B. Inzhenernyy vestnik Dona. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426.
 16. Abramyan S.G. i dr. / Inzhenernyy vestnik Dona. 2020. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6755.
 17. Nikol'skiy M.S., Kazakov Yu.N. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2009. №4. pp. 61-67.
 18. Kazakov Yu.N. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2017. №4. pp. 95-102.
-

19. Sychev S.A. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2017. №3. pp. 71-78.
20. Bad'in G.M., Sychev S.A. Nauchnye i tekhnologicheskie osnovy vysokoskorostnykh energoeffektivnykh stroitel'nykh sistem v usloviyakh Kraynego Severa [Scientific and technological foundations of high-speed energy-efficient building systems in the Far North]. Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2019 godu. 2020. pp. 22-31.
21. Sychev S.A. Tekhnologiya vysokoskorostnogo stroitel'stva maloetazhnykh zdaniy [Technology of high-speed construction of low-rise buildings]. Aktual'nye voprosy tekhnicheskikh nauk: sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Rossiya, g. Moskva, 27-29 marta 2014 g. MTsNIP, 2014. p. 71.
22. Sychev S.A. Perspektivy nauki. 2015. №9. pp. 126-131.
23. Dement'ev N.M. i dr. Inzhenernyy vestnik Dona. 2023. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321.
24. Zakharova M.V., Ponomarev A.B. Construction and Geotechnics. 2017. Vol. 8. №1. pp. 148-155.
25. Krasilova L.A. Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2016. №2 (17). pp. 244-253.
26. Junjun, Z., Haining, W., & Hong, Z. Towards Implementation of Sustainability Concepts in Developing Countries. Springer International Publishing. 2021. pp. 185-192).
27. Chai, T. J., Tan, C. S., Chow, T. K., Ling, P. C. H., & Koh, H. B. The Advances in Civil Engineering Materials: Selected Papers of the ICACE 2018 held in Batu Ferringhi, Penang Malaysia on 9th-10th May 2018.(2019. pp. 11-21.



28. Auclair, D., Keya, S., Hollermann, S., & Pakarinen, T. Sustainable Modular Timber Construction-A Holistic Perspective Towards Enhancing the Competitiveness of Timber Construction. Karelia University of Applied Sciences, 2023. 39 p.

29. Young, B. E., Seidu, R. D., Thayaparan, M., & Appiah-Kubi, J. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, UAE, March 10-12, 2020. IEOM Society. 2020. URL: ieomsociety.org/ieom2020/papers/564.pdf.

30. Pakhomov Ya.A., Kuz'menkov A.A. Derevyannoe maloetazhnoe domostroenie: ekonomika, arkhitektura i resursosberegayushchie tekhnologii. 2023. pp.39-49.

31. Kuz'menkov A.A., Kaychenov A.V. Vestnik MGSU. 2024. Vol. 19. №6. pp. 1031-1046.

32. Buryachenko S.Yu., Karachentseva Ya.M., Kuz'menkov A.A. Nauka i obrazovanie-2020. 2021. pp. 440-446.

33. Buryachenko S.Yu. i dr. Vozmozhnosti i perspektivy proektov energosberezheniya. Opyt Norvegii, Finlyandii i Murmanskoy oblasti. 2021. pp. 22-29.

34. Buryachenko, S. Y., Karachentseva, I. M., Voronin, Z. A., & Kuzmenkov, A. A. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020. Vol. 539. No. 1. p. 012024.

35. Karachentseva Ya.M., Kaychenov A.V., Kuz'menkov A.A. Derevyannoe maloetazhnoe domostroenie: ekonomika, arkhitektura i resursosberegayushchie tekhnologii. 2022. pp. 23-27.

Дата поступления: 26.12.2024

Дата публикации: 25.05.2025