

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5522

УДК 694, 69.001.5, 699.86

Статья

Обоснование конструктивных и технологических решений экспериментального деревянного малоэтажного здания с учётом принципов «зелёного строительства»

Кузьменков Александр Алексеевич

кандидат экономических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), kuzmenkov@petrsu.ru

Караченцева Яна Марсильевна

старший преподаватель, Мурманский государственный технический университет (Российская Федерация), karachentsevayam@mstu.edu.ru

Дербенёв Артём Владимирович

директор, ООО «Энергоэффективное домостроение» (Российская Федерация), aderrr@mail.ru

Получена: 26 ноября 2020 / Принята: 18 февраля 2021 / Опубликовано: 26 февраля 2021

Аннотация: В статье представлены результаты обоснования и разработки объёмно-планировочных, конструктивных и технологических решений экспериментального деревянного здания. Для проведения исследования предполагается строительство двух идентичных зданий на территориях г. Мурманска и г. Петрозаводска. Здания должны быть реализованы в одинаковых архитектурных и конструктивных решениях. Идентичность объектов позволит оценить эффективность применения одних и тех же конструктивных и технологических решений в различных климатических условиях. Одной из перспективных задач исследования является оценка степени влияния ограждающих конструкций (их конструктивных решений и применяемых теплоизоляционных материалов) на класс энергоэффективности деревянного здания и его микроклимат.

Ключевые слова: деревянное домостроение, энергоэффективность и ресурсосбережение, технологии «зелёного строительства»

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5522

Article

Substantiation of constructive and technological solutions for an experimental low-rise wooden house in accordance with the principles of «Green Building»

Alexander Kuzmenkov

*PhD in economics, associate professor, Petrozavodsk state university (Russian Federation),
kuzmenkov@petrsu.ru*

Iana Karachentseva

*senior lecturer, Murmansk state technical university (Russian Federation),
karachentsevayam@mstu.edu.ru*

Artem Derbenev

director, LLC "Energy efficient housing construction" (Russian Federation), aderrr@mail.ru

Received: 26 November 2020 / Accepted: 18 February 2021 / Published: 26 February 2021

Abstract: The article presents the results of the substantiation and development of space-planning, structural and technological solutions for an experimental wooden building. It is planned to construct two identical buildings in the territories of Murmansk and Petrozavodsk. Buildings must be erected in compliance with the same architectural and structural design. The identity of the objects will make it possible to assess the effectiveness of the application of the same design and technological solutions in different climatic conditions. One of the promising tasks of the study is to assess the degree of influence of the enclosing structures (their design solutions and applied thermal insulation materials) on the energy efficiency rating of a wooden building and its microclimate.

Keywords: wooden housing construction, energy efficiency and resource saving, technologies of «green building»

1. Введение

Настоящее исследование реализуется в продолжение ранее выполненных работ [14], [16], [17], [26], [27], [28], [29], [31], [32], [37], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45] по оценке эффективности конструктивных и технологических решений малоэтажных жилых зданий. По результатам предыдущих исследований было принято решение о более подробном рассмотрении малоэтажных зданий в зависимости от основного конструктивного материала стен. Текущее исследование относится к малоэтажным зданиям, выполненным из древесины. Основной акцент в настоящем исследовании сделан на рассмотрении деревянных малоэтажных зданий с точки зрения удовлетворения их параметров принципам «зелёного строительства» [8], [19]. Декларируемый «зелёный» подход к деятельности предполагает снижение негативного влияния зданий и сооружений на окружающую среду и человека на протяжении всего жизненного цикла, что предполагается достигнуть за счёт:

- повышения эффективности использования энергетических и водных ресурсов;
- использования экологически безопасных строительных материалов, местных для территории строительных материалов, а также материалов с повышенными показателями энергоэффективности и энергосбережения;
- сокращения отходов, вредных выбросов и других воздействий на окружающую среду;
- использования альтернативных источников энергии.

Принципы «зелёного строительства» декларируют требования к экологичности зданий и сооружений и среде обитания человека с точки зрения минимизации негативного воздействия на природу, с одной стороны, и обеспечения комфортных и безопасных условий для человека — с другой. При этом рассматривается весь жизненный цикл зданий и сооружений: проектирование, строительство, эксплуатация, текущие и капитальные ремонты, снос (демонтаж) и утилизация отходов. Основными, успешно применяемыми международными стандартами «зеленого строительства» являются стандарты LEED (США) [7], BREEAM (Великобритания) [2] и DGNB (Германия) [3].

В Российской Федерации в 2012 г. был утверждён Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 54964-2012 «ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ. Экологические требования к объектам недвижимости» [25]. В этот же период были представлены стандарты Национального объединения саморегулируемых организаций в строительстве СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011 «Зелёное строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания» [57] и СТО НОСТРОЙ 2.35.68-2012 «Зелёное строительство. Учёт региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания» [58]. С апреля 2011 г. в России действует Национальная система добровольной сертификации объектов недвижимости — «Зелёные» стандарты [56]. 15 января 2019 г. Росстандартом были утверждены предварительные национальные «зелёные» стандарты с ограниченным сроком действия — «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности и «Зелёная» инновационная продукция. Термины и определения [50]; «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности. Классификация [51]; «Зелёные» технологии среды

жизнедеятельности. Критерии отнесения [52]; «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности. Оценка соответствия требованиям «зелёных» стандартов. Общие положения [53].

2. Материалы и методы

Древесина и древесные материалы являются наиболее популярными при строительстве объектов индивидуального жилищного строительства. Авторами была обоснована [38] целесообразность проведения исследования на базе экспериментального объекта, параметры которого максимально приближены к параметрам индивидуального жилого дома. Также было обосновано применение древесины в качестве основного конструктивного материала. Одним из критериев выбора строительных материалов является соответствие этого материала принципам «зелёного строительства». В качестве критериев, по которым материал может быть отнесен к «зелёным», принимаются:

— экологичность — минимальное оказываемое воздействие на окружающую среду и здоровье человека на протяжении полного жизненного цикла (от добычи сырья до утилизации);

— ресурсоэффективность — возможность повторно перерабатываться или производства из переработанных материалов;

— производство на территории применения — использование местных материалов позволяет сэкономить до 40 % средств на транспортировку и сократить выбросы парниковых газов;

— энергоэффективность — возможность добиться высоких показателей энергоэффективности объектов недвижимости;

— наличие признанных эко-сертификатов I типа (FSC, EcoMaterial, Листок жизни и т. д.).

Древесина и древесные материалы отвечают нескольким из представленных критериев — экологичность и минимальное негативное влияние на окружающую среду; возможность повторного использования; местный и естественно возобновляемый ресурс для регионов Севера и Северо-Запада России; свойства материала позволяют создать комфортный микроклимат внутри здания (дышащий материал). Очевидными недостатками древесины являются низкая огнестойкость и подверженность гниению и воздействию насекомых. Недостатки компенсируются предварительной обработкой специальными составами [24].

Развитие деревянного домостроения обусловлено и дополнительными факторами, обосновывающими необходимость развития данного вида строительства. Деревянному домостроению уделяется пристальное внимание со стороны как федеральных органов управления, так органов управления субъектов Российской Федерации. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации позиционирует деревянное домостроение как инструмент развития лесопромышленного комплекса России.

Согласно Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. [59], одним из основных направлений развития отрасли рассматривается деревянное домостроение,

ориентированное как на внутренний рынок, так и на экспорт. Целевое видение в сфере лесной промышленности предусматривает обеспечение глубокой переработки древесины на базе строительства новых и расширения существующих предприятий по переработке древесины, а также по производству продукции деревянного домостроения. В разделе 9 Стратегии отмечаются конкурентные преимущества деревянных малоэтажных жилых зданий по сравнению с другими типами жилых домов: низкая стоимость, простота и скорость строительства, меньшая нагрузка на экологию.

Согласно положениям Стратегии, основными, сдерживающими развитие деревянного домостроения факторами в России являются: устаревшие нормативы, ограничения в получении кредитных ресурсов, отсутствие государственной поддержки и большая доля некачественной и небезопасной продукции). При реализации мероприятий по поддержке отрасли, по прогнозным оценкам, к 2030 г. производство деревянных домокомплектов составит 13,6 млн м², а объём поставок на внутренний рынок — 13,4 млн м³. В рамках реализации мероприятий Стратегии в Северо-Западном федеральном округе предполагается расширение производства почти во всех сегментах. Разработанные мероприятия планируется, в большей степени, сфокусировать на рынках со значительным потенциалом увеличения внутреннего потребления — деревянного домостроения и биотоплива.

Разработчики проекта Стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 г. [55] в качестве одной из основных проблем в сфере жилищного строительства в России выделяют недостаточную долю промышленного домостроения (производства домокомплектов и отдельных модулей). Отдельные положения проекта Стратегии фокусируются на необходимости поддержки производства современных домокомплектов в части расширения практики деревянного индивидуального и малоэтажного домостроения в сегментах жилищного строительства, а также строительства объектов социально-культурной инфраструктуры и создания условий для долгосрочного спроса на продукцию обновлённых предприятий (возможность участия в программах реновации, замещения ветхого и аварийного жилья, строительства жилья для отдельных категорий населения). Промышленное производство домокомплектов позволяет снизить цену готового дома для потребителя, уменьшить сроки строительства с одновременным повышением качества жилья.

Одним из главных факторов, влияющих на приоритетные направления совершенствования механизмов строительства социальной инфраструктуры, авторы проекта Стратегии рассматривают потребность в повышении экономической эффективности строительства таких объектов в части разработки технологий и создание производственных мощностей для строительства быстровозводимых малоэтажных деревянных (композитных) индивидуальных домов с высоким уровнем заводской готовности. Правительство Российской Федерации стимулирует деревянное домостроение по современным технологиям в регионах при возведении социальных объектов — детских садов, физкультурно-оздоровительных комплексов, фельдшерско-акушерских пунктов, а также жилья взамен ветхого и аварийного.

Одним из целевых показателей Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации является увеличение доли деревянного домостроения в общем объёме строительства до 20 % к концу 2025 г.

В соответствии с положениями Стратегии развития лесного комплекса Республики Карелия до 2030 г. [59] стимулирование развития деревянного домостроения в регионе выделено в отдельную группу мероприятий. В положениях стратегии отмечается, что, несмотря на низкое качество жилого фонда в посёлках, в Республике Карелия отсутствует программа развития деревянного домостроения. В качестве возможностей в развитии лесного комплекса отмечается создание комфортных условий проживания в лесных посёлках с развитием социально-бытовой инфраструктуры на основе деревянного домостроения, а также развитие сфер деятельности, работающих на экономику лесных поселений, в т. ч. в области деревянного домостроения. Преимуществом республики является наличие на её территории современного предприятия по производству ориентировано-стружечных плит, широко применяемых в деревянном домостроении. В качестве основных мероприятий по развитию Стратегия предусматривает:

— проведение полного учёта наличия и состояния жилого фонда, объектов образования, здравоохранения, торговли и т. д. как в городах, так и в многочисленных посёлках;

— разработку единой программы развития деревянного домостроения, учитывающую решение вопросов расселения ветхого и аварийного жилья, строительства социального жилья;

— популяризацию мер по развитию рынка деревянного домостроения на разных уровнях власти (снижение кредитной ставки для покупателей деревянных домов за счёт государственного субсидирования, введение квот для использования материалов деревянного домостроения в региональных программах по строительству жилья, применение льгот в ипотечном кредитовании при покупке квартир в деревянных домах), а также развитие экологического туризма, в т. ч. и в зимнее время.

В 2020 г. Правительство региона приступило к разработке ряда мер по поддержке деревянного домостроения [23]. Проводится работа по корректировке нормативно-правовых документов в целях разработки мер господдержки предприятий, занимающихся производством домов и домокомплектов из древесины на территории Карелии. Республиканские власти также ожидают положительной реакции от банковского сообщества в части ипотечного кредитования населения для строительства деревянных домов. Ранее принятая на федеральном уровне программа субсидирования кредитной ставки на покупку деревянных домов не получила отклика от россиян из-за первоначально короткого срока кредитования. В Стратегии развития лесного комплекса Республики Карелия на текущий момент на современном рынке выделяется два основных типа домов: из массивной древесины (рубленные, брусовые, дома из оцилиндрованного бревна и клееного бруса) и панельно-каркасные дома.

Представители бизнес-сообщества отмечают в 2020 г. повышенный интерес у населения к строительству загородных домов [30]. Риэлтерские агентства и застройщики Карелии весной

2020 г. отметили увеличение спроса на рынке загородной недвижимости. В период режима самоизоляции и карантинных мероприятий многие жители многоквартирных домов задумались о приобретении или строительстве индивидуального жилого дома, который позволяет более комфортно переживать условия пандемии. Строительные компании, занимающиеся строительством деревянных жилых домов, также выделяют два наиболее популярных вида зданий по технологии их возведения: каркасные и из брёвен и бруса. При этом стоит отметить, что каркасные деревянные здания набирают всё большую популярность.

С точки зрения развития лесопромышленного комплекса и возникающих проблем в регионах Северо-Западного федерального округа складывается примерно одинаковая ситуация. Тем не менее Северо-Западный федеральный округ рассматривается как один из наиболее перспективных для развития лесной промышленности и деревянного домостроения наряду с Центральным и Сибирским федеральными округами. Факторами, обуславливающими перспективность СЗФО, являются [60]: в Северо-Западном федеральном округе сосредоточено более 17 % расчётной лесосеки России; лесной комплекс СЗФО представлен полным комплексом производств; наибольшая доля поступлений неналоговых доходов от использования лесов (все виды) (до 25 % общего объёма поступлений доходов от использования лесов); количество очень крупных компаний, действующих на территориях.

В рамках реализации стратегических мероприятий [60] в Северо-Западном федеральном округе предполагается расширение производства почти во всех сегментах: в лесозаготовках и производстве пиломатериалов, целлюлозно-бумажной промышленности, производстве древесных плит и фанеры, деревянном домостроении и производстве пеллет. В настоящее время на северо-западе на лесосырьевой базе крупнейших предприятий реализуются пилотные проекты по интенсификации использования и воспроизводства лесов. Увеличение мощностей экономически целесообразно рассматривать в рамках расширения существующих и (или) создания новых лесоперерабатывающих кластеров. С учётом мер государственной поддержки Северо-Западный федеральный округ рассматривается как привлекательный для инвестирования в новые проекты по производству пиломатериалов.

Исследовательский проект, реализуемый на базе Петрозаводского государственного университета и Мурманского государственного технического университета, предусматривает проведение исследования по влиянию объёмно-планировочных, конструктивных и технологических решений на энергоэффективность деревянного малоэтажного здания в различных климатических условиях. Для проведения исследования в рамках проекта выполняется строительство двух абсолютно идентичных экспериментальных (модельных) объектов, реализованных в двух технологиях деревянного домостроения. В настоящей статье приведено обоснование проектных решений экспериментальных объектов, касающихся основных конструкций здания. Обоснование по инженерному обеспечению экспериментальных зданий представлено в отдельном исследовании [33].

Наиболее энергоэффективной формой здания является форма купола или полусферы. Данная форма строений давно известна человечеству. Примерами могут служить иглу

эскимосов, вигвамы североамериканских индейцев или шатры африканских племён. Во многих культовых зданиях купол используется в качестве основы или отдельного элемента. Геодезический купол как конструкция был запатентован американским инженером и архитектором, дизайнером и изобретателем Ричардом Бакминстер Фуллером (англ. Richard Buckminster Fuller; 12.07.1895—01.07.1983) в 50-е гг. XX в. [63]. Изначально интерес к купольным домам проявлялся только благодаря оригинальной форме здания, а идея не получила какого-либо значительного распространения. Однако количество зданий в форме купола постоянно растёт, но только благодаря энтузиастам, и потому такая форма не становится преобладающей.

Основными преимуществами [15], [47], [48] здания в форме полусферы считаются: оригинальность и эстетичность внешнего вида; прочность и надёжность (хорошая аэродинамика и сопротивляемость сейсмическим воздействиям); форма полусферы не позволяет скапливаться снегу в зимний период; низкий вес конструкции (нет необходимости в массивном фундаменте); потребность в строительных материалах ниже на 25—30 %; относительно высокая скорость строительства; меньшая площадь внешней поверхности. Последнее и обеспечивает высокую энергоэффективность купольных зданий. Меньшая, по отношению к кубической форме, площадь внешней поверхности охлаждаемых конструкций обуславливает низкий коэффициент компактности [54], [61]. Также у купольных зданий отсутствуют выступающие углы, которые являются «концентраторами холода» и забирают много энергии на обогрев. Здания в форме полусферы имеют и ряд недостатков: элементы конструкций требуют более высокой точности изготовления и качества, особенно в узлах сопряжения, что выдвигает повышенные требования к качеству исходных строительных материалов; большой расход пиломатериалов и дополнительные затраты при производстве нестандартных элементов купольных конструкций; необходимость использования нестандартных оконных и дверных блоков, а также элементов мебели; необходимость в более тщательной проработке внутренней планировки и расстановке мебели, а также сложности в размещении стандартной мебели; круглая в плане форма здания требует детальной разработки генерального плана участка; предъявляются повышенные требования к гидроизоляционным материалам покрытия и устройству сопряжений.

Основной причиной, по которой данный тип зданий не рассматривался в настоящем исследовании, является то, что купольные здания не получили массового распространения. Тематика, связанная со зданиями в виде полусферы, требует дальнейшего исследования и оценки эффективности. Текущее исследование ориентировано на деревянные малоэтажные здания массового производства и потребления.

Следующей по энергоэффективности формой здания является форма куба. Следует отметить, что исторически самые бедные слои населения в северных районах России строили свои дома именно квадратной в плане формы. В основном эти здания были одноэтажными, в редких случаях — двухэтажными (у более богатых). В качестве основной причины можно предположить, что бедные слои населения испытывали недостаток средств на отопление,

и в силу этого выбирали более компактную форму своего жилища. По соотношению объёма и площади поверхности (ограждающих конструкций) куб близок к куполам.

На начальной стадии нашего исследования рассматривался вариант экспериментального здания в форме куба. При этом конструктивное решение для каждой стены предполагалось разное: каркасное, брусчатое с наружным утеплением, двойной сруб и клееный брус. Однако такое решение не даёт возможность объективно оценить энергоэффективность различных конструкций стен, в силу стационарной ориентации здания относительно сторон света. Данный вариант предполагается рассмотреть отдельно на примере масштабной модели здания, которая будет иметь возможность изменения ориентации стен в процессе исследования. В итоге для экспериментального здания была выбрана форма прямоугольного параллелепипеда с размерами $13 \times 6 \times 4,5$ м. Данная форма здания наиболее массово применяется при проектировании и строительстве зданий. С точки зрения энергоэффективности формы для северных территорий более характерна простая форма, без большого количества выступающих и западающих объёмов.

Как было указано выше, стратегически выделяется две основные технологии строительства малоэтажных деревянных зданий: каркасная и с применением элементов из массивной древесины. На рынке загородной недвижимости и строительства весной 2020 г. было отмечено повышение спроса в аналогичных сегментах рынка.

Строительство жилых зданий из массивной древесины является традиционным для северных территорий России [21], [22], [49]. Самые старые бревенчатые постройки в мировой истории, обнаруженные при раскопках, датируются приблизительным временным периодом 550—400 лет до н. э. Самые ранние упоминания о бревенчатых постройках на территории России встречаются в летописных источниках V в., а уже с X в. рубленые конструкции массово применялись на Руси для строительства культовых, жилых и хозяйственных зданий. Северные территории России широко известны памятниками архитектурного деревянного зодчества. Широкое внедрение каменных конструкций началось при Петре I при строительстве Санкт-Петербурга, а на рубеже XIX—XX вв. дерево перестало быть наиболее массовым строительным материалом. По мере развития индустриальных методов обработки древесины и производства пиломатериалов для строительства зданий стал применяться брус. Брусчатые здания получили широкое распространение в сельской местности в послевоенные годы и строятся по настоящее время.

Основой бревенчатого или брусчатого здания является клеть или сруб из соединённых в углах здания брёвен или брусьев. Способов соединения брёвен между собой известно более пяти десятков. Самыми известными и применяемыми для бревна являются: «в чашу» и «в лапу», для бруса — «в полдерева», «на шипах» и «в лапу». Для утепления пазов в местах соединения и стыков между рядами (венцами) брёвен или бруса используются как традиционные материалы — мох, льняная пакля, войлок, так и современные — ленточные утеплители на основе джута. Стены из бруса дополнительно укрепляются при помощи нагелей, которые устанавливаются в предварительно просверленные отверстия в шахматном

порядке через несколько венцов. В настоящее время получила широкое распространение конструкция сруба из профилированного бруса. В местах стыковки венцов профиль бруса имеет соединение в форме «паз — гребень», которое исключает основной недостаток брусчатых стен — продувание между венцами. Строганная поверхность профилированного бруса исключает необходимость отделки поверхности стены и повышает эстетические качества здания.

Традиционная одинарная конструкция сруба в современных условиях не может полноценно удовлетворить нормативным требованиям теплопередачи, т. к. толщина плотного слоя древесины должна составлять около 40 см. Брёвна и брус такой толщины найти сегодня практически невозможно. Исключение составляют срубы из клееного бруса, однако цена клееных конструкций очень высока. Одинарные срубы активно применяются для строительства зданий сезонного проживания и бань. При строительстве жилого дома круглогодичного проживания одинарные срубы необходимо дополнительно утеплять.

Учитывая вышеизложенное, интерес представляет технология, которая бы позволила удовлетворять современным теплотехническим требованиям и сохранить характерный традиционный облик бревенчатого здания. Такой технологией может выступить технология «двойного бруса» («двойного шпунта») или «двойного сруба». Первоначально технология «двойной брус» появилась в Австрии, затем применялась в Германии и впоследствии получила широкое распространение в Финляндии. В России данная технология позиционируется как финская и стала применяться сравнительно недавно — в конце 1990-х — начале 2000-х гг. В традиционном варианте конструктивного решения стены используется профилированный брус, из которого формируются два слоя стены — внутренний и внешний («сруб в срубе»). Полость между ними является теплоизоляционным слоем, для реализации которого могут применяться различные материалы. В настоящем исследовании предлагается рассмотреть конструкцию двойного сруба с применением оцилиндрованного бревна. Причины такого выбора следующие:

- бревно является классическим элементом с точки зрения эстетики, внешнего облика и северной архитектуры;
- для изготовления оцилиндрованных брёвен может использоваться сырьё в виде тонкомеров (средний диаметр бревна 200—250 мм);
- древесных отходов при производстве оцилиндрованного бревна меньше, чем при производстве профилированного бруса.

Деревянные каркасные конструкции также имеют достаточно продолжительную историю. Родиной каркасных зданий принято считать Европу. В XII в. во многих странах Центральной и Северной Европы стали популярными дома, основой которых являлась система стоек, ригелей и раскосов, выполненная из дуба или лиственницы — деревянный фахверк (нем. Fachwerk) или каркас. Участки стены между элементами каркасной системы заполнялись смесью навоза, извести и соломы, позже — глиной, кирпичом или камнем.

Дальнейшее развитие каркасная технология получила после 1833 г. в США [1], [46]. В 1833 г. в г. Чикаго Августином Тейлором (англ. Augustine Taylor) было построено здание Католической церкви Святой Марии. Вместо массивных деревянных элементов при строительстве использовались меньшие по сечению доски, расставленные с определённым (достаточно частым) шагом друг от друга, которые в узлах соединялись между собой гвоздями. Профессиональные плотники того времени не оценили конструкцию Тейлора и придумали ей название *balloon frame*, намекая на то, что она может быть унесена лёгким ветром, как воздушный шар. Однако предложенное решение было более дешёвым, быстрым в реализации и требовало меньших затрат на материалы и меньшего количества рабочих. Серьёзным недостатком являлась высокая пожароопасность таких зданий, что было подтверждено пожарами в г. Чикаго в 1871 г. и в г. Сан-Франциско в 1906 г. Это был первый опыт применения технологий каркасного домостроения, в современном понимании каркасной деревянной конструкции, который не получил массового распространения. Широкое применение деревянные каркасные дома получили в США и Канаде после Второй мировой войны с одновременным появлением и распространением плитных материалов для обшивки каркаса. Дальнейшее развитие каркасная технология получила на территории Скандинавских стран Европы в виде технологии «Платформа» [20].

В Советском Союзе каркасная технология активно применялась в послевоенные годы для строительства типовых 4-, 8- и 12-квартирных жилых зданий этажностью до 3 этажей. В основном применялись каркасно-обшивная технология и засыпные теплоизоляционные материалы (шлак, подлежащий утилизации). В отдельных случаях применялись каркасно-щитовые или каркасно-панельные варианты конструкций с применением в качестве теплоизоляционного слоя плит из шлаковаты и стекловаты.

В современных условиях в России каркасные деревянные дома набирают всё большую популярность. Относительно невысокая цена строительства и достаточно высокие теплотехнические параметры берут верх над предубеждённостью, сложившейся от эксплуатации каркасных домов советского периода, и «недостаточной» основательностью и безопасностью каркасного здания. В настоящее время получили распространение несколько вариантов строительства деревянного каркасного дома: построечное изготовление и сборка элементов каркаса, сборка предварительно изготовленных и прирезанных в размер элементов каркаса (домокомплекта), сборка предварительно изготовленных элементов каркасных стен (щитов) или панелей (каркасно-панельное строительство). Наиболее часто на рынке встречаются предложения по строительству деревянного каркасного дома с применением второго варианта — каркасного домокомплекта. Данный вариант позволяет более гибко принимать объёмно-планировочные решения, в то время как при каркасно-щитовом или панельном варианте многие решения зависят от типоразмеров щитов или панелей. Жёсткость и неизменяемость каркасной конструкции обеспечивается двумя способами. В первом случае, наряду с системой стоек и ригелей, используется набор подкосов, которые устанавливаются в ключевых местах: в углах, в местах примыкания стен, около проёмов. В этом случае

в качестве обшивок могут применяться дощатые древесные материалы (блок-хаус и вагонка), панели и системы сайдинга. Во втором случае для обеспечения жёсткости применяется плитная обшивка, а количество подкосов при этом уменьшается. В качестве плитной обшивки в данном варианте наиболее часто применяются плиты OSB и гипсокартонные листы. Декоративная облицовка при этом может быть любая.

Теплоизоляционные материалы экспериментальных зданий также подбирались исходя из их соответствия принципам «зелёного строительства», описанным выше. Утепление полости между брёвнами двойного сруба предусматривается древесной стружкой, которая является отходом при производстве оцилиндрованного бревна. Данный материал является экологически чистым, а также достаточно дешёвым, т. к. является отходом производства. Технология применения данного материала также достаточно проста. В то же время в связи с тем, что по способу укладки материал является засыпным, при проектировании необходимо предусматривать конструктивные решения, компенсирующие возможную усадку материала в процессе эксплуатации.

В качестве основного теплоизолирующего материала каркасной части здания рассматриваются минераловатные плиты производства Группы «Сен-Гобен» (торговые марки «Изовер» и «Изорок»). Основным теплоизоляционным материалом каркасных стен принят «ISOROC. Супер Тёплый» [6], который является самым тёплым минераловатым утеплителем в розничном сегменте для индивидуального жилого строительства. Материал отличается формостабильностью, повышенной упругостью и прочностью, что обеспечивает устойчивость плиты в каркасной конструкции. Продукт имеет самый низкий в сегменте коэффициент теплопроводности — 0,032 Вт/м К. Основной областью применения данного материала являются каркасные конструкции. Следует также отметить, что продукция компании «Сен-Гобен» включена в каталог экологически безопасных материалов GREEN BOOK [5], который разработан по поручению Министерства природы и Правительства России.

В одной из стен экспериментальных зданий запланировано применение отличных от основного теплоизоляционных материалов для последующего сравнения эффективности. В бревенчатой части применены теплоизоляционные плиты «АКОТЕРМ ФЛАКС», а также воздушная прослойка без утепления. Теплоизоляционные плиты «АКОТЕРМ ФЛАКС» изготавливаются из натурального льноволокна (85 %) и связующего полиэфирного волокна (15 %) [13]. Производитель материала декларирует, что благодаря уникальному расположению волокон и однородности продукции форма и размер плит сохраняются в процессе всего срока эксплуатации. Материал экологически чистый и не вызывает аллергических реакций, благодаря наличию льна сдерживает развитие бактерий и грибков, не гниёт. Коэффициент теплопроводности для данного материала составляет 0,038 Вт/м К.

В каркасной части применены три варианта теплоизоляционных материалов, альтернативных основному. Первый вариант — это уже описанные выше теплоизоляционные плиты «АКОТЕРМ ФЛАКС». Вторым вариантом является эковата — целлюлозный теплозвукоизоляционный материал, а третьим — теплоизоляционные плиты FLAXAN.

Эковата на 81 % состоит из обработанной специальным образом вторичной целлюлозы, на 7 % — из веществ, препятствующих горению, — антипиренов (бура) и на 12 % — из антисептика (борная кислота) [62]. Основными преимуществами материала являются экологичность и высокая степень огнестойкости. Эковата также исключает появление грибков, плесени, грызунов, насекомых. Коэффициент теплопроводности эковаты составляет 0,036—0,040 Вт/м К. Укладывается данный материал методами сухого или влажного напыления, что позволяет эффективно выполнять теплоизоляцию в труднодоступных местах.

Теплоизоляционные плиты, выпускаемые под брендом «Флаксан» / FLAXAN, изготавливаются из морских водорослей — взморника (камки), льна или конопли и полиэстера в качестве вяжущего [4]. Благодаря тому, что водоросли пропитаны морскими солями, материал негорючий. Природные компоненты обеспечивают материалу экологичность. Йод, выделяемый высушенной морской травой, создаёт неприемлемые условия для обитания грызунов и насекомых. Коэффициент теплопроводности данного материала составляет 0,036—0,034 Вт/м К.

3. Результаты

Модельный объект представляет собой одноэтажное здание с размерами в плане в осях 12,45 × 5,5 м со скатной крышей с небольшим уклоном. Высота здания по коньку самой высокой части составляет 4,3 м. Здание представляет собой два квадратных в плане объёма, соединённых тамбуром-коридором. Южный фасад здания и продольный разрез представлены на рисунке 1. Правая и левая части здания имеют одинаковую площадь помещений и одинаковый внутренний объём, что необходимо для проведения последующих исследований и сравнения двух применяемых конструктивных решений стен и технологий строительства.

Для обеих частей здания одинаковыми являются конструкции крыши, нижнего перекрытия и фундаментов. Фундаменты бетонные, из сборных бетонных блоков типа ФБС. Нижнее перекрытие деревянное, балочное, утеплённое. Общая толщина нижнего перекрытия составляет 465 мм, в т. ч. толщина теплоизолирующего слоя 300 мм. В первоначальном решении в качестве теплоизолирующего материала нижнего перекрытия был принят минеральный утеплитель на основе кварца «ISOVER. Каркас-М37» в два слоя по 150 мм. Материал относится к группе негорючих материалов. С наружной стороны теплоизоляционного слоя предусмотрена ветро-гидрозащитная мембрана, а с внутренней — пароизоляционная мембрана. Состав структурных слоёв конструкции нижнего перекрытия представлен на рисунке 2.

Крыша двускатная, утеплённая. Несущие конструкции крыши представлены системой наклонных стропильных ног с опорой на продольные стены и коньковый прогон. Материал покрытия кровли — металлочерепица. Общая толщина конструкции крыши составляет 450 мм, в т. ч. толщина теплоизолирующего слоя 350 мм. В первоначальном решении в качестве теплоизолирующего материала кровли был принят минеральный утеплитель на основе кварца «ISOVER. Скатная кровля» в два слоя 200 мм и 150 мм. В структуре

конструкции кровли также предусмотрены ветро-гидрозащитные и пароизоляционные слои. Состав структурных слоёв конструкции крыши представлен на рисунке 3.

Разными для частей здания являются конструкции наружных стен и технология их возведения. Конструкции стен частей здания выполнены по двум различным технологиям: одна часть по каркасной технологии, вторая — по технологии двойного сруба. Общая толщина каркасной конструкции стены составляет 350 мм. Несущий каркас представлен стойками сечением 50 × 200 мм, ригелями того же сечения и системой подкосов. По несущему каркасу в горизонтальном направлении выполнен каркас перекрёстного слоя утепления толщиной 50 мм. Общая толщина теплоизолирующего слоя составляет 250 мм. В качестве основного материала утепления для каркасной стены принят минераловатный утеплитель «ISOROC. Супер Тёплый». Материал относится к группе негорючих материалов. При строительстве здания в г. Петрозаводске [36] было принято решение применить данный утеплитель и для конструкций нижнего перекрытия и кровли. Аналогичное решение было принято и для здания в г. Мурманске. С наружной стороны слоя утепления предусмотрен ветро-гидрозащитный слой из мембранной плёнки «Изоспан АМ». С внутренней стороны теплоизоляционного слоя запроектирован пароизоляционный слой из мембранной плёнки «Изоспан В». Состав структурных слоёв каркасной конструкции стены представлен на рисунке 4. В качестве наружной отделки каркасной части принята обшивка из строганной шпунтованной доски толщиной 20 мм по обрешётке из бруска сечением 50 × 50 мм. Обшивка обрабатывается антисептирующим составом для наружных работ. Обшивка внутренних поверхностей стен каркасной части и подшивка потолков выполнена из хвойной фанеры ФСФ НШ 3/3 толщиной 12 мм. Для объекта в г. Мурманске внутренняя отделка стен каркасной части и подшивка потолков предусмотрены из вагонки.

Средняя толщина конструкции стены, изготовленной по технологии двойного сруба, составляет 472 мм. Толщина слоя утепления 126 мм. В качестве основного теплоизоляционного материала приняты стружка и опилки, которые являются отходами при производстве элементов сруба. Для компенсации возможной осадки засыпного утеплителя в конструкции стены предусмотрены мембраны из доски толщиной 25 мм. Состав структурных слоёв конструкции стены, выполненной по принципу двойного сруба, представлен на рисунке 5. Снаружи бревенчатая часть обрабатывается атмосферостойким антисептиком для обработки брёвен Tikkurila Valtti Log после предварительной механической очистки и полировки. Поверхности брёвен внутри помещения обрабатываются матовым акриловым лаком Tikkurila Paneeli Assa.



Рисунок 1. Фасад и продольный разрез экспериментального здания

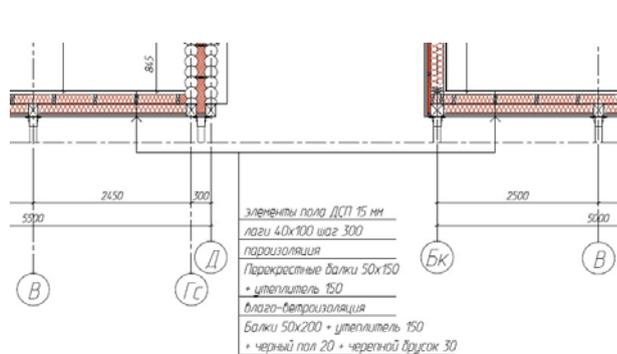


Рисунок 2. Состав структурных слоёв конструкции нижнего перекрытия

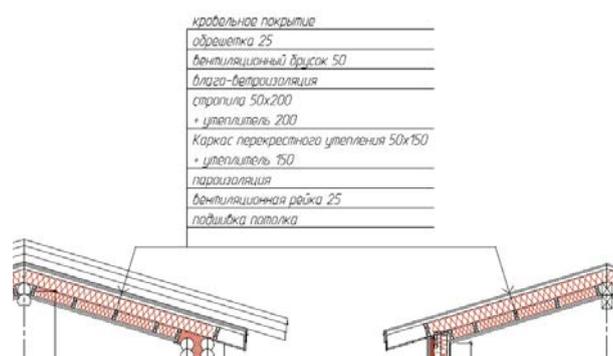


Рисунок 3. Состав структурных слоёв конструкции крыши

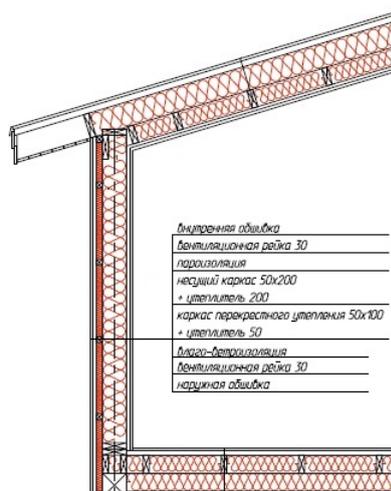


Рисунок 4. Состав структурных слоёв каркасной стены

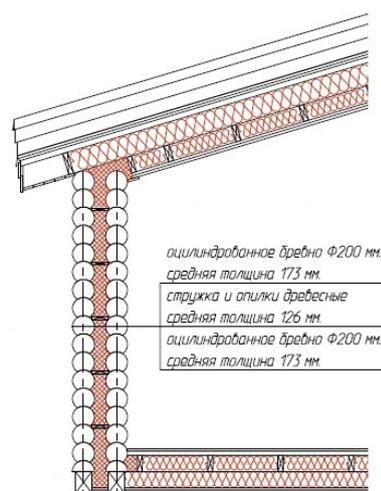


Рисунок 5. Состав структурных слоёв стены, изготовленной по технологии двойного сруба

Одним из условия сопоставимости результатов исследований в разных климатических зонах является одинаковая ориентация экспериментальных зданий на местности. Глухая стена здания должна быть ориентирована на север, как на территории г. Мурманска, так и на территории г. Петрозаводска. При этом ориентированная на север стена в каждой части здания разделена на три зоны. В каждой зоне применяется отдельный вид альтернативного теплоизоляционного материала. Для каркасной части здания альтернативными теплоизоляционными материалами являются: натуральный утеплитель «Флаксан Микс» [волокнистый материал из взморника, льна (85 %) и лавсана (15 %)], эковата и льняные маты. По рекомендации поставщиков теплоизолирующий материал «Флаксан Микс» был заменён на «Флаксан Бриз» с аналогичными характеристиками. Альтернативным теплоизоляционным материалом для стены из двойного сруба является льняной мат. Третья зона в стене из двойного сруба представлена воздушной прослойкой без дополнительного утепления. Схемы размещения зон с дополнительными видами теплоизоляционных материалов для каркасной стены и стены из двойного сруба представлены на рисунках 6 и 7 соответственно. Толщина теплоизоляционных слоёв рассчитана в соответствии с климатическими условиями г. Мурманска. В результате проектирования был достигнут общий класс энергоэффективности для всего здания — А (очень высокий) [18].

В качестве заполнения оконных проёмов предусмотрены оконные блоки из ПВХ профиля WHS Halo толщиной 72 мм с двухкамерным стеклопакетом с формулой 4i-12a-4-16-4. Входная дверь металлическая, утеплённая листовым пенополистиролом. Внутренние дверные блоки — МДФ (англ. Medium Density Fiberboard — древесноволокнистая плита средней плотности).

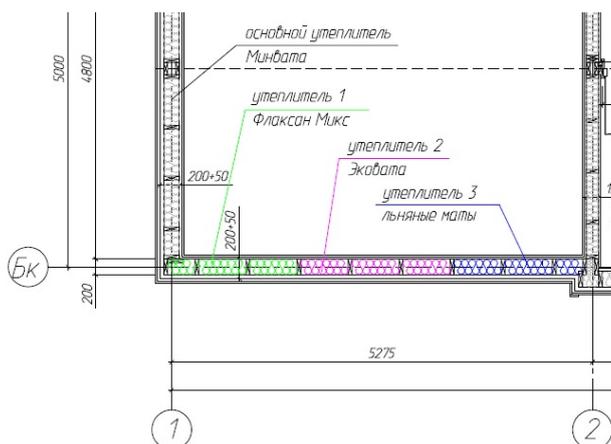


Рисунок 6. Размещение зон с дополнительными видами теплоизоляционных материалов в каркасной стене

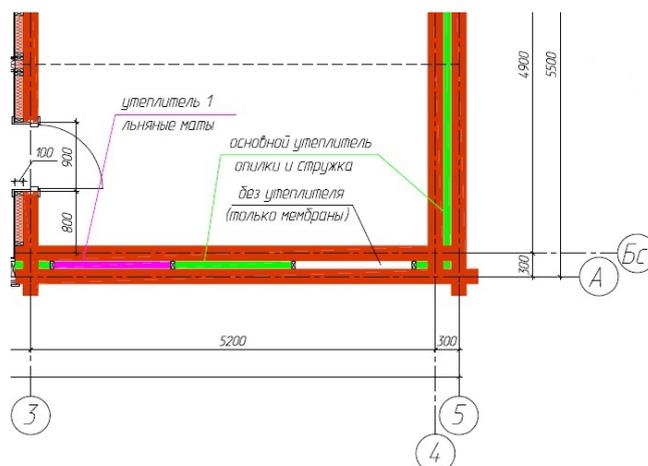


Рисунок 7. Размещение зон с дополнительными видами теплоизоляционных материалов в двойном срубе

На момент подготовки статьи (ноябрь 2020 г.) на экспериментальном объекте в г. Петрозаводске закончены основные строительные работы (рисунок 8) и ведутся работы по монтажу инженерных систем [33]. В г. Мурманске ведутся работы по возведению основных строительных конструкций экспериментального здания (рисунок 9).

Для изготовления элементов обоих домокомплектов была использована одинаковая древесина, которая была заготовлена в Прионежском центральном лесничестве (Прионежский район Республики Карелия, квартал 19, выдел 23). Заготовка древесины производилась в период с 15 по 31 декабря 2019 г. Пиломатериал был окорён и выложен в клеть на атмосферную сушку на 4 месяца — с января по май 2020 г. После атмосферной сушки влажность древесины составляла 20—30 % (воздушно-сухая древесина). Измерение влажности древесины производилось электронным измерителем влажности древесины GANN HYDROMETTE COMPACT «S» с диапазоном измерения 5—50 % [36].



Рисунок 8. Экспериментальный объект в г. Петрозаводске



Рисунок 9. Строительство экспериментального объекта в г. Мурманске

4. Обсуждение и заключение

Разработка и строительство экспериментальных объектов выполнены в целях проведения исследований в области энергоэффективности и ресурсосбережения, а также для оценки эффективности технологий «зеленого строительства» в малоэтажном деревянном строительстве. Основной целью первого этапа исследований в 2020—2021 гг. является получение сравнительных характеристик по изменению внутреннего климата в модельных домах и их энергоэффективности в зависимости от внешних условий для двух различных регионов с соответствующими климатическими условиями. Для выполнения исследований экспериментальные здания снабжены комплектом инженерных систем [33] и системой мониторинга температуры и влажности в слоях ограждающих конструкций [34], [35]. Система мониторинга представлена двумя подсистемами — эталонной и измерительной. Эталонная система базируется на электронных компонентах российского производства, сертифицированных как средство измерения. Измерительная система базируется на электронных компонентах китайского производства. В здании предусмотрено 25 узлов измерения в ключевых участках ограждающих конструкций (в стенах — около оконных проёмов, на различных уровнях по высоте, в зонах с различными утеплителями; в нижнем перекрытии; в конструкции крыши). Каждый узел состоит из 8 или 9 датчиков в зависимости от конструкции, которые расположены на границах слоёв.

Эталонная измерительная подсистема запроектирована на базе промышленного сенсорного программируемого контроллера «ОВЕН СПК107», а также датчиков влажности и температуры «ПВТ100-Н5.2.И.2». Промышленный датчик влажности и температуры «ОВЕН ПВТ100» предназначен для непрерывного преобразования относительной влажности и температуры неагрессивного газа в два унифицированных выходных сигнала 4—20 мА и передачи измеренных значений по интерфейсу RS-485 (Modbus RTU). Многоканальная измерительная подсистема реализована на базе микроконтроллеров ESP8266 NodeMCU V3 и цифровых датчиков температуры и относительной влажности GY-SHT31-D. Передача данных с датчиков GY-SHT31-D происходит по шине I2C. Основным элементом системы является

микроконтроллерная плата WeMos D1 mini на основе ESP8266, плата TCA9548A в качестве модуля расширения, а также MAX485 в качестве преобразователя интерфейсов TTL в RS485.

На начальном этапе исследования модельных объектов планируется получение опытных показателей теплопроводности ограждающих конструкций зданий и проверка рабочей гипотезы, изложенной в работе [18]. Одновременно будет проведено тепловизионное обследование зданий в режиме эксплуатации для определения термографических данных по внешним и внутренним поверхностям ограждающих конструкций — изменение температуры наружной поверхности ограждающих конструкций по площади поверхности, выявление мест локализации утечек тепла, выявление наиболее охлаждаемых участков ограждающих конструкций. Термографическое обследование позволит уточнить расчётные значения теплозащитных характеристик зданий, оценить эффективность применённых теплоизоляционных материалов, а также выполнить сравнение по двум модельным объектам в разных регионах. Также будут произведены лабораторные исследования влажности и теплопроводности образцов использованных теплоизоляционных и конструкционных материалов.

В перспективе на базе экспериментальных объектов возможно проведение различных исследований в области ресурсосбережения и повышения энергоэффективности деревянных малоэтажных зданий [9], [10], [11], [12]:

1. Сопоставление расчётной модели и результатов натурных исследований конструкций стен по теплотехническим характеристикам с учётом результатов лабораторных исследований применённых теплоизоляционных и конструкционных материалов.

2. Определение реальных тепловых потерь через исследуемые конструкции стен с учётом вариантности применяемого теплоизолирующего материала с последующей оценкой возможности их компенсации за счёт повышения тепловой защиты исследуемых ограждающих конструкций.

3. Оценка состояния конструкций стен по показателям температуры и влажности в период эксплуатации в различных климатических районах, а также в разных режимах эксплуатации.

4. Определение реальных затрат на эксплуатацию опытного здания в течение отопительного периода и последующая оценка эффекта повышения тепловой защиты стен на эксплуатационные расходы.

5. Определение мест расположения «мостиков холода» и утечек тепловой энергии через оболочку здания, выработка рекомендаций по их устранению для рассматриваемых конструктивных решений.

6. Оценка влияния ограждающих конструкций на класс энергоэффективности здания с учётом возможной вариантности теплоизолирующих материалов и различных конструктивных решений (например, конструкции «зелёной крыши»).

7. Оценка перспективы использования рассматриваемых технологий деревянного домостроения в рамках концепций зданий с низким энергопотреблением и пассивных зданий.

8. Оценка и сравнение различных систем отопления и вентиляции, альтернативных источников энергии и систем «умного дома».

Список литературы

1. #5: Balloon frame construction (1833) // Chicago Tribune. NOV 19, 2013. [Chicago], 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chicagotribune.com/business/blue-sky/chi-top-20-countdown-innovation-05-bsi-htmlstory.html>. (дата обращения: 30.10.2020).
2. BREAM / Building Research Establishment Ltd. [Watford], 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.breeam.com/>. (дата обращения: 30.10.2020).
3. DGNB / German Sustainable Building Council. [Stuttgart], 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dgnb.de/en/index.php>. (дата обращения: 30.10.2020).
4. FLAXAN. Натуральные утеплители / ООО «Тира». [Москва], 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://tira.su/>. (дата обращения: 30.10.2020).
5. GREENBOOK / EcoStandard group. [Москва], 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://greenbook.pro/>. (дата обращения: 30.10.2020).
6. ISOROC. Теплоизоляция минераловатная / SAINT-GOBEIN. [Москва], 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.isoroc.ru/>. (дата обращения: 30.10.2020).
7. LEED v4.1 / U. S. Green Building Council. [Washington], 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.usgbc.org/leed/v41>. (дата обращения: 30.10.2020).
8. *Roaldset E.* More about Green construction // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2019. С. 94—97.
9. Sustainable energy solutions for buildings in the High North: proceedings of the workshop: June 2011, Arkhangelsk, Russia / В. R. Sørensen, Y. Varfolomeev (ed.), Сев. (Аркт.) федер. ун-т. The Research Council of Norway, Høgskolen i Narvik. Arkhangelsk: KIRA (КИРА), 2011. 126 p.
10. *Sveen S. E.* Energy efficient wooden module houses for North — West Russia — project period 2003—2007 // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2019. С. 80—84.
11. *Varfolomeev Y., Roaldset E.* The development of an experimental model of wooden modular house for the north of Russia // Proc., Sustainable energy solutions for the High North, Arkhangelsk, Russia / SAFU, The Research Council of Norway, Høgskolen i Narvik. Arkhangelsk: KIRA, 2011. P. 87—89.
12. *Varfolomeev Y., Sveen S. E.* Analysis of thermal investigations at module house built in Arkhangelsk // Proc., Sustainable energy solutions for the High North, Arkhangelsk, Russia / SAFU, The Research Council of Norway, Høgskolen i Narvik. Arkhangelsk: KIRA, 2011. P. 29—35.
13. АКОТЕРМ. Профессиональная теплоизоляция от производителя / ЧП «Акотерм Березино», ООО «Акотерм Флакс». [Беларусь], сор. 2015—2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://akoterm.com/ru>. (дата обращения: 30.10.2020).
14. *Кузьменков А. А., Емельянова Е. Г., Александрова Т. О.* Исследование предложения строительных компаний на рынке малоэтажного строительства Республики Карелия // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции. 2014. С. 81—87.
15. *Баранов В. А., Шипилов А. Г., Яценко Ю. П.* Идеи купольного жилого дома // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. 2014. № S4—9.
16. *Трусов О. А., Борисов А. Ю., Кузьменков А. А.* Технология строительства быстровозводимых каркасно-монолитных панельно-деревянных зданий // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2015. С. 32—38.
17. *Буряченко С. Ю., Попова О. М.* История и перспективы развития деревянного домостроения в арктических городах (на примере Мурманской области) // Деревянное

малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2020. С. 130—139.

18. *Buryachenko S. Y., Karachentseva I. M., Voronin Z. A., 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: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. Т. 539, no. 1. P. 012—024.
19. *Буряченко С. Ю., Васильева Ж. В.* Базовые принципы концепции «зелёного строительства» // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2018. № 1. С. 12—15.
20. *Вильякайнен М.* Индивидуальный дом «ПЛАТФОРМА»: проектирование и строительство: справочник. Финляндия: Пууинфо, 1999. 136 с.
21. *Галанин А. В.* Традиционные типы домов на Руси. 2009 // Вселенная живая: Инициативный авторский проект. сор. 2004—2020. Раздел сайта «История Северной Руси» [Электронный ресурс]. URL: <http://ukhtoma.ru/history3.htm>. (дата обращения: 30.10.2020).
22. *Галанин А. В., Беликович А. В.* Русский дом. 2011 // Вселенная живая: Инициативный авторский проект. сор. 2004—2020. Раздел сайта «История Северной Руси» [Электронный ресурс]. URL: http://ukhtoma.ru/history3_dom.htm. (дата обращения: 30.10.2020).
23. Господдержка деревянного домостроения // ЛР. Лесной регион. [Архангельск], 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://lesregion.ru/main/4326-gospodderzhka-derevyannogo-domostroeniya.html>. (дата обращения: 30.10.2020).
24. ГОСТ 20022.2-2018. Защита древесины. Классификация: межгосударственный стандарт: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 мая 2018 г. № 109-П) // Кодекс. Техэксперт: програм. комплекс: представитель в Республике Карелия ООО «Кодекс ИТ». [Петрозаводск], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200159812>. (дата обращения: 30.10.2020).
25. ГОСТ Р 54964-2012. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости: Национальный стандарт Российской Федерации: утв. и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 авг. 2012 г. № 257-ст. // Кодекс. Техэксперт: програм. комплекс: представитель в Республике Карелия ООО «Кодекс ИТ». [Петрозаводск], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54964-2012>. (дата обращения: 30.10.2020).
26. *Девятникова Л. А., Емельянова Е. Г., Кузьменков А. А., Симонова А. А.* Исследование технико-экономических параметров при выборе технологии возведения ограждающих конструкций индивидуальных жилых домов // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 4 (149).
27. *Девятникова Л. А., Симонова А. А.* К вопросу о выборе наружных стен индивидуальных жилых домов // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сб. ст. научно-практич. конф. (23—27 июня 2014 г.). 2015. № 2. С. 17.
28. *Кузьменков А. А., Емельянова Е. Г.* Малоэтажное домостроение в решении жилищной проблемы в Республике Карелия // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. С. 19—25.
29. *Емельянова Е. Г., Симонова А. А.* Экономическое сравнение вариантов ограждающих конструкций при возведении малоэтажных жилых домов // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2015. С. 15—20.

30. Жильё по-новому: как развивается рынок загородного домостроения в Карелии // Карелинформ: сетевое изд. «Карелинформ»; ООО «ПремьерМедиаИнвест». [Москва], 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://karelinform.ru/article/general/31-07-2020/zhilie-povomuu-kak-razvivaetsya-rynok-zagorodnogo-domostroeniya-v-karelii>. (дата обращения: 30.10.2020).
31. *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.
32. *Караченцева Я. М.* Анализ типов малоэтажных зданий, строящихся в Мурманской области // Наука и образование в Арктическом регионе. 2019. С. 411—414.
33. *Караченцева Я. М.* Обоснование выбора систем инженерного обеспечения экспериментального деревянного малоэтажного здания // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции. 2020. С. 36—43.
34. *Кувшинов Д. А.* Тестирование системы мониторинга температуры и относительной влажности воздуха экспериментального деревянного дома // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2020. С. 51—58.
35. *Кувшинов Д. А., Кузьменков А. А.* Система мониторинга температуры и влажности воздуха экспериментального каркасного деревянного дома // EUROPEAN RESEARCH. 2020. С. 36—40.
36. *Кузьменков А. А., Караченцева Я. М., Дербенёв А. В.* Строительство экспериментального деревянного малоэтажного здания // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2020. С. 32—50.
37. *Кузьменков А. А., Тихонов Е. А., Колесников Г. Н.* Thermal Bridges in Wall Panels of Wooden Frame Houses // Lecture Notes in Civil Engineering. Springer, Cham, 2020. Vol. 70. P. 329—336.
38. *Кузьменков А. А., Караченцева Я. М., Буряченко С. Ю.* Обоснование выбора материала ограждающих конструкций стен экспериментального объекта для реализации международного проекта КО 1089 «"Зелёное строительство" в Арктическом регионе» (Green Arctic Building — GRAB) // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2019. С. 106—111.
39. *Кузьменков А. А., Симонова А. А.* Сравнение вариантов ограждающих конструкций при возведении малоэтажных жилых домов по технологическим показателям // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции. 2016. С. 50—57.
40. *Кузьменков А. А., Байкова А. А.* Сравнение технологий устройства ограждающих конструкций стен из штучных материалов (на примере малоэтажного строительства в условиях Республики Карелия) // Resources and Technology. 2019. Т. 16, № 2.
41. *Кузьменков А. А., Девятникова Л. А.* Техничко-экономическая оценка ограждающих конструкций стен малоэтажных жилых зданий // Наука и образование в Арктическом регионе. 2016. С. 92—99.
42. *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.
43. *Кузьменков А. А., Емельянова Е. Г.* Тенденции развития жилищного строительства в Республике Карелия // Фундаментальные исследования. 2013. Т. 1, № 8.
44. *Кузьменков А. А.* Перспективы деревянного домостроения на территории Республики Карелия // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. 2016. С. 101—105.

45. Кузьменков А. А. Техничко-экономические показатели эффективности применения ограждающих конструкций стен из легкобетонных блоков в малоэтажном строительстве // Наука и образование в Арктическом регионе. 2016. С. 85—91.
46. Соломенник А. Лёгкий каркас — история возникновения и развития // SOLOMENIK.RU: Строю деревянный дом правильно, руки растут из плечей. [Санкт-Петербург] [Электронный ресурс]. URL: <http://solomenik.ru/stati/lyogkiy-karkas-istoriya-vozniknoveniya-i-razvitiya>. (дата обращения: 30.10.2020).
47. Литвинова Э. В., Маслак А. С., Попов А. Г., Гармаш М. А. Конструктивные особенности энергоэффективного здания — купольное строение // Экономика строительства и природопользования. 2019. № 3 (72).
48. Овсянников С. И., Родионов А. С. Обоснование эффективных строений для Крайнего Севера // Вестник науки и образования северо-запада России. 2017. Т. 3, № 1.
49. Орфинский В. П., Гришина И. Е. Традиционный карельский дом. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского гос. ун-та, 2009. 480 с.
50. ПНСТ 349-2019. «Зелёные» стандарты. «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности и «зелёная» инновационная продукция. Термины и определения: предварительный Национальный стандарт Российской Федерации: утв. и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 янв. 2019 г. № 2-пнст. // Кодекс. Техэксперт: програм. комплекс: представитель в Республике Карелия ООО «Кодекс ИТ». [Петрозаводск], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200162233>. (дата обращения: 30.10.2020).
51. ПНСТ 350-2019. «Зелёные» стандарты. «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности. Классификация: предварительный Национальный стандарт Российской Федерации: утв. и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 янв. 2019 г. № 3-пнст. // Кодекс. Техэксперт: програм. комплекс: представитель в Республике Карелия ООО «Кодекс ИТ». [Петрозаводск], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200162234>. (дата обращения: 30.10.2020).
52. ПНСТ 351-2019. «Зелёные» стандарты. «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности. Критерии отнесения: предварительный Национальный стандарт Российской Федерации: утв. и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 янв. 2019 г. № 4-пнст. // Кодекс. Техэксперт: програм. комплекс: представитель в Республике Карелия ООО «Кодекс ИТ». [Петрозаводск], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200162235>. (дата обращения: 30.10.2020).
53. ПНСТ 352-2019. «Зелёные» стандарты. «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности. Оценка соответствия требованиям «зелёных» стандартов. Общие положения: предварительный Национальный стандарт Российской Федерации: утв. и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 янв. 2019 г. № 5-пнст. // Кодекс. Техэксперт: програм. комплекс: представитель в Республике Карелия ООО «Кодекс ИТ». [Петрозаводск], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200162236>. (дата обращения: 30.10.2020).
54. Попова Е. И., Бащенко Н. Н., Сорвачёв А. И., Чуприна О. Д. Поверхность купола как элемент энергоэффективности ограждающих конструкций // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 2 (20).
55. Проект стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года // Стратегия управления государством. Стратегия 24 / Соединённая система информации — ЮСИ. [Сургут], сор. 2010—2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://strategy24.ru/rf/projects/strategiya-razvitiya-stroitelnoy->

otrasli-i-zhilishchnokommunalnogo-khozyaystva-rossiyskoy-federatsii-na-period-do-2030-goda. (дата обращения: 15.07.2019).

56. Система добровольной сертификации / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. [Москва], 2020 [Электронный ресурс]. URL: http://www.mnr.gov.ru/activity/directions/zelenye_standarty/sistema_dobrovolnoy_sertifikatsii/. (дата обращения: 30.10.2020).
57. СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011. «Зелёное строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания: стандарт Национального объединения строителей: принят решением Совета Национального объединения строителей, протокол от 14 окт. 2011 г. № 20 // НП АВОК. [Москва], сор. 1991—2020 [Электронный ресурс]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/norm_doc/norm/sto-nostroy-2-35-4.pdf. (дата обращения: 30.10.2020).
58. СТО НОСТРОЙ 2.35.68-2012. «Зелёное строительство». Здания жилые и общественные. Учёт региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания: стандарт Национального объединения строителей: принят решением Совета Национального объединения строителей, протокол от 22 июня 2012 г. № 30 // Ассоциация «Общероссийская негосударственная некоммерческая организация — общероссийское отраслевое объединение работодателей «Национальное объединение саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих строительство». [Москва], сор. 2009—2020 [Электронный ресурс]. URL: http://www.nostroy.ru/department/metodolog/otdel_tehnicoskogo_regulir/sto/%D0%A1%D0%A2%D0%9E%20%D0%9D%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%9E%D0%99%202.35.68-2012.pdf. (дата обращения: 30.10.2020).
59. Стратегия развития лесного комплекса Республики Карелия до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Республики Карелия от 29 марта 2019 г. № 235р-П // Кодекс. Техэксперт: програм. Комплекс / АО «Кодекс». [Санкт-Петербург], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/465420992>. (дата обращения: 30.10.2020).
60. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сент. 2018 г. № 1989-р // Правительство России: Сайт Правительства. [Москва], сор. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIXID77KCTL.pdf>. (дата обращения: 30.10.20).
61. Шанько П. С., Шишкина А. В., Калошина С. В. Методы строительства и преимущества купольных зданий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 2. С. 341—348.
62. Эковата в Карелии / ООО «Эковата-Карелия». [Петрозаводск], 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://ecovata.karelia.ru/>. (дата обращения: 30.10.2020).
63. Элькина М. Ричард Бакминстер Фуллер: многогранник как предчувствие // Architectural fantasy. 23 июня 2014 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://artelectronics.ru/posts/richard-bakminster-fuller-mnogogrannik-kak-predchuvstvie>. (дата обращения: 30.10.2020).

References

1. #5: Balloon frame construction (1833). *Chicago Tribune*, NOV 19, 2013. [Chicago], 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://www.chicagotribune.com/business/blue-sky/chi-top-20-countdown-innovation-05-bsi-htmlstory.html>. (accessed: 30.10.2020).
2. BREAM / Building Research Establishment Ltd. [Watford], 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://www.breem.com/>. (accessed: 30.10.2020).

3. DGNB / German Sustainable Building Council. [Stuttgart], 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://www.dgnb.de/en/index.php>. (accessed: 30.10.2020).
4. FLAXAN. Natural insulation. Nature warms better. [Moscow], 2020 [Electronic resource]. Available at: <http://tira.su/>. (accessed: 30.10.2020).
5. GREENBOOK / EcoStandard group. [Moscow], 2020 [Electronic resource]. Available at: <http://greenbook.pro/>. (accessed: 30.10.2020).
6. ISOROC. Mineral wool thermal insulation / SAINT-GOBEIN. [Moscow], 2019 [Electronic resource]. URL: <https://www.isoroc.ru/>. (accessed: 30.10.2020).
7. LEED v4.1 / U. S. Green Building Council. [Washington], 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://www.usgbc.org/leed/v41>. (accessed: 30.10.2020).
8. Roaldset E. More about Green construction. In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*, 2019, pp. 94—97. (In Russ.)
9. Sørensen B. R., Varfolomeev Y. (ed.). *Sustainable energy solutions for buildings in the High North: proceedings of the workshop: June 2011, Arkhangelsk, Russia* / SAFU, The Research Council of Norway, Høgskoleni Narvik. Arkhangelsk, KIRA, 2011. 126 p.
10. Svein S. E. Energy efficient wooden module houses for North — West Russia — project period 2003—2007. In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*, 2019, pp. 80—84. (In Russ.)
11. Varfolomeev Y., Roaldset E. The development of an experimental model of wooden modular house for the north of Russia. *Proc., Sustainable energy solutions for the High North, Arkhangelsk, Russia* / SAFU, The Research Council of Norway, Høgskoleni Narvik, Arkhangelsk, KIRA, 2011, pp. 87—89.
12. Varfolomeev Y., Svein S. E. Analysis of thermal investigations at module house built in Arkhangelsk. *Proc., Sustainable energy solutions for the High North, Arkhangelsk, Russia* / SAFU, The Research Council of Norway, Høgskoleni Narvik. Arkhangelsk, KIRA, 2011, pp. 29—35.
13. AKOTHERM. Professional thermal insulation from the manufacturer 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://akotherm.com/ru>. (accessed: 30.10.2020).
14. Kuzmenkov A. A., Emelyanova E. G., Alexandrova T. O. Research of the supply of construction companies on the low-rise construction market of the Republic of Karelia. In *resource-saving technologies, materials and constructions*, 2014, pp. 81—87. (In Russ.)
15. Baranov V. A., Shipilov A. G., Yatsenko Yu. P. Ideas of a domed residential building. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2014, no. S4-9. (In Russ.)
16. Trusov O. A., Borisov A. Yu., Kuzmenkov A. A. Technology of construction of prefabricated frame-monolithic panel-wooden buildings. In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*, 2015, pp. 32—38. (In Russ.)
17. Buryachenko S. Yu., Popova O. M. History and prospects for the development of wooden housing construction in Arctic cities (on the example of the Murmansk region). In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*, 2020, pp. 130—139. (In Russ.)
18. Buryachenko S. Y., Karachentseva I. M., Voronin Z. A., 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»). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, July, vol. 539, no. 1, pp. 012—024. IOP Publishing.
19. Buryachenko S. Yu., Vasilieva Zh. V. Basic principles of the concept of «green building». *Proceedings of higher educational institutions. Arctic region*, 2018, no. 1, pp. 12—15. (In Russ.)
20. Viljakainen M. *Individual house «PLATFORM»*. Reference book design and construction. Puuinfo Joint Stock Company, Finland, 1999, 136 p. (In Russ.)

21. Galanin A. V. History of Northern Russia 2009. *Traditional types of houses in Russia* [Electronic resource]. Available at: <http://ukhtoma.ru/history3.htm>. (accessed: 30.10.2020).
22. Galanin A. V., Belikov A. V. History of Northern Russia 2009. *Russian house* [Electronic resource]. Available at: http://ukhtoma.ru/history3_dom.htm. (accessed: 30.10.2020).
23. LR. Forest region. 2020. *State support for wooden housing construction* [Electronic resource]. Available at: <http://lesregion.ru/main/4326-gospodderzhka-derevyannogo-domostroeniya.html>. (accessed: 30.10.2020).
24. GOST 20022.2-2018. Wood protection. Classification. [www.docs.cntd.ru/document/1200159812](http://docs.cntd.ru/document/1200159812) [Electronic resource]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200159812>. (accessed: 30.10.2020).
25. GOST R 54964-2012. Conformity assessment. Environmental requirements for real estate objects [Electronic resource]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54964-2012>. (accessed: 30.10.2020).
26. Devyatnikova L. A., Emelyanova E. G., Kuzmenkov A. A., Simonova A. A. Study of technical and economic parameters when choosing a technology for the construction of enclosing structures for individual residential buildings. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2015, no. 4 (149). (In Russ.)
27. Devyatnikova L. A., Simonova A. A. On the question of choosing the outer walls of individual residential buildings. In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies: collection of articles of the scientific-practical conference (June 23—27, 2014)*, 2015, no. 2, p. 17. (In Russ.)
28. Kuzmenkov A. A., Emelyanova E. G. Low-rise housing construction in solving the housing problem in the Republic of Karelia. *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*. Petrozavodsk: Publishing house of PetrSU, 2013, pp. 19—25. (In Russ.)
29. Emelyanova E. G., Simonova A. A. Economic comparison of options for enclosing structures in the construction of low-rise residential buildings. In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*. 2015, pp. 15—20. (In Russ.)
30. Karelinform. 2020. Housing in a new way: how the market of suburban housing construction in Karelia is developing [Electronic resource]. Available at: <https://karelinform.ru/article/general/31-07-2020/zhilie-po-novomu-kak-razvivaetsya-rynok-zagorodnogo-domostroeniya-v-karelii>. (accessed: 30.10.2020).
31. Zaitseva M. I., Koshelev S. N., Kuzmenkov A. A. An integrated approach to the construction of buildings with reduced energy consumption for heating. *Resources and Technology*, 2016, T. 13, no. 3. (In Russ.)
32. Karachentseva Ya. M. Analysis of the types of low-rise buildings under construction in the Murmansk region. In *Science and Education in the Arctic Region*, 2019, pp. 411—414. (In Russ.)
33. Karachentseva Ya. M. Justification of the choice of engineering support systems for an experimental low-rise wooden building. In *Resource-saving technologies, materials and structures*, 2020, pp. 36—43. (In Russ.)
34. Kuvshinov D. A. Testing the monitoring system of temperature and relative humidity of the experimental wooden house. In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*, 2020, pp. 51—58. (In Russ.)
35. Kuvshinov D. A., Kuzmenkov A. A. Monitoring system of temperature and humidity of air of experimental frame wooden house. In *EUROPEAN RESEARCH*, 2020, pp. 36—40. (In Russ.)
36. Kuzmenkov A. A., Karachentseva Ya. M., Derbenev A. V. Construction of an experimental low-rise wooden building. In *Wooden low-rise housing construction: economics, architecture and resource-saving technologies*, 2020, pp. 32—50. (In Russ.)

37. Kuzmenkov A. A., Tikhonov E. A., Kolesnikov G. N. Thermal Bridges in Wall Panels of Wooden Frame Houses. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020, vol. 70, pp. 329—336. (In Russ.)
38. Kuzmenkov A. A., Karachentseva Ya. M., Buryachenko S. Yu. Justification of the choice of the material of the walls of the experimental object for implementation of the international project KO 1089 «Green construction in the Arctic region» (Green Arctic building — GRING). *In Wooden low-rise housing: economics, architecture and resource-saving technologies*, 2019, pp. 106—111. (In Russ.)
39. Kuzmenkov A. A., Simonova A. A. Comparison of options for enclosing structures for the construction of low-rise residential buildings by technological indicators. *In resource-saving technologies, materials and constructions*, 2016, pp. 50—57. (In Russ.)
40. Kuzmenkov A. A., Baikova A. A. Comparison of technologies for constructing enclosing structures of walls made of piece materials (on the example of low-rise construction in the conditions of the Republic of Karelia). *Resources and Technology*, 2019, no. 16 (2). (In Russ.)
41. Kuzmenkov A. A., Devyatnikova L. A. Technical and economic assessment of the enclosing structures of the walls of low-rise residential buildings. *In science and education in the Arctic region*, 2016, pp. 92—99. (In Russ.)
42. Kuzmenkov A. A., Titova S. A. Technical and economic comparison of wall designs for low-rise residential buildings for the northern conditions of the Republic of Karelia. *Resources and Technology*, 2016, no. 13 (4). (In Russ.)
43. Kuzmenkov A. A., Emelyanova E. G. Trends in the development of housing construction in the Republic of Karelia. *Basic Research*, 2013, no. 1 (8). (In Russ.)
44. Kuzmenkov A. A. Prospects for wooden housing construction in the Republic of Karelia. *In wooden low-rise housing: economy, architecture and resource-saving technologies*, 2016, pp. 101—105. (In Russ.)
45. Kuzmenkov A. A. Technical and economic indicators of the effectiveness of the use of enclosing structures of walls made of lightweight concrete blocks in low-rise construction. *In science and education in the Arctic region*, 2016, pp. 85—91. (In Russ.)
46. SOLOMENIK.RU. Light frame — the history of origin and development [Electronic resource]. Available at: <http://solomenik.ru/stati/lyogkiy-karkas-istoriya-vozniknoveniya-i-razvitiya>. (accessed: 30.10.2020).
47. Litvinova E. V., Maslak A. S., Popov A. G., Garmash M. A. Construction features of energy efficient building-dome building. *Economics of construction and environmental management*, 2019, no. 3 (72). (In Russ.)
48. Ovsyannikov S. I., Rodionov A. S. Justification of effective structures for the Far North. *Bulletin of Science and Education of North-West Russia*, 2017, T. 3, no. 1. (In Russ.)
49. Orfinsky V. P., Grishina I. E. *Traditional Karelian house*. Publishing house of the Petrozavodsk State University. Russia, 2009. 480 p. (In Russ.)
50. PNST 349-2019. «Green» standards. «Green» technologies of the living environment and «green» innovative products. Terms and Definitions [Electronic resource]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200162233>. (accessed: 30.10.2020).
51. PNST 350-2019. «Green» standards. «Green» technologies of the living environment. Classification [Electronic resource]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200162234>. (accessed: 30.10.2020).
52. PNST 351-2019. «Green» standards. «Green» technologies of the living environment. Assignment criteria. [Electronic resource]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200162235>. (accessed: 30.10.2020).
53. PNST 352-2019. «Green» standards. «Green» technologies of the living environment. Assessment of compliance with the requirements of «green» standards. General Provisions.

- [Electronic resource]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200162236>. (accessed: 30.10.2020).
54. Popova E. I., Baschenko N. N., Sorvachev A. I., Chuprina O. D. The surface of the dome as an element of the energy efficiency of the enclosing structures. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*, 2017, no. 2 (20). (In Russ.)
55. Draft strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation for the period up to 2030. 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://strategy24.ru/rf/projects/strategiya-razvitiya-stroitelnoy-otrasli-i-zhilishchnokommunalnogo-khozyaystva-rossiyskoy-federatsii-na-period-do-2030-goda>. (accessed: 15.07.2019).
56. Voluntary certification system. 2020 [Electronic resource]. Available at: http://www.mnr.gov.ru/activity/directions/zelenye_standarty/sistema_dobrovolnoy_sertifikatsii/. (accessed: 30.10.2020).
57. STO NOSTROY 2.35.4-2011. «Green building». Residential and public buildings. Habitat sustainability rating system [Electronic resource]. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/norm_doc/norm/sto-nostroy-2-35-4.pdf. (accessed: 30.10.2020).
58. STO NOSTROY 2.35.68-2012. «Green building». Residential and public buildings. Taking into account regional features in the rating system for assessing the sustainability of the habitat. [Electronic resource]. Available at: http://www.nostroy.ru/department/metodolog/otdel_tehnicoskogo_regulir/sto/%D0%A1%D0%A2%D0%9E%20%D0%9D%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%9E%D0%99%202.35.68-2012.pdf. (accessed: 30.10.2020).
59. Development strategy of the forestry complex of the Republic of Karelia until 2030. 2020 [Electronic resource]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/465420992>. (accessed: 30.10.2020).
60. Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030. 2020. [Electronic resource]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf>. (accessed: 30.10.20).
61. Shanko P. S., Shishkina A. V., Kaloshina S. V. Construction methods and advantages of domed buildings. *Modern technologies in construction. Theory and Practice*, 2016, vol. 2, pp. 341—348. (In Russ.)
62. Eco cotton wool in Karelia 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://ecovata.karelia.ru/>. (accessed: 30.10.2020).
63. Architectural fantasy magazine. Richard Buckminster Fuller: The Polyhedron as Foreboding. Author: Maria Elkina. 2020 [Electronic resource]. Available at: <https://artelectronics.ru/posts/richard-bakminster-fuller-mnogogrannik-kak-predchuvstvie>. (accessed: 30.10.2020).