

УДК 674.048

О. К. Леонович, А. Ю. Короб

Белорусский государственный технологический университет

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ДЕРЕВЯННЫХ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

На данный момент в мире существует большое количество разных деревянных конструкций. Современные тенденции в деревянном домостроении направлены на экологичность, доступность материала, удобство в обработке и легкость при сборке. В области строительства деревянные конструкции разделяют по критериям: строительство из бревен и бруса, сооружение домов из деревянных массивных элементов, каркасно-панельная технология их открытых и (или) закрытых элементов, модульное домостроение, комбинированная технология строительства зданий. Перспективными направлениями в строительстве являются разные виды каркасного домостроения. Положительными качествами каркасно-панельного домостроения являются быстрая сборка конструкций нового жилого дома, высокая степень их отделочной готовности. Качество конструкций и предварительно собранных элементов, изготовленных промышленным способом, значительно выше, чем у тех, которые были изготовлены в условиях строительных площадок. В современных технологических условиях положительные качества каркасно-панельного домостроения становятся вполне применимыми для малоэтажного и индивидуального жилья или зданий.

В данной работе обоснована необходимость исследования и развития технологий производства деревянных конструкций в строительстве малоэтажных зданий. Рассмотрены уже существующие и применяемые технологии в строительстве деревянного домостроения. Проведен анализ исследований на тему «Технологии деревянных конструкций», описаны преимущества и недостатки конструкций.

Цель работы – необходимость нахождения оптимальных деревянных конструкций для деревянного домостроения с высокими эксплуатационными и экологическими свойствами.

Результаты полученных исследований могут быть использованы при разработке деревянных конструкций из перекрестно сращенной древесины.

Ключевые слова: деревянное домостроение, строительные конструкции, физико-механические свойства, прочность.

Для цитирования: Леонович О. К., Короб А. Ю. Перспективные направления в строительстве деревянных малоэтажных зданий // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 188–198.

O. K. Leonovich, A. Yu. Korob

Belarusian State Technological University

PROMISING DIRECTIONS IN THE CONSTRUCTION OF WOODEN LOW-RISE BUILDINGS

At the moment, there are a large number of different wooden structures in the world. Modern trends in wooden house construction are aimed at environmental friendliness, reliability of the material, ease of processing and ease of assembly. In the field of construction, wooden structures are divided according to criteria: construction of logs and timber, construction of houses from massive wooden elements, frame-panel technology of their open and/or closed elements, modular housing construction, combined technology of building construction. Promising areas in construction are different types of frame housing construction the positive qualities of frame-panel housing construction are the rapid assembly of structures of a new residential building, a high degree of finishing readiness of structures. The quality of structures and pre-assembled elements manufactured in an industrial way is significantly higher than those that were manufactured in the conditions of construction sites. In modern technological conditions, the positive qualities of frame-panel housing construction are becoming quite applicable for low-rise and individual housing or buildings.

This paper substantiates the need for research and development of technologies for the production of wooden structures in the construction of low-rise buildings. The existing and applied technologies in the construction of wooden house construction were considered. The analysis of research on the technology of wooden structures is carried out, the advantages and disadvantages of structures are described.

The purpose of the work is the need to find optimal wooden structures for de-revyan housing construction with high operational and environmental properties.

The results of the obtained studies can be used in the development of wooden structures with cross-fused wood.

Keywords: wooden house construction, building structures, physical and mechanical properties, strength.

For citation: Leonovich O. K., Korob A. Yu. Promising directions in the construction of wooden low-rise buildings. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 1 (252), pp. 188–198 (In Russian).

Введение. В наши дни многие предпочитают жить в собственных домах, сооруженных по индивидуальным проектам. Повышенной популярностью пользуются здания из дерева, поражающие своим комфортом и изысканной естественностью. Даже в прошлом в нашей стране, славящейся традициями древнего зодчества, воздвигали деревянные дома различных стилей, серьезно отличающиеся от привычного русского стиля. Это было обусловлено необъятными просторами и разноплеменностью. Современные технологии позволяют строить дома из дерева на качественно новом уровне, не ограничивающем выбор дизайна. Вот почему, прежде чем сделать выбор, какой именно должна быть постройка будущего жилища, следует ознакомиться с разнообразными вариантами конструкций, характерными для разных стран, хотя их национальная стилистика считается очень символической. Она рассматривает не исторический опыт, а лишь главные направления [1–6].

О высоких потребительских качествах древесины в строительстве известно с незапамятных времен. В процессе эксплуатации изделия и конструкции из дерева показали человеку, что они надежны, долговечны и доступны в обработке при наличии элементарных навыков. Если в самой сжатой форме перечислить положительные качества древесины, то следует сказать о ее малой теплопроводности, довольно высокой механической прочности, устойчивости к воздействию солей, кислот, масел, легкости обработки. Древесина «дышит», а значит, способна к саморегуляции, хорошо пропитывается защитными растворами, приобретает при этом высокую стойкость к загниванию. Природный рисунок и окраска, различные по цветам и оттенкам у древесины разных пород, позволяют рассматривать изделия из дерева как ценный материал для отделочных и высокохудожественных работ [7–9].

Сегодня деревянное строительство переживает очередной этап эволюции. В его основе лежат новые технологические достижения, такие как системы предварительной сборки, информационное моделирование и появление современных композитных материалов на основе древесины.

Все тенденции развития домостроения в мире направлены на стремление максимально увеличить степень заводской готовности конструкций. Только такой подход позволит снизить длительность порой неуправляемых строительных процессов на площадке, обеспечить контроль качества, заранее предотвратить неоправданные затраты на строительство. Современные технологии сушки, обработки, склеивания и защиты древесины от воздействия окружающей среды еще сильнее увеличивают преимущество строительного материала – дерева. А про деревянные

дома, произведенные в Финляндии, – ведущей страны мира по деревообработке и качеству древесины северного леса – можно смело сказать, что они лучшие в мире [10–14].

Основная часть. При производстве деревянных домов необходимо в обязательном порядке учитывать следующее: используемые клееные конструктивные изделия не должны выделять токсичные вещества, причем используемые смолы должны быть трудногорючими; теплоизоляционные материалы должны быть экологически безопасными; деревянные конструкции в обязательном порядке должны быть подвергнуты обработке экологически безопасными огнебиозащитными средствами; при строительстве домов следует использовать древесину после технической сушки [15–17].

Для расширения производства деревянных домов необходимо решить основные задачи: увеличить объем государственной поддержки для развития производства и индивидуального строительства деревянных домов; увеличить объем рекламной и просветительской работы о преимуществах деревянного домостроения; активизировать научные разработки по созданию огнестойких клеев для древесины и плитных материалов; использовать безопасные огнебиозащитные средства.

В ограждающих и внутренних стеновых панелях и перекрытиях домов каркасного типа не следует допускать использования теплоизоляционных материалов, выделяющих фенольные вещества, в том числе и стекловаты [18–20].

В Республике Беларусь доля деревянного домостроения занимает менее 5%, несмотря на то, что имеются инновационные технологии по производству деревянных щитовых конструкций для их изготовления. В Канаде, Западной Европе их доля, особенно деревянных домов каркасного типа, достигает 80%.

В настоящее время строительство деревянных зданий и сооружений осуществляется из следующих материалов и конструкций.

1. Бревно, как строительный материал в домостроении, используется с давних времен. В строительстве используют окоренные и оцилиндрованные бревна из хвойных и лиственных пород [21].

Одна из главных причин, по которым люди выбирают бревна для строительства своих жилищ, – их потрясающий внешний вид. Бревенчатый дом дает возможность наполнить повседневное проживание особой атмосферой уюта и эстетизма. Однако такие дома порой стоят довольно дорого, а также обладают немалой усадкой, поэтому срок их эксплуатации сравнительно невелик. Также есть определенные тонкости при строительстве, которые нужно соблюдать. Это создание так называемого переруба – скрещивания

бревен в углах здания. Это дает возможность компенсировать неодинаковую теплопроводимость бревен вдоль и поперек волокон, а также утеплить углы.

Внедрение традиций бревенчатых домов в строительстве нашего века было бы очень интересно не только для архитекторов и индустрии бревенчатых домов, но и для решения проблем, связанных с изменением климата, поскольку древесина является широко доступным местным материалом с отрицательным углеродным следом [22–24].

2. Брус, как материал, имеет одно явное преимущество перед бревенчатыми домами – ввиду точности изготовления брусья плотно прилегают друг к другу, не оставляя зазоров и пространства для проникновения воздуха. Такие дома делают из профилированного или клееного бруса.

Первый представляет собой обработанное и подогнанное под нужную форму цельное бревно. Он прекрасно подходит для малоэтажного строительства и не содержит никаких вредных для человека веществ. Клееный же брус изготавливается из тонких досок – ламелей, склеенных между собой. У такого материала есть плюс – можно самостоятельно выбрать соотношение материалов, у домов минимальная усадка, еще меньше проникает воздух снаружи.

Клееный брус прочнее и лучше подойдет для многоэтажных построек, однако он дороже. Материал практически не деформируется и не меняет свою форму. В процессе эксплуатации он не покрывается трещинами. Его поверхность – ровная и гладкая, не требующая дополнительной обработки и трудоемких и дорогостоящих отделочных работ. Кроме того, несмотря на то что клеящие составы соответствуют нормативам, по экологичности клееный брус будет проигрывать обычному профилированному бруссу или бревну, так как в них полностью отсутствуют подобные вещества. Использование клея ухудшает некоторые характеристики, в любом случае воздухообмен и циркуляция влаги происходят не в полной мере. Кроме того, микроклимат внутри помещений тоже нарушается [25–27].

3. LVL-материалы изготавливают из тонких листов древесины, которые соединены путем склеивания между собой. Сырьем для данного материала выступает сосна, лиственница, ель и другие хвойные породы древесины. Такие материалы производят двух видов.

Если слои находятся в продольном направлении волокна дерева, LVL-материал называют конструктивным. Они способны выдерживать большую нагрузку при небольших размерах поперечного сечения. Недостатком данного типа материала является скручивание краев при большой ширине панели.

При использовании LVL-материала второго вида каждый 5-й слой кладут поперек остальных волокон, что обеспечивает прочность материала и устраняет скручивание краев. Этот материал применяется для создания дверей стен и широких поверхностей в деревянном домостроении. Он подходит для строительства в любую погоду, поскольку не деформируется под влиянием внешних факторов, а также обладает следующими преимуществами: не боится агрессивных веществ и влажности; при пожаре не загорается, высокая тепло- и шумоизоляция; широкий диапазон размеров. Наряду с преимуществами данного материала присутствуют такие серьезные недостатки, как воздухопроницаемость и проблемы с экологичностью, высокое содержание формальдегида, высокая стоимость материала [28, 29].

Благодаря своим физическим свойствам и хорошим характеристикам LVL-брус используется при строительстве домов и иных сооружений, в случае необходимости создания прочных строительных конструкций: стропила и прочие конструктивные элементы кровли; каркасное домостроение; несущие конструкции зданий и сооружений сложной геометрической формы. Кроме этого, данный материал используется при изготовлении отдельных элементов строительных конструкций, которые при эксплуатации подвергаются значительным механическим нагрузкам. Это лестничные марши и проемы; арки и прочие легкие открытые конструкции, используемые при строительстве летних веранд и кафе.

LVL-брус – строительный материал, внешне напоминающий дерево. Но по своим свойствам он во многом превышает его. Создается склеиванием шпона, полученного из дерева хвойных пород.

Материал имеет однородную структуру. Легкий, не деформируется, не изменяет размеров. Не боится воды и агрессивной среды. Не пропускает тепло. Горит очень медленно. Легок в обработке. Можно монтировать без грузоподъемной техники.

Используется в основном для создания несущих конструкций. Внутри жилого дома не применяют из-за большого содержания клеящих веществ [29].

4. Каркасное деревянное домостроение. Весь каркас и конструкция дома выполняются исключительно из пиломатериалов разной формации и видов. На практике, в частности с русскоязычным населением, вопреки требованиям технологии используется древесина разной влажности – от камерной до естественной, что противоречит технологическим требованиям. Рекомендуется использовать древесину камерной сушки. Каркас составляет основу такого дома. Конструкцию составляют вертикальные стойки и горизонтальные

обвязки. После залитого предварительно фундамента устанавливают каркас, обшивают его. В других случаях для возведения дома используются готовые щиты-стены. Потом занимаются утеплением, гидроизоляцией. На данный момент одно из перспективных направлений в строительстве каркасных домов – это канадская технология [30–32].

Главным поводом для строительства жилья по канадской технологии явилось то, что необходимо было построить такой дом, чтобы в нём было комфортно и тепло жить в любое время года. Особенно этот вопрос представляет большую важность для жителей северных стран, потому что климат, в котором они проживают, в первую очередь диктует важность создания хорошей теплоемкости, да такой, чтобы она явилась отличной альтернативой технологии обогрева жилья. Потому с наступлением отопительного сезона чтобы ни использовали люди для обогрева своего дома, все равно наблюдались довольно значительные теплопотери.

Мотивацией продвижения такого строительства явилось еще и то, что сегодня современный рынок стал постоянно предлагать покупателям более усовершенствованные технологические строительные и отделочные материалы, их основные характеристики как раз-таки и направлены на сохранение тепла внутри деревянного жилья при сильных ветрах и морозах.

К положительным особенностям каркасного канадского домостроения относятся следующие показатели: строительство дома выполняется в очень короткие сроки; высокий уровень звукоизоляции и теплоизоляции; строительство может осуществляться в любое время года; незначительные трудозатраты, нет необходимости привлекать спецтехнику и дорогостоящее оборудование; можно построить дом из дерева, который может иметь разную конфигурацию и форму; коммуникационные системы можно надежно спрятать под обшивкой; стройматериалы, которые сегодня успешно применяют при возведении такого жилья, позволяют удерживать тепло [33–36].

На следующие отрицательные особенности тоже стоит обратить внимание: высокая пожароопасность, недолговечность за счет утеплителя снаружи, который следует менять раз в 30 лет; поражение спорами грибов при повышенной влажности, отсутствие дополнительного вентилирования; при недостаточной обработке утеплителя возможность распространения насекомых и грызунов в утеплителе.

Экологичность данного типа строительства из дерева может варьироваться от того, какими материалами утепляют покрытия и стены.

5. Модульное домостроение, экодома. Одним из новейших направлений в строительстве

деревянных малоэтажных зданий являются массивные многослойные деревянные панели, в которые смежные слои досок перекрестно соединены между собой при помощи клея или алюминиевых гвоздей. Для данного вида строительства существует два типа панелей, это CLT-панели и МНМ-панели.

Такая конструкция обеспечивает стабильность размеров и формы панелей, хорошие теплофизические показатели, близкие к показателям утеплителей, и экологичность. Возможность изготовления панелей большой площади позволяет использовать преимущества методов крупнопанельного домостроения по аналогии с железобетонными стеновыми панелями [37–39].

Вследствие перекрестного расположения продольных и поперечных слоев досок снижается возможность разбухания и усыхания поверхности плиты до минимума. В результате статическая предельно допустимая нагрузка на такую стеновую панель возрастает в разы. При этом она может распределяться не только в одном направлении, как например, в опорных или несущих балках, но и во всех направлениях. Благодаря многослойной структуре такие панели в плане противопожарной безопасности имеют ряд преимуществ перед каркасно-панельной и другими аналогичными технологиями.

CLT-панели – это массивный, многослойно-склеиваемый строительный материал из дерева. Панели обычно состоят из нескольких слоев, количество которых зависит от назначения первых. Благодаря проклейке крест-накрест под высоким давлением в прессе характеристики набухания и усадки древесины сокращаются до незначительного минимума.

До недавнего времени было невозможно строить высокие деревянные конструкции из-за относительной слабости традиционных методов деревянного строительства. Благодаря новому материалу появилась возможность строительства зданий средней этажности. Поскольку панели являются полуфабрикатами, то строительный процесс характеризуется меньшими затратами времени и квалифицированного труда, а также меньшим количеством отходов [40, 41].

CLT-панели – это универсальный материал, использующийся в качестве крупногабаритных элементов стен, потолков и крыш. Он также может применяться совместно с другими строительными материалами, такими как бетон, кирпич, сталь, стекло и т. д. В производстве панелей сухие доски смежных слоев склеиваются крест-накрест с помощью полиуретановых или меламиновых влагостойких клеев, не содержащих формальдегид. Такие клеевые композиции имеют соответствующие экологические сертификаты и допущены для производства несущих строительных

деревянных элементов, устанавливаемых как снаружи, так и внутри помещений, поскольку их производство соответствует классу эмиссии 0.

Как правило, плиты склеиваются из нечетного числа (от 3 до 9) слоев досок. По боковым кромкам панелей могут быть выполнены шипы и пазы для плотной стыковки смежных стен. Размеры панелей различаются в зависимости от фирмы-производителя: при высоте 3 м и толщине 278 мм длина панели может достигать 16,5 м. Для продольных и поперечных слоев CLT-панели допускается склеивать доски по длине на зубчатый шип. Хорошая несущая способность таких панелей позволяет возводить дома со стенами толщиной от 90 мм, правда, они требуют дополнительного утепления [42].

Для изготовления панелей, идущих под последующую отделку, используется низкосортная древесина только хвойных пород – ель, сосна или лиственница. Если панели используются в интерьере без отделки, тогда на наружные слои идет древесина высоких сортов. Клееные массивные панели благодаря своим большим размерам и высокой жесткости, исключая усадку и коробление, позволяют строить дома различной планировки в несколько этажей для различных климатических условий.

Материал обладает рядом положительных экологических характеристик, общих для всех изделий из древесины: более «мягкое» воздействие на окружающую среду, меньшее количество выбросов парниковых газов при производстве, удержание углерода в связанном состоянии.

В МНМ-панели, в отличие от панели CLT, где каждая из досок в ряду стыкуется на гладкую фугу, все доски по боковым кромкам имеют выборку четверти (фальца) для стыковки со смежной доской панели [43, 44].

Панели изготавливаются из тонкомерного сырья хвойных пород. Каких-либо требований к качеству сырья для производства МНМ-панелей не предъявляется, можно использовать как цельные заготовки, так и сращенные из нескольких отрезков, на качество конечного продукта это никак не повлияет. Основным фактором в производстве панелей являются хорошо высушенные заготовки, так как от качества сушки будет зависеть качество производимой панели.

А на нелицевой пластике доски по всей ее поверхности выбраны продольные пазы размерами 2×3 мм, способствующие оптимальным значениям показателей теплопроводности и воздухопроницаемости стеновой панели, в отличие от панели CLT, где между каждыми смежными слоями древесины нанесен слой клея. Смежные слои досок укладываются друг на друга крест-накрест (как в CLT), но скрепляются не клеем, а алюминиевыми гвоздями, поскольку при дальнейшей

механической обработке гвозди не представляют угрозы для дереворежущего инструмента.

Причем каждый фрагмент доски, контактирующий с другой, взаимно перпендикулярной доской, прибавляется к ней двумя гвоздями, расположенными друг от друга на возможно большем расстоянии. Следует отметить, что для стен может использоваться тонкомерное сырье разной ширины. Особых требований к качеству пиломатериалов не предъявляется – для панелей подбивается древесина, как правило, 3–4 сорта тангентального распила без сортировки [45].

Таким образом, можно сделать выводы о преимуществах и недостатках модульного строительства. Стабильная форма и размер панелей благодаря технологии производства панели имеют самую минимальную склонность к усушке или разбуханию, поэтому можно не переживать о том, что во время использования материал может изменить свою геометрию. Такой подход позволяет возвести дом всего за несколько недель. Позволяют значительно уменьшить сроки возведения постройки к тому же благодаря отсутствию усушки. Приступать к отделке дома можно сразу же после окончания стройки, нет необходимости давать время на усадку. Возможность использовать любой вариант отделки, дом из МНМ- и CLT-панелей можно красить, покрывать лаком, обкладывать плиткой или обшивать сайдингом, любой вариант отделки будет хорошо держаться и красиво смотреться. Технология производства панелей позволяет создать в помещении максимально комфортный микроклимат, материал не теряет способности дышать, а значит, в помещении всегда будет свежий воздух, но в то же время панели отлично удерживают тепло и даже в лютые морозы в доме из этого материала тепло и уютно. Многослойное строение панелей позволяет материалу выдерживать высокие нагрузки, поэтому деревянные панели можно использовать для строительства многоэтажных построек как в качестве перекрытий, так и в качестве элементов несущих конструкций. Несмотря на то, что панели изготовлены из натурального дерева, которое само по себе является очень горючим материалом, их пожаростойкость является очень высокой, во время пожара панели не теряют прочности на протяжении более чем 30 мин, а внешние их слои позволяют защитить внутренние от возгорания [46, 47].

К недостаткам данной технологии производства плит относится то, что они достаточно габаритные и тяжелые, и монтаж такого дома без подъемного крана невозможен, вследствие чего увеличиваются логистические затраты и серьезно усложняется экспорт. Уменьшение габаритов приводит к увеличению стыковых соединений в строении – потенциальных мостиков холода, усложнению конструкции и увеличению себестоимости сборки [48].

Каждая из двух рассмотренных технологий имеет свою нишу. Большие габариты прессы линии CLT предполагают выпуск крупных панелей длиной до 16 м, что характерно для строительства в первую очередь многоквартирных жилых домов повышенной этажности, общественных, офисных и производственно-технических зданий, животноводческих комплексов.

Такие предприятия должны иметь развитую инфраструктуру и значительные финансовые ресурсы, высокопроизводительное комплексное оборудование, соответствующие площади для его размещения, стабильную сырьевую базу и, естественно, кадровый потенциал. Производство панелей по технологии МНМ ориентировано на массовое строительство, в основном индивидуальных жилых домов и многоквартирных домов малой этажности, таун-хаусов, а также различных общественных зданий. Изготовление панелей МНМ может осуществляться практически в автоматическом режиме [49, 50].

Заключение. Таким образом, для дальнейшего исследования перспективных направлений в строительстве деревянных малоэтажных зданий можно выделить МНМ-панели. Следует отметить, что стены из панелей МНМ являются экологически чистыми, абсолютно безвредными как для человека, так и окружающей среды, поскольку в них используется только древесина (без применения каких-либо клеевых композиций), которая после достижения конечной влажности становится структурно прочной и устойчивой, в том числе и к насекомым-вредителям древесины.

Некоторые наиболее придирчивые и привередливые покупатели отдают предпочтение сугубо деревянным панелям МНМ, поскольку их беспокоит наличие в панели CLT небольшого количества пусть даже экологически чистого полиуретанового клея, мешающего «дышать» панели. Данное направление только начинает развиваться и до конца еще не исследовано в умеренном климате.

Список литературы

1. Леонович О. К., Божелко И. К. Концепция развития экологически безопасного деревянного домостроения в Республике Беларусь // 83-я науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–14 февр., 2019. Минск, 2019. URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html> (дата обращения: 10.10.2021).
2. Шетько С. В., Рапинчук Д. Л. Инновационная технология конструктивных элементов для деревянного домостроения из пиломатериалов низких сортов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2009. Вып. XVII. С. 112–113.
3. Леонович О. К., Божелко И. К. Концепция развития экологически безопасного деревянного домостроения в Республике Беларусь // Архитектура и строительные науки. 2019. № 1, 2 (22, 23). С. 60–64.
4. Инновационные аспекты стратегического развития лесного комплекса в области лесопользования и деревообработки // 85-я науч.-техн. конф. (с международным участием): тез. конф. Минск, 3–14 февр. 2020 г. Минск: БГТУ, 2021. URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2021-god/85-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-professorsko-prepodavatel'skogo-sostava-nauchnyh-sotrudnikov.html> (дата обращения: 10.10.2021).
5. Леонович О. К., Судникович С. П. Проблемы применения клееной многослойной древесины (КМД) при строительстве домов каркасного типа // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы VIII Междунар. Евраз. симпози., Екатеринбург, 15–17 мая 2013 г. Екатеринбург, 2013. С. 56–57.
6. Самойлов В. С. Деревянные дома. М.: Аделант, 2004. 384 с.
7. Деревянные конструкции. СНБ 5.05.01-2000 Минск: М-во архитектуры и стр-ва, 2001. 70 с.
8. Леонович О. К. Защита клееных деревянных конструкций (КДК) от биоповреждений в производственных и бытовых условиях // Мастерская «Современное строительство». 2013. № 100. С. 184–186.
9. Юдин В. М. Панельное малоэтажное здание с возможностью изменения внутреннего и внешнего пространства // Междунар. конф. по строительству, архитектуре и техносферной безопасности конф. по ВГД. Сер.: Материаловедение и инженерия. Челябинск, 2019. № 687. С. 25–26.
10. Ковальчук Л. М. Технология изготовления и долговечность деревянных конструкций // Известия вузов. Архитектура и строительство. 1988. № 8. С. 22–30.
11. Иванченко И. А. Инженерная древесина: между прошлым и будущим // Архитектура и строительство Сибири. 2003. № 11–12. С. 34–36.
12. Вдовин В. М., Карпов В. Н. Промышленные панели наружных и внутренних стен для деревянных каркасных домов. М.: ВНИИТПИ, 2001. 179 с.
13. Вдовин В. М., Карпов В. Н. Включение промышленных панелей деревянных каркасных домов с глиняным и гвоздевым соединителем конструкций. М.: ВНИИТПИ, 2008. 133 с.

14. Пяталло Ю. Бревенчатый дом – план будущих энергоэффективных зданий? // Конференция SBE16, Хельсинки, 5–9 апреля 2016 г. Хельсинки, 2016. С. 345–350.
15. Кан Х. С. Интеллектуальное производство: прошлые исследования, нынешние результаты и направления на будущее // Инженерия и производство – зеленые технологии. 2016. № 3 (1). С. 111–128.
16. Лессинг Дж., Стен Л., Экхольм А. Промышленное домостроение // Развитие и концептуальная ориентация отрасли. Строительство. Инновации. 2015. № 15 (3). С. 378–399.
17. Гулдинг Дж. С. Новые производственные и бизнес-модели в строительстве: приоритеты для будущей программы исследований // Управление проектированием и строительством. 2015. № 11 (3). С. 163–184.
18. Мемари А. М. Строительство жилых зданий: Обзор современного состояния // Архитектурная инженерия. 2014. № 20 (4). С. 21–22.
19. Жаданов В. И., Дмитриев П. А. Крупногабаритные плиты перекрытия на основе древесины для покрытия зданий // Известия вузов. Строительство. 2003. № 6. С. 3–12.
20. Влияние теплопроводных включений на надежность системы «сэндвич-панель – каркас здания» / Ю. С. Ведищева [и др.] // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 2 (78). С. 116–127.
21. Ананьин М. Ю., Ведищева Ю. С. Многофакторное численное исследование теплотехнических свойств сэндвич-панелей вертикальной разрезки // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2012. № 2. С. 80–84.
22. Будьяк А. А. Сравнительный расчет стоимости сопротивления теплопередаче каркасного здания и балки // Фундаментальные и прикладные исследования: актуальные проблемы, достижения и инновации. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2019. С. 175–177.
23. Горшков А. С., Керник А. Г. Экономическая эффективность утепления стен каркасных домов // Энергетика и экономия. 2019. № 6. С. 52–57.
24. Хасаншин Р. Р., Пивоваров С. А. Оценка сопротивления теплопередаче двухбалочной стенки // Вестник науки и образования. 2019. № 21-1 (75). С. 121–124.
25. Мацейко А. Выражение клееного бруса в конструкциях с длинными пролетами, связанных с его естественным происхождением // Отчеты по гражданской и экологической инженерии. 2020. № 50 (2). С. 55–64.
26. Кузьменков А. А. Обоснование выбора материала для облицовки стен экспериментального объекта для реализации международного проекта КО 1089 «Зеленый Арктический строительный захват» // Деревянное малоэтажное жилищное строительство: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сб. ст. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2019. С. 106–111.
27. Варфоломеев А., Свин С. Е. Анализ тепловых исследований в модульном доме, построенном в Архангельске // САФУ, Исследовательский совет Норвегии, Хегсколен и Нарвик. Архангельск: КИРА, 2011. С. 29–35.
28. Гиниятуллин М. З. Влияние различных факторов на энергоэффективность малоэтажных зданий // Современные проблемы и перспективные направления. Ростов н/Д: Профпресслист, 2019. С. 17.
29. Ковачич И., Вальтенбергер Л., Гурлис Г. Инструмент для анализа жизненного цикла фасадных систем промышленных зданий // Чистое производство. 2016. № 130. С. 260–272.
30. Сравнительная оценка удельных теплопотерь через элементы наружных стен жилых зданий, определяемых по различным методикам / А. М. Гайсин [и др.] // Жилищное строительство. 2016. № 5. С. 36–39.
31. Туснина О. А. Оценка теплозащитных свойств покрытий из сэндвич-панелей // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 269–274.
32. Корниенко С. Оценка тепловых характеристик ограждающей конструкции жилого здания // Разработка процедур. 2015. № 117 (1). С. 191–196.
33. Хрусталева Б. М. Определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 1. С. 47–59.
34. Горбачевская Е. Ю. Малоэтажное жилье 2020 – новый инструмент развития рынка арендной недвижимости // Сер. конф. ЮР: Материаловедение и инженерия, 2020. С. 47–49.
35. Варфоломеев Ю., Роальдсет Е. Разработка экспериментальной модели деревянного модульного дома для севера России // Устойчивые энергетические решения для Крайнего Севера. Архангельск, 2011. С. 87–89.
36. Влияние ограждающих конструкций стен на энергоэффективность деревянного здания (на примере международного проекта КО 1089 «Зеленое арктическое строительство») / С. Ю. Буряченко [и др.] // Арктика: история и современность: материалы 5-й Междунар. конф. Сер.: Наука о Земле и окружающей среде, Санкт-Петербург, 14 апреля 2020 г. Санкт-Петербург, 2020. С. 42–46.

37. Горбачевская Е. Ю., Безруких О. А., Сафронов Д. А. Рынок деревянного домостроения: технологические проблемы в вопросах развития // Байкальский форум – 2020. Сер.: Наука о Земле и окружающей среде. Иркутск, 2020. С. 12–13.

38. Кеппо Ю. Деревянный дом. Каркасные работы от фундамента до крыши. М.: Альфамер Паблишинг, 2006. 123 с.

39. Руденко Н. Н., Волошановская И. Н. Влияние массивности на максимальную теплопроводность. Теплового поток // Строительство. Ростов н/Д, 2001. С. 84–87.

40. Барлоу Дж. От ремесленного производства до массовой настройки. Инновационные требования к жилищному строительству // Жилищные исследования. Великобритании, Лондон, 1999. С. 23–42.

41. Деревянная архитектура // Интернет-портал кампании «HOLZ HOUSE», РФ. URL.: <https://holz-house.ru/information/blog/63-derevyannaya-arhitektura> (дата обращения 10.10.2021).

42. Штембах А. Современные технологии домостроения с применением конструкций из древесины // ЛПК Сибири 2017. № 3. URL: <https://lpk-sibiri.ru/wooden-construction/sovremennye-tehnologii-domostroeniya-s-primeneniem-konstruktsij-iz-drevesiny/> (дата обращения: 10.10.2021).

43. Деревянные дома. Достоинства и недостатки материалов для строительства // Интернет-портал, РФ. URL: <https://building-companion.ru/blog/derevyannye-doma-dostoinstva-i-nedostatki-materialov-dlya-stroitelstva/> (дата обращения: 10.10.2021).

44. Клееный брус: недостатки и достоинства // Интернет-портал, РФ. URL: <https://fb.ru/article/154933/kleenyiy-brus-nedostatki-i-dostoinstva> (дата обращения: 10.10.2021).

45. ЛВЛ брус: технология производства, размеры и области применения достоинства // Интернет-портал, РФ. URL: <https://dvabrevna.ru/derevyannyiy-dom/lvl-brus.htm> (дата обращения: 10.10.2021).

46. Franco J. T. Timber Trends: 7 To Watch for 2020 // Интернет-портал, ЕС. URL: <https://www.archdaily.com/930422/timber-trends-7-to-watch-for-2020> (дата обращения: 10.10.2021).

47. Каркасные дома. Виды. Плюсы и минусы каркасных домов // Интернет-портал, РФ. URL: <https://www.svojidoma.ru/karkasnye-doma-vidy-plyusy-i-minusy-karkasnykh-domov/> (дата обращения: 10.10.2021).

48. Волков Р. Каркасная технология строительства домов: виды домостроения, преимущества и недостатки, фото // Интернет-портал, РФ. URL: <https://m-strana.ru/articles/karkasnoe-domostroenie-preimushchestva-i-nedostatki/> (дата обращения: 10.10.2021).

49. Технология строительства каркасного дома // Интернет-портал, РФ. URL: <https://domastroika.com/tehnologiya-stroitelstva-karkasnogo-doma/> (дата обращения: 10.10.2021).

50. Многослойные панели из древесины. CLT. МНМ // Интернет-портал, РФ. URL: <https://www.forumhouse.ru/entries/13247/> (дата обращения: 10.10.2021).

References

1. Leonovich O. K., Bozhelko I. K. The concept of the development of environmentally safe wooden housing construction in the Republic of Belarus. *83-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatelskogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [83rd Scientific and Technical Conference of professors, researchers and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2019. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html> (accessed 10.10.2021) (In Russian).

2. Shetko S. V., Rapinchuk D. L. Innovative technology of structural elements for wooden house construction from low-grade lumber. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forestry and Woodworking Industry, Minsk, 2009, issue XVII, pp. 112–113 (In Russian).

3. Leonovich O. K., Bozhelko I. K. The concept of development of environmentally safe wooden house construction in the Republic of Belarus. *Arkhitektura i stroitel'nye nauki* [Architecture and building sciences], 2019, no. 1, 2 (22, 23), pp. 60–64 (In Russian).

4. Voitau I. V., Shetko S. V., Bozhelko I. K., Leonovich O. K. Innovative aspects of strategic development of the forest complex in the field of forest management and woodworking. *Tezisy 85-ya nauchno-tehnicheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Abstracts of the 85th Scientific and Technical Conference (with international participation)]. Minsk, 2021. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2021-god/85-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-professorskorepodavatelskogo-sostava-nauchnyh-sotrudniko.html> (accessed 10.10.2021) (In Russian).

5. Leonovich O. K., Sudnikov S. P. Problems of application of laminated laminated wood (KMD) in the construction of frame houses. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menegzhment XXI veka: materialy VIII Mezhdunarodnogo Evraziyskogo simpoziuma* [VIII International Eurasian Symposium “Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century”]. Yekaterinburg, 2013, pp. 56–57 (In Russian).

6. Samoilov V. S. *Derevyannyye doma* [Wooden houses]. Moscow, Adelant Publ., 2004. 384 p. (In Russian).
7. SNB 5.05.01-2000 Wooden structures. Minsk: Ministerstva Arkhitektury i stoitel'stva Publ., 2001. 70 p. (In Russian).
8. Leonovich O. K. Protection of glued wooden structures (KDC) from bio-damage in industrial and domestic conditions. *Masterskaya "Sovremennoye stroitel'stvo"* [Workshop Modern Construction], 2013, no. 100, pp. 184–186 (In Russian).
9. Yudin V. M. Panel low-rise building with the possibility of changing the internal and external space. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po stroitel'stvu, arkhitekture i tekhnosfernoy bezopasnosti konf. po VGD* [International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Security conf. on IOP], series: Materials Science and Engineering. Chelyabinsk, 2019, no 687, pp. 25–26 (In Russian).
10. Kovalchuk L. M. Manufacturing technology and durability of wooden structures. *Izvestiya vuzov. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Izvestiya vuzov. Architecture and building]. 1988, no. 8, pp. 22–30 (In Russian).
11. Ivanchenko I. A. Engineering wood: between past and future. *Arkhitektura i stroitel'stvo Serbii* [Architecture and construction of the Siberia], 2003, no. 11–12, pp. 34–36 (In Russian).
12. Vdovin, V. M., Karpov V. N. *Promyshlennyye paneli naruzhnykh i vnutrennikh sten dlya derevyannykh karkasnykh domov* [Industrial panel of external and internal walls for hardwood frame houses]. Moscow, VNIINTPI Publ., 2001. 179 p. (In Russian).
13. Vdovin V. M., Karpov V. N. *Vklyucheniye promyshlennykh paneley derevyannykh karkasnykh domov s glinyanym i gvozdevym soyedinitelem konstruksii* [The inclusion of industrial panels wooden frame houses with clay and nail connector structures]. Moscow, VNIINTPI Publ., 2008. 133 p. (In Russian).
14. Pyatalo Yu. Log house – a plan for future energy-efficient buildings? *Konferentsiya SBE16, Hel'sinki* [Conference SBE16 – Helsinki], 2016, pp. 345–350 (In Russian).
15. Kan H. S. Intellectual production: past research, current results and directions for the future. *Inzheneriya i proizvodstvo – zelenyye tekhnologii* [International Journal of Precision. Engineering and production – Green technologies], 2016, no. 3 (1), pp. 111–128 (In Russian).
16. Lessing J., Sten L., Ekholm A. Industrial housing construction. *Razvitiye i kontseptual'naya oriyehtatsiya otrasli. Stroitel'stvo. Innovatsii* [Development and conceptual orientation of the industry. Construction of Innovation], 2015, no. 15 (3), pp. 378–399 (In Russian).
17. Goulding J. S. New production and business models in construction: priorities for the future research program. *Upravleniye proyektirovaniyem i stroitel'stvom* [Design and Engineering Management], 2015, no. 11 (3), pp. 163–184 (In Russian).
18. Memari A. M. Construction of residential buildings: An overview of the current state. *Arkhitekturnaya inzheneriya* [Architectural Engineering], 2014, no. 20 (4), pp. 21–22 (In Russian).
19. Zhadanov V. I., Dmitriev P. A. Large-sized floor slabs based on wood for covering buildings. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Izvestiya vuzov. Construction], 2003, no. 6, pp. 3–12 (In Russian).
20. Vedishcheva Yu. S., Ananyin M. Yu., Al Ali M., Vatin N. I. The influence of heat-conducting inclusions on the reliability of the sandwich panel – building frame system. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Civil Engineering Journal], 2018, no. 2 (78), pp. 116–127 (In Russian).
21. Ananyin M. Yu., Vedishcheva Yu. S. Multifactorial numerical study of thermal properties of sandwich panels of vertical cutting. *Akademicheskyy vestnik UralNIIproyekt RAASN* [Academic Bulletin of UralNII-RAASN Project], 2012, no. 2, pp. 80–84 (In Russian).
22. Budiak A. A. Comparative calculation of the cost of heat transfer resistance of a frame building and a beam. *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya: aktual'nyye problemy, dostizheniya i innovatsii* [Fundamental and applied research: actual problems, achievements and innovations]. Penza, MTSNS "Nauka i prosveshcheniye", 2019, pp. 175–177 (In Russian).
23. Gorshkov A. S., Kernik A. G. Economic efficiency of insulation of walls of frame houses. *Energetika i ekonomiya* [Energetika i ekonomika], 2019, no. 6, pp. 52–57 (In Russian).
24. Khasanshin R. R., Pivovarov S. A. Assessment of the heat transfer resistance of a double-girder wall. *Vestnik nauki i obrazovaniya* [Bulletin of Science and Education], 2019, no. 21-1 (75), pp. 121–124 (In Russian).
25. Maciejko A. Expression of glued timber in structures with long spans associated with its natural origin. *Otchety po grazhdanskoj i ekologicheskoy inzhenerii* [Reports on Civil and Environmental Engineering], 2020, no. 50 (2), pp. 55–64 (In Russian).
26. Kuzmenkov A. A. Substantiation of the choice of material for wall cladding of an experimental facility for the implementation of the international project KO 1089 "Green Arctic construction capture". *Derevyannoye maloetazhnoye zhilishchnoye stroitel'stvo: ekonomika, arkhitektura i resursosberegayushchiye tekhnologii: sbornik statey nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Wooden low-rise housing construction: Economics, architecture and resource-saving technologies: collection of articles of the scientific-practical conference]. Petrozavodsk, 2019, pp. 106–111 (In Russian).

27. Varfolomeev A., Swin S. E. Analysis of thermal studies in modular home construction annum in Arkhangelsk. *SAFU, Issledovatel'skiy sovet Norvegii, Khegskolen i Narvik* [SAFA, the Research Council of Norway, Hogskolen and Narvik]. Arkhangelsk, KIRA, 2011, pp. 29–35 (In Russian).
28. Giniyatullin M. Z. The Influence of various factors on the efficiency of low-rise buildings. *Sovremennyye problemy i perspektivnyye napravleniya* [Contemporary problems and future directions], 2019, pp. 17 (In Russian).
29. Kovačić I., Waltenberger L., Gurlis G. Tool for life cycle analysis of façade systems for industrial buildings. *Chistoye proizvodstvo* [Cleaner production], 2016, no. 130, pp. 260–272 (In Russian).
30. Gaisin A. M., Samochodova S. Y., Pimaricin A. Y., Nedoseko I. V. Comparative evaluation of the specific heat loss through the elements of the exterior walls of residential buildings, defined by different methods. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing], 2016, no. 5, pp. 36–39 (In Russian).
31. Tushina O. A. Assessment of heat-protective properties of sandwich panel coatings. *Nauchnoye obzreniye* [Scientific review], 2013, no. 9, pp. 269–274 (In Russian).
32. Kornienko S. Assessment of thermal characteristics of the enclosing structure of a residential building. *Razrabotka protsedur* [Development of procedures], 2015, no. 117 (1), pp. 191–196 (In Russian).
33. Khrustalev B. M. Determination of heat transfer resistance of enclosing structures. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'yedineniy SNG* [Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS], 2018, vol. 61, no. 1, pp. 47–59 (In Russian).
34. Gorbachevskaya E. Y. Low-rise housing 2020 – A new tool for the development of the rental market Real Estate. *Seriya konferentsii IOP: Materialovedeniye i inzheneriya* [Conference Series IOP: Materials Science and Engineering], 2020, pp. 47–49 (In Russian).
35. Varfolomeev Yu., Roaldset E. Development of an experimental model of a wooden modular house for the north of Russia. *Ustoychivyye energeticheskiye resheniya dlya Kraynego Severa* [Sustainable Energy Solutions for the Far North]. Arkhangelsk, 2011, pp. 87–89 (In Russian).
36. Buryachenko S. Yu., Karachentseva I. M., Voronin Z. A., Kuzmenkov A. A. The influence of enclosing wall structures on the energy efficiency of a wooden building (on the example of the international project KO 1089 “Green Arctic construction”). *Arktika: istoriya i sovremennost': materialy 5-y Mezhdunarodnoy konferentsii* [Materials of the 5th International Conference. The Arctic: History and Modernity], series: Earth and Environment Science. S. Petersburg, 2020, pp. 42–46 (In Russian).
37. Gorbachevskaya E. Yu., Bezrukikh O. A., Safronov D. A. The market of wooden house construction: technological problems in development issues. *Baykal'skiy forum – 2020* [Baikal Forum 2020], series: Earth and Environmental Science]. Irkutsk, 2020, pp. 12–13 (In Russian).
38. Keppo Yu. *Derevyanny dom. Karkasnyye raboty ot fundamenta do kryshi* [Wooden house. Frame work from the foundation to the roof]. Moscow, Al'famer Publ., 2006. 123 p. (In Russian).
39. Rudenko N. N., Voloshanovskaya I. N. Stroitel'stvo The influence of massiveness on the maximum heat flow. *Stroitel'stvo* [Construction]. Rostov-on-Don, 2001, pp. 84–87 (In Russian).
40. Barlow J. From handicraft production to mass tuning. Innovative requirements for housing construction. *Zhilishchnyye issledovaniya* [Housing research]. Velikobritaniya, 1999, pp. 23–42 (In Russian).
41. Wooden architecture. Available at: <https://holz-house.ru/information/blog/63-derevyannaya-arhitektura> (accessed 10.10.2021) (In Russian).
42. Shtembakh A. Modern technologies of housing construction with the use of wood structures. Available at: <https://lpk-sibiri.ru/wooden-construction/sovremennyye-tehnologii-domostroeniya-s-primeneniem-konstruktsij-iz-drevesiny/> (accessed 10.10.2021) (In Russian).
43. Wooden houses. Advantages and disadvantages of materials for construction. Available at: <https://building-companion.ru/blog/derevyannyye-doma-dostoinstva-i-nedostatki-materialov-dlya-stroitelstva/> (accessed 10.10.2021) (In Russian).
44. Glued timber: disadvantages and advantages. Available at: <https://fb.ru/article/154933/kleenyiy-brus-nedostatki-i-dostoinstva> (accessed 10.10.2021) (In Russian).
45. LVL timber: production technology, dimensions and applications advantages. Available at: <https://dvabrevna.ru/derevyannyiy-dom/lvl-brus.htm> (accessed 10.10.2021) (In Russian).
46. Franco J. T., Timber Trends: 7 to Watch for 2020. Available at: <https://www.archdaily.com/930422/timber-trends-7-to-watch-for-2020> (accessed 10.10.2021).
47. Frame houses. Kinds. Pros and cons of frame houses. Available at: <https://www.svoiydoma.ru/karkasnye-doma-vidy-plyusy-i-minusy-karkasnykh-domov> (accessed 10.10.2021) (In Russian).
48. Volkov R., Frame technology of house construction: types of housing construction, advantages and disadvantages, photo. Available at: <https://m-strana.ru/articles/karkasnoe-domostroenie-preimushchestva-i-nedostatki> (accessed 10.10.2021) (In Russian).

49. Technology of construction of a frame house. Available at: <https://domastroika.com/tehnologiya-stroitelstva-karkasnogo-doma> (accessed 10.10.2021) (In Russian).

50. Multilayer panels made of wood. CLT. МНМ. Available at: <https://www.forumhouse.ru/entries/13247> (accessed 10.10.2021) (In Russian).

Информация об авторах

Леонович Олег Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: okl2001@mail.ru

Короб Анна Юрьевна – магистрант, инженер кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: korob_98@mail.ru

Information about the authors

Leonovich Oleg Konstantinovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: OKL2001@mail.ru

Korob Anna Yurievna – Master's student, Engineer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: korob_98@mail.ru

Поступила 18.10.2021