

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

И. С. Инжутов¹, К. А. Рудяк¹, Н. И. Лях¹, С. В. Деордиев¹, В. И. Жаданов²

¹Сибирский федеральный университет (г. Красноярск),

²Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

Древесина является одним из первых известных и наиболее доступных человеку строительных материалов, который обладает весьма обширной историей становления и развития, а также значительными перспективами дальнейшего изучения свойств и внедрения инноваций. Технологии деревянного домостроения, получившие в мире наиболее широкое распространение, можно условно подразделить на три основных типа: строительство домов из массивной древесины, каркасное строительство, строительство домов с применением деревянных панелей.

В данной статье рассмотрены традиционные технологии возведения домов на основе массивной древесины, а именно: разновидности бревенчатого и брусового домостроения и их ключевые особенности, достоинства и недостатки, а также применение клееной древесины в рамках данного типа домостроения. Представлен краткий обзор технологий строительства зданий с низкой материалоемкостью (возведение домов по каркасным технологиям, их наиболее распространённые разновидности, конструктивные отличия, положительные и отрицательные качества), а также основных технологий строительства с использованием инженерной древесины, в частности изложены особенности возведения домов из высокотехнологичных панелей, их виды и основные отличия, а также преимущества применения данной технологии и её слабые стороны. Помимо этого рассмотрены некоторые инновационные методы строительства, которые получили определённое распространение в сфере деревянного домостроения; технологии, подразумевающие вертикальное расположение элементов, такие как Twin Beam – брус вертикальный клееный и Naturi – брус вертикальный, обладающий сложным профилем сечения; технологии, подразумевающие сокращение материалоемкости и массы элементов за счёт утепляющих материалов (технологии «Термобрус» и «Двойной брус»). Произведён краткий анализ их основных преимуществ и изъянов, как конструктивных, так и эксплуатационных.

В заключение определён ряд общих проблем, присущих деревянному домостроению в России на сегодняшний день с учётом текущего этапа и общего вектора его развития в мире.

Ключевые слова: массивная древесина; бревно; брус; вертикальный брус; материалоемкость; деревянный каркас; утеплитель; SIP-панель; инженерная древесина; CLT; МНМ; DendroLight; унипанель.

Совокупность известных положительных свойств, таких как возобновляемость, экологичность, невысокая производственная энергоёмкость, а также перечень физико-механических характеристик делает конструкционную древесину одним из самых перспективных строительных материалов не

только в сфере индивидуального жилого строительства, но и в более требовательных областях, таких как возведение многоэтажных домов, общественных зданий и производственных сооружений [1]. В то же время древесина как природный строительный материал обладает рядом недостатков, таких

как повышенная пожароопасность, гниение, изменение размеров вследствие поглощения или потери влаги, однако практически все они минимизируются либо устраняются благодаря современным технологиям обработки, в том числе пропитывающими составами. В настоящее время разработаны и постоянно совершенствуются многочисленные методы возведения строений из дерева, каждый из которых подразумевает различные способы обработки материала для придания строительному элементу необходимых свойств и формы. На рисунке 1 представлены наиболее распространённые технологии деревянного домостроения.

Строительство из массивной древесины. Одна из самых старых технологий – бревенча-

тое строительство – представляет собой упрощенную конструкцию из брёвен, уложенных друг на друга горизонтально. Преимущественно используют древесину хвойных пород, так как она обладает достаточной воздухопроницаемостью, менее подвержена гниению и наиболее экологична. В зависимости от климатических особенностей региона толщина и качество древесины может значительно меняться. Так, в соответствии с ГОСТ 9463-2016, круглые лесоматериалы в зависимости от вершинного диаметра подразделяются на три группы, а в зависимости от качества древесины стандартом определены 4 сорта [2].

По виду обработки строительные бревна разделяют на окоренные, скобленные, строганные и оцилиндрованные.



Рисунок 1. Технологии деревянного домостроения

Окоренное бревно (рис. 2, а) является одним из наиболее традиционных материалов для деревянного домостроения. Минимальная обработка древесного ствола – окорка – не оказывает негативного влияния на защитные свойства, что положительно сказывается на сроках эксплуатации, но в дальнейшем требует дополнительной отделки стен. Основным

недостатком является то, что на бревне после окорки местами остаются следы «подкорья», которые в дальнейшем могут стать очагами гниения.

Во избежание вышеуказанного недостатка окоренное бревно дополнительно обрабатывают вручную при помощи цикловок, снимая оставшийся луб. Такой вид обработки бревна

получил название скобленого. Финишная шлифовка бревен в свою очередь позволяет в дальнейшем сократить затраты на дополнительную отделку.

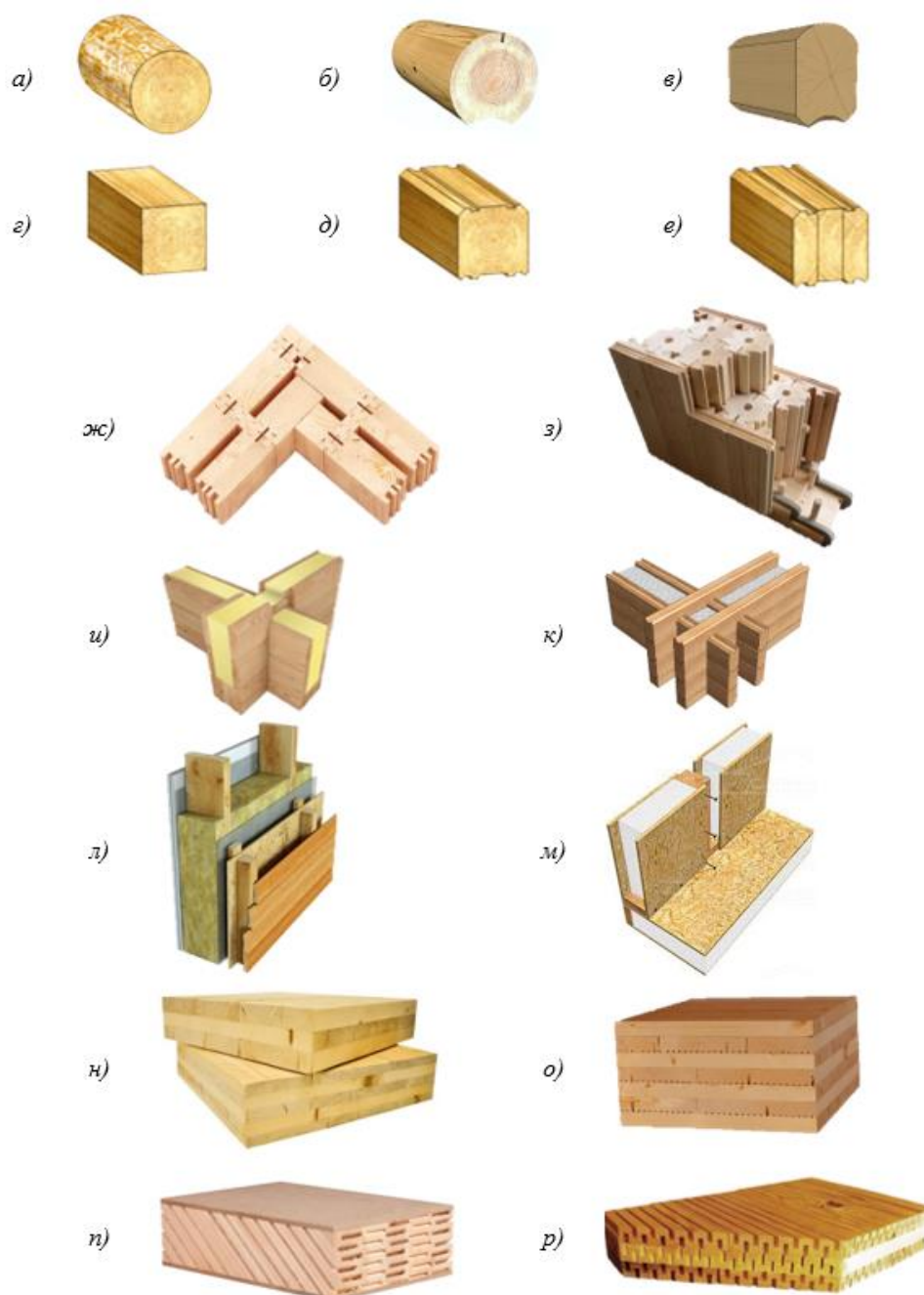


Рисунок 2. Основные виды материалов на основе древесины:

a – бревно ручной рубки; *б* – бревно оцилиндрованное; *в* – двухкантный брус (лафет); *г* – брус;
д – брус профилированный; *е* – брус клееный профилированный; *ж* – брус вертикальный Twin Beam;
з – брус вертикальный Naturi; *и* – термобрус; *к* – двойной брус; *л* – деревянный каркас; *м* – SIP-панель;
н – панель CLT; *о* – панель MHM; *п* – панель DendroLight; *р* – панель «Унипанель»

Окоренное и скобленое бревна относятся к ручной обработке и требуют минимальных усилий при их подготовке, так как снимается

только верхний слой коры, что позволяет сохранить все характеристики древесины. К тому же такие бревна менее подвержены рас-

трескиванию: они остаются смолистыми, проявляя устойчивость к воздействиям окружающей среды. Однако изготовление сруба из таких бревен требует тщательной подгонки бревна к бревну из-за того, что на них остаются все неровности и прочие недостатки. В связи с этим стоимость изготовления сруба несколько больше, нежели использование бревен механической обработки.

Строганое бревно отличается своей технологией, которая подразумевает механическую обработку электрорубанком, что позволяет получить более ровное бревно, поскольку электрорубанок срезает неровности и наплывы, в том числе от сучков. Но при этом верхний слой древесины снимается больше, по сравнению с окоркой и скоблением. При такой обработке бревен поверхность получается более рыхлой за счёт перерезания некоторого количества волокон, вследствие чего уменьшается сопротивляемость биологическому поражению и незначительно повышается трещинообразование. Несмотря на то что процесс изготовления сруба из таких бревен проще и занимает меньше времени, для снижения перечисленных недостатков потребуется дополнительная обработка бревен специальными защитными составами перед сборкой.

Для качественного изготовления сруба ручной рубки требуются рабочие высокой квалификации с большим опытом, что в свою очередь отражается непосредственно на экономической составляющей и сроках строительства. В целях экономии времени и денежных средств прибегают к возведению домов из оцилиндрованного бревна (рис. 2, б).

Оцилиндрованное бревно получают в результате обработки бревна на специальном оцилиндровочном станке. Стоит отметить, что единого нормативного акта, обязывающего производителя обрабатывать бревно каким-либо конкретным способом или инструментом, не существует. После обработки бревно приобретает ровную и гладкую поверхность, одинаковый диаметр по всей длине бревна. Также не обязательна и дополнительная отделка стен, так как бревна выглядят достаточ-

но эстетично. Заданные размеры, выбранные пазы по длине ($1/3$ диаметра) и пазы узловых соединений, выполненные в заводских условиях, упрощают сборку сруба и значительно сокращают сроки строительства. Однако при «станковой» обработке доступен один вид узлового соединения – чаша, который при усушке подвержен короблению и деформации пазов с образованием зазоров, требующих дополнительного утепления. Помимо этого в процессе обработки с бревна неравномерно снимается практически вся заболонь. Оставшиеся слои плохо устойчивы к воздействию негативных природных факторов, и со временем в срубах развивается гниение и начинается разрушение бревен, что ведет к сокращению сроков эксплуатации. Кроме того, стоит отметить, что диаметр оцилиндрованного бревна в основном составляет 22-24 см, что не является достаточным для теплотехнических характеристик домов, расположенных в северных регионах страны.

Характерным общим недостатком для вышеописанных технологий строительства является определённое сокращение внутреннего полезного пространства, связанное с округлой формой сечения бревна. К тому же это влечёт за собой удорожание отделочных работ, если таковые потребуются.

Указанный недостаток решается путем применения полулафетного или лафетного бруса. Возведение дома из полулафета подразумевает сборку классического бревенчатого сруба и последующее отёсывание внутренних поверхностей, что позволяет получить ровные стены с сохранением наружного защитного слоя. Однако сильная неравномерность усушки ведёт к интенсивному образованию трещин и деформации элементов вплоть до нарушения геометрии стен.

В свою очередь, лафет (рис. 2, в) позволяет решить проблему неравномерной усушки путём симметричного среза древесины с двух сторон. Но удаление защитного слоя наружных стен ставит лафет по степени защищённости от внешних факторов в один ряд с оцилиндрованным бревном, хотя и с более высокими теплотехническими характеристиками

за счёт меньшего количества соединений на единицу высоты. В полной мере такая технология раскрывается при применении норвежского узлового соединения, самозаклинивающегося при усушке, которое значительно повышает жёсткость конструкции, но является довольно сложным в изготовлении [3], предъявляя дополнительные требования к квалификации рабочих.

Данным технологиям также присущи и основные недостатки бревенчатого строительства, в том числе необходимость подгонки брёвен и подбора вершин и комлей. Вследствие значительного количества сложностей при возведении широкого распространения в России эти технологии не получили.

Более простым для сборки сруба является строительство из бруса прямоугольного сечения (рис. 2, з) как одного из наиболее распространённых и доступных материалов.

Изначально в этих целях использовался нестроганный брус, в процессе производства которого бревно опиливают со всех сторон с толщиной сечения больше 100 мм. Брус не подвергается дополнительной обработке, вследствие чего требуется отделка. Дома возводятся довольно быстро, в большинстве случаев без изготовления сложных угловых замков, и имеют гораздо меньшую стоимость. Однако простота строительства с применением данного вида бруса негативно сказывается на его эксплуатации впоследствии, так как из-за низкого качества обработки такой брус имеет отклонения линейных размеров по ГОСТ 24454-80 [4], что при сборке сруба отражается в образовании многочисленных щелей.

Дополнительная обработка нестроганого бруса на фрезерных станках позволяет повысить точность размеров, качество поверхности и качество сборки, что, соответственно, ведёт и к его удорожанию. Благодаря ровной и гладкой поверхности бруса появляется возможность экономии на отделочных работах.

Стоит отметить, что нестроганный и фрезерованный брус за счёт прямоугольного сечения имеет высокую степень продуваемости межвенцовых швов в срубе, что требует обя-

зательной многократной их конопатки.

Выполнить качественный стык между венцами и уменьшить теплопотери строения возможно при усложнении профиля сечения бруса (рис. 2, д). Так, в заводских условиях с помощью специального оборудования поверхностям бруса дополнительно придаётся определённая форма, которая выполняет две основные функции: создание лабиринтного уплотнения для уменьшения теплопотерь и формирование надёжного межвенцового замкового соединения – здесь наибольшее распространение получили финский (шип-паз) и немецкий (гребенка) профили. Также при необходимости создания домокомплекта в заводских условиях формируются угловые соединения. Ровные и гладкие стены не требуют обязательной дополнительной отделки. В качестве основных отрицательных сторон стоит отметить высокую стоимость и отсутствие какой-либо нормативной документации, регламентирующей форму профиля, от которой зависят коэффициент полезного использования материала и количество соединений на единицу высоты.

В целом, строительному брусу присущи основные недостатки оцилиндрованного бревна, однако их можно минимизировать, предварительно подвергая материал камерной сушке [5], что также позволяет значительно сократить количество бракованных элементов, так как они могут быть выявлены по завершении процесса, но это существенно повышает стоимость материала. Ключевым недостатком является ограниченность размеров сечения элементов, в связи с чем в регионах с холодным климатом может потребоваться дополнительное утепление строения.

Одним из наиболее технологичных решений задачи увеличения размеров поперечного сечения является применение клееного бруса (рис. 2, е). Комбинирование и склеивание необходимого числа предварительно высушенных ламелей позволяет добиться как повышенных прочностных, так и требуемых геометрических характеристик, а также практически полного отсутствия усадки. Малые сроки сборки конструкции достигаются за счёт

высокой степени точности заранее подготовленного пазогребневого профиля и узловых соединений.

Частным случаем применения клееного бруса является технология Twin Beam [6], особенностью которой является вертикальное расположение элементов в два ряда с небольшим зазором между ними, т.е. своеобразное разделение внутренней и наружной стен, что подразумевает определённую экономии материала (рис. 2, ж). Соединение элементов и рядов между собой осуществляется посредством профилированных деревянных элементов. Отличительной особенностью данной технологии от «классического» клееного бруса является отсутствие перерубов, что существенно уменьшает теплопотери в углах конструкции. Однако такая технология требует особого внимания к разработке проекта и учёту всех нюансов. В частности, помимо детализировки элементов необходимо уделить внимание вентиляции пространства между стенами в зависимости от климатических условий.

В целом, несмотря на высокую степень заводской готовности, сложность технологии производства клееного бруса обуславливает ряд существенных недостатков, в числе которых высокая стоимость конечного продукта и его непосредственная зависимость от качества используемых заготовок и клеёвого состава. От последнего помимо высоких адгезионных характеристик требуется полная безопасность для здоровья человека.

Перечисленные выше технологии в той или иной мере обуславливают усадку срубов со временем.

В качестве альтернативного метода, не требующего склеивания элементов, можно считать технологию возведения жилых домов из бруса Naturi [7, 8]. Вертикальный монтаж брусьев сложного геометрического сечения посредством соединения «шип-паз» минимизирует усадку и образует эффективное лабиринтное уплотнение, исключающее продуваемость стен (рис. 2, з). В свою очередь, элементы конструкции, вбирая влагу из окружающей среды, в определённой степени увели-

чиваются в объёме, и происходит их своеобразное «самостягивание», что повышает жёсткость строения. В данном случае толщина стены будет зависеть исключительно от количества элементов в ряду. Помимо этого технология допускает применение различных древесных пород, что позволяет повысить устойчивость стен к влиянию внешних факторов и сформировать внешний вид внутренних помещений, не прибегая к отделке. Тем не менее сама технология производства элементов продуцирует недостатки её применения. Изготовление бруса хотя и не требует брёвен большого диаметра, однако их длина будет накладывать определённые ограничения на размеры конечного продукта, чего, к примеру, нет при производстве клееного бруса. Сложная форма поперечного сечения требует применения специального оборудования и режущих приспособлений, что в связке с большим количеством отходов производства это влечёт существенное удорожание продукции. Сам процесс возведения подразумевает применение большого числа элементов, а при их монтаже требуются высококвалифицированные специалисты.

Всем вышеперечисленным технологиям бревенчатого и брусового строительства присуща высокая материалоемкость, которая является необходимым условием достижения приемлемых теплотехнических характеристик, что ведёт к увеличению массивности постройки, а значит, может повлечь за собой и повышение требований к фундаменту и удорожание строительства в целом.

Уменьшить количество древесины в постройке с сохранением необходимых теплотехнических характеристик могут позволить технологии комбинирования дерева и различных материалов с низкой теплопроводностью.

Известна технология «Термобрус», когда между двумя деревянными ламелями закладывается слой пенополистирола и производится их склеивание между собой (рис. 2, и). Сборка происходит аналогично конструкциям из бруса, то есть последовательная горизонтальная укладка элементов с перерубами в углах строения [9]. Достоинствами можно

считать невысокий вес конструкции, быстроту сборки, заводскую обработку антисептиками и антипиренами, отсутствие необходимости в дополнительном утепляющем слое благодаря низкой теплопроводности элементов, а профилирование ламелей способствует уменьшению продуваемости. В то же время данная технология обладает рядом критических недостатков. Возможная токсичность клеевых составов и утепляющих материалов может означать опасность для постоянного нахождения человека в подобном строении. Очень низкая воздухопроницаемость обуславливает необходимость проектирования вентиляции, что ведёт к дополнительным затратам. В то же время данным материалам присуща невысокая степень звукоизоляции, что существенно понижает комфортность проживания. Однако критическим недостатком является то, что утепляющий материал обладает низкой прочностью на разрыв вне зависимости от надёжности клеевого шва. Данное обстоятельство в совокупности с неравномерной усадкой внутренней и наружной ламелей неизбежно в течение некоторого количества циклов заморозания-оттаивания приведёт к расслоению элементов и эксплуатационной непригодности строения, что уже ставит вопрос о целесообразности применения технологии на данном этапе её развития.

Большой надёжностью при сходных характеристиках обладает технология «Двойной брус» [10, 11], где при производстве элементов между профилированными ламелями монтируются перемычки для повышения жёсткости конструкции, а в качестве утепляющего материала в большинстве случаев используется эковата, обладающая значительно большей воздухопроницаемостью в сравнении с пенополистиролом (рис. 2, к). Однако усадка утеплителя со временем может привести к снижению теплотехнических свойств и потребовать дополнительного обслуживания, к тому же материал может оказаться достаточно комфортной средой для проживания в нём различных грызунов и вредителей. Заметим, что не все производители применяют дополнительные перемычки между ламелями,

что существенно снижает жёсткость конструкции и практически нивелирует различия с технологией «Термобрус».

Помимо указанных недостатков вышеперечисленным технологиям присущи зависимость жёсткости элементов от толщины ламели, неравномерная усадка внутренних и наружных ламелей, что приводит к их деформациям и образованию щелей, ослабление сечений в местах перерубов, отсутствие нормативной документации и, как следствие, возведение в соответствии с техническими условиями компании-изготовителя, а также практически полная неремонтопригодность.

Каркасное домостроение. Так, одной из самых популярных технологий в мире, является строительство энергоэффективных домов с деревянным каркасом. Технология базируется на принципе максимального использования теплоизолирующего материала, который в свою очередь является основным ограждающим элементом и заполняет порядка 80 % всего объема, что позволяет добиться высоких теплоизоляционных свойств. Древесина используется для изготовления несущего стоечно-балочного каркаса, стойки которого устраиваются с шагом не более 600 мм; между ними укладывается утеплитель. Стойки связываются верхней и нижней обвязками. В качестве обшивки наружных стен могут применяться листы OSB или влагостойкая фанера, для внутренней обшивки используются OSB, ДВП, фанера, вагонка и др. (рис. 2, л). Отличительной особенностью данной технологии является возможность замены утеплителя по окончании его срока эксплуатации, который составляет в среднем от 40 до 60 лет [12 - 15].

Существует множество разновидностей данной технологии, основные из них это немецкий фахверк, Timber frame, канадский и финский каркасы. Немецкий фахверк – одна из самых первых технологий, отличительной особенностью которой является то, что для сборки каркаса используется брус с соединением его между собой по принципу «дерево-дерево», который остаётся открытым с наружной стороны здания. Аналогично фахверку каркас возводится и по технологии

Timber frame [16, 17] с тем отличием, что открытый каркас обращен внутрь здания. Канадский (американский) и финский (скандинавский) каркасы схожи и незначительно отличаются между собой, возводятся по вышеописанному принципу [18, 19]. Также необходимо отметить, что при возведении каркасных стен первоначально использовался метод строительства Balloon, подразумевающий установку стоек на всю высоту здания. Впоследствии его заменил метод Platform, который отличается тем, что каркас собирается поэтапно, что упрощает возведение коробки.

Данная технология регламентируется нормативными документами СП 352.1325800.2017, СП 31-105-2002 [20, 21].

Наличие нормативной базы, простота сборки и малый вес элементов позволяют возводить дома небольшими бригадами без применения какой-либо грузоподъемной техники.

В качестве одной из разновидностей каркасного домостроения можно выделить каркасно-щитовую технологию, которая отличается от каркасной лишь тем, что имеет полную заводскую готовность. Сохраняя все основные достоинства, заводское производство каркасных щитов повышает точность изготовления элементов и их соединений, уменьшает сроки строительства, но вместе с тем требует участия техники для транспортировки и монтажа элементов, что ведет к удорожанию.

Высокой степенью заводской готовности обладает и каркасно-панельный метод возведения зданий. В данном случае отличительным элементом является структурная изолированная (SIP) панель заводского производства, представляющая собой трёхслойную конструкцию из двух OSB-плит и твёрдого утеплителя между ними, склеенных под давлением (рис. 2, м) [22]. Основой по-прежнему является деревянный каркас, но с более редким расположением стоек, так как элементы обладают достаточной жёсткостью для выполнения роли несущих стен. Помимо домокомплектов, которые требуют предварительного проектирования, изготавливаются панели унифицированных типоразмеров, для мон-

тажа и транспортировки которых потребуется соответствующая техника. В качестве теплоизоляционных материалов чаще всего используются пенополистирол и пенополиуретан. Их низкая воздухопроницаемость не требует пароизоляции стен, однако приводит к обязательной необходимости организации вентиляционной системы для обеспечения комфортного климата в помещении и предотвращения повреждений, связанных с образованием конденсата. В то же время серийное изготовление элементов практически исключает возможность их ремонта, а замена панели будет неизбежно сопряжена с высокой степенью трудозатрат. Также их использование в условиях влажного климата может привести к разрушению элементов.

В целом, к достоинствам каркасного домостроения и его разновидностей можно отнести высокие теплоизоляционные свойства, малые сроки возведения, отсутствие усадки и упрощённую отделку. Невысокий вес конструкции не требует особого внимания к фундаментам. Однако данная технология предъявляет достаточно высокие требования к качеству материалов и квалификации рабочих. Низкая степень шумоизоляции может потребовать дополнительных финансовых затрат.

Главным преимуществом вышеописанных технологий является достаточно невысокая материалоемкость, однако прямым следствием этого становится значительное снижение теплоёмкости сооружения и невозможность сохранения тепла продолжительное время. А это означает, что вышеописанные технологии не способны поддерживать внутри помещения комфортную среду в холодных регионах, что говорит о целесообразности применения массивной древесины и различных её модификаций.

Панельное домостроение. Применение деревянных массивных конструкций за счёт их преимуществ остаётся рациональным, в частности, благодаря использованию инженерной древесины, что позволяет изготавливать элементы с высокими механическими и теплофизическими характеристиками. Системное изучение и исследование свойств

древесины, определение ряда ключевых недостатков и разработка способов их устранения [23-26] ведут к созданию высокотехнологичных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Одним из таких материалов является структурно-ориентированная плита CLT (Cross-Laminated Timber) [27]. Данная технология подразумевает возведение зданий из унифицированных либо индивидуально запроектированных панелей, изготовленных методом склеивания под давлением пиломатериалов, где направление волокон каждого последующего слоя ориентировано перпендикулярно предыдущему (рис. 2, *н*) [28]. Это позволяет комбинировать древесину различных пород и сортов для достижения оптимальных характеристик и планировать геометрические параметры, технологические проёмы, отверстия и каналы для прокладки коммуникаций ещё на стадии производства, что подразумевает высокую заводскую готовность и малые сроки возведения конструкции.

Помимо основных свойств, присущих клееной древесине, таких как высокая теплоёмкость, огнестойкость, шумоизоляция, точность размеров, минимальная вероятность биологического поражения и практически полное отсутствие усадки, для CLT, в сравнении с клееным либо массивным брусом или строительным бревном, вместе с тем характерны следующие особенности: повышенные сейсмостойкость [29] и теплозащитные характеристики, а также несущая способность, сравнимая с железобетоном, при значительно меньшей массе конструкции. Это допускает возможность строительства многоэтажных зданий и отход от индивидуального жилого строительства в сторону многоквартирного.

Технология не лишена недостатков. Несмотря на определённую простоту производства, требуется дорогостоящее специализированное оборудование, что отражается на стоимости готового продукта. Помимо этого применяемые при производстве меламиновые и полиуретановые клеевые составы обладают невысокой воздухо- и паропроницаемостью, а использование составов низкого качества

напрямую влияет на сроки эксплуатации.

Стоит отметить, что на данный момент в нашей стране регламентируется [30] изготовление аналогичной перекрестноклеёной древесины (ДПК) и разработаны узлы их соединения на винтах [31].

Одной из разновидностей производства структурно-ориентированных панелей является технология Massiv-Holz-Mauer (МНМ) [32, 33]. Основной отличительной особенностью здесь является уход от применения клеевых составов и их замена на алюминиевые штифты, призванные решить проблему воздухопроницаемости и избежать повреждений режущих поверхностей оборудования, сохранив при этом основные достоинства строительного материала. При изготовлении на обратной стороне каждой заготовки вырезают продольные пазы для обеспечения теплопроводности и воздушной циркуляции (рис. 2, *о*). На боковой кромке высекают выборку фальца для крепления смежных досок [33]. Однако данная специфика производства непосредственно влияет на стоимость и надёжность изделия, так как повышается степень неоднородности материала и образуются мостики холода в местах соединения заготовок. В то же время помимо необходимости в узкоспециализированном оборудовании дороговизна также связана с более высокой стоимостью алюминия, его прочностными свойствами и характером производства элементов крепежа из него. Вероятно, определённые неудобства могут доставить и экранирующие свойства данного металла.

Общими отличиями структурно-ориентированных панелей являются отсутствие характерных, специально разработанных для данного типа строительных материалов, видов узловых соединений. На данный момент сопряжение элементов производится посредством металлического крепежа – преимущественно винтами, что в определённой степени может снизить надёжность конструкции в местах стыков. Кроме того, панели весьма чувствительны к воздействию влаги, так как процессы периодического её накопления и усушки могут привести к образованию

многочисленных трещин и деформации элементов. Как следствие, сформирован ряд жёстких требований на всех этапах: как при производстве, хранении, транспортировке, так и при эксплуатации [34].

Аналогичной несущей способностью обладают панели, изготовленные по технологиям DendroLight и «Унипанель» (рис. 2, *n,p*) [35, 36]. В данном случае элементы также изготовлены из многослойной инженерной древесины, однако каждый слой перед склеиванием проходит процедуру профилирования, что ведёт к образованию воздушных полостей внутри элемента. Это способствует снижению плотности и, как следствие, массы панелей, что в итоге существенно снижает вес конструкции. Также данные полости способствуют повышению термического сопротивления ограждающих конструкций и выполняют роль компрессионных пазов, существенно амортизируя последствия процессов накопления и потери влаги древесиной. Подобная технология обработки слоёв способствует повышению их гибкости, что позволяет создавать более сложные архитектурные формы из нестандартных элементов.

Вместе с тем применение клеевых составов влечёт за собой недостатки, свойственные панелям CLT. Однако ключевым здесь является дороговизна производства в целом, которая непосредственно отражается на стоимости продукции. Сложная послойная обработка

требует существенных энергозатрат и продуцирует большое количество древесных отходов – порядка 40-60 % [35]. Это в свою очередь требует организации дополнительных мероприятий либо по их утилизации, либо по рециклированию, что является наиболее рациональным решением и может в некоторой степени способствовать снижению конечной стоимости.

Основным же недостатком клееных деревянных конструкций в целом является высокая зависимость от качества клеевых составов и исполнения клеевых швов – по сути срок службы конструкции определяется сроком службы клеевого шва.

Ввиду того что в настоящее время появляются всё более современные материалы на основе древесины, в которых минимизируются негативные свойства последней, становится рациональным рассмотрение их применения не только в сфере индивидуального жилищного строительства, но и при возведении многоэтажных и общественных зданий. Но, ввиду того что на данный момент применение данных материалов, в частности CLT- и МНМ-панелей, сдерживается отсутствием нормативных документов по их проектированию, следует комплексно изучить и проанализировать зарубежный опыт, учитывая свойства материала, методы проектирования и узловые решения с дальнейшей актуализацией их для климатических условий России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнительный анализ технологий деревянного строительства / В.Г. Котлов, В.И. Жаданов, К.В. Юкова, Е.В. Марсакова, И.С. Инжутов // Материалы Всероссийской научно-методической конференции «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры». Оренбург, 2018. С. 159-166.
2. ГОСТ 9463-2016. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. Дата введения 2017-05-01. Москва: Стандартинформ, 2016. С. 11.
3. Рекомендации по изготовлению срубов из лафета с Норвежским типом замков / Д. Фюллер, Ю. Мильх, Н. Мальцев, М. Тришин // Школа Норвежской рубки. Лиллехаммер, Норвегия; п. Сокольское Нижегородской области, 2010. С. 26.
4. ГОСТ 24454-80. Пиломатериалы хвойных пород. Размеры // Дата введения 1981-01-01. Москва: Стандартинформ, 2007. С. 6.
5. Андреев С. А., Семина А. А. Энергоэффективная сушка древесины // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 58.
6. TwinBeam. Режим доступа: <https://twinbeam.ru/technology/> (дата обращения 15.01.2020).
7. Naturi. Режим доступа: <https://naturi.su/technologiya/> (дата обращения 02.02.2020).

8. Лебедева Н.Ю. Экологичный конструктор – NATURI // Экологические проблемы промышленных городов: сборник научных трудов по материалам 8-й Международной научно-практической конференции (Саратов, 20-22 апреля 2017 г.). Саратов, 2017. С. 436-440.
9. Седов А.Н. Трехслойный профилированный брус для малоэтажного строительства // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 4 (38). С. 243-247.
10. Шадапов Б.Б., Мелешко А.В., Романова С.С. Повышение эффективности конструкторско-технологической подготовки производства домов из двойного бруса // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции (Красноярск, 2–4 сентября 2019 г.). Красноярск, 2019. С. 258–261.
11. Хайруллин Л.Р. Исследование несущей способности стен деревянного дома, выполненного по технологии «двойной брус» // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4 (34). С. 178-182.
12. Горшков А.С., Керник А.Г. Экономическая эффективность утепления стен каркасного дома // Кровельные и изоляционные материалы. Москва: Композит XXI век, 2017. № 6. С. 15-20.
13. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Семенов В.С., Старостин А.В. Системы изоляции каркасных коттеджей // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 1. С. 122-127.
14. Каркасные стены материалы для проектирования и чертежи узлов // Альбом технических решений строительной изоляции PAROC. 2018. С. 48.
15. Румянцев Б.М., Ляпидевская О.Б., Жуков А.Д. Системы изоляции строительных конструкций: учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Моск. гос. строит. ун-т, 2017. С. 596.
16. Cochran B. Creating a Timber Frame House (A Step by Step Guide) // Timber Frame HQ. 2014. P. 76.
17. Beemer W. Learn to Timber Frame: Craftsmanship, Simplicity, Timeless Beauty // Storey Publishing. 2016. P. 191.
18. Burrows J. Canadian Wood-Frame House Construction // Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC). 2015. P. 316.
19. WCD 1 - Details for Conventional Wood Frame Construction // American Forest and Paper Association. 2015. P. 55.
20. СП 352.1325800.2017. Здания жилые многоквартирные с деревянным каркасом. Правила проектирования и строительства. Дата введения 2018-06-14. Москва: Стандартинформ, 2018. С. 35.
21. СП 31-105-2002. Проектирование и строительство энергоэффективных одноквартирных жилых домов с деревянным каркасом. Дата введения 2002-07-01. Москва: Госстрой России, 2003. С. 75.
22. Чотулов В.Ю. Анализ и совершенствование технологии монтажа домокомплектов из SIP в России // Символ науки. 2017. № 04-3. С. 155-160.
23. Машкин Н.А. Эксплуатационная стойкость модифицированной древесины в строительных изделиях и ее технологическое обеспечение: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2000. 38 с.
24. Колосов П.В. Модифицирование продуктов карбоксиметилирования, полученных из исходной древесины и обработанной реагентами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2008. 22 с.
25. Титунин А.А. Научные основы получения конкурентоспособных строительных материалов из низкосортной древесины и древесных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2011. 36 с.
26. Михеевская М.А. Получение прессованной древесины с однородными показателями качества: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2019. 16 с.
27. All information about «Cross Laminated Timber». Режим доступа: <https://www.klh.at/en/cross-laminated-timber/> (дата обращения 22.01.2020)
28. Мавлюбердинов А.Р., Хоцянян Д.Н. Технологические особенности возведения многоэтажных жилых зданий из CLT-панелей // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 1 (43). С. 219-225.
29. Evans L. Cross Laminated Timber. Taking wood buildings to the next level // American Wood Council, and FPInnovations. 2013. 12 p.
30. ГОСТ Р 56706-2015. Плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев. Технические условия. Дата введения 2016-05-01. Москва: Стандартинформ, 2016. С. 10.
31. СП 299.1325800.2017. Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования. Дата введения 2018-02-17. Москва: Стандартинформ, 2017. С. 26.
32. Massive wood material for sustainable building design: the Massiv-Holz-Mauer wall system / S. Santi, F. Pierobon, G. Corradini1, R. Cavalli1, M. Zanetti // Journal of Wood Science. 2016. No (62). P. 416-428.
33. МНМ Massiv-Holz-Mauer*. Режим доступа: <https://www.massivholzmauer.de> (дата обращения 12.02.2020).
34. Agrop Nova. Комплексная строительная система из массивного дерева «NOVATOP» // Версия «Internationale Rus» 02(04-2011). 2011. С. 52.

35. Скуратов Н.В. Инновационные легкие панели из древесины. Композиционные материалы // Лесной вестник. 2016. № 3 (20). С. 60-65.
36. ООО «Центр Технологий Деревообработки» Плиты DendroLight // Деревообработка. Оборудование и инструмент. 2010. № 1. С. 20-22.
37. Особенности проектирования жилых зданий для строительства в северных широтах / В.И. Жаданов, Д.А. Украинченко, И.С. Инжутов, В.Е. Афанасьев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. № 4. С. 55-65.

Информация об авторах

ИНЖУТОВ Иван Семенович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, директор Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Область научных интересов – деревянные конструкции. Автор более 200 опубликованных работ. E-mail: ivaninzhutov@gmail.com

РУДЯК Кристина Александровна – аспирант и инженер кафедры строительных конструкций и управляемых систем, Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Область научных интересов – деревянные конструкции, соединения элементов деревянных конструкций. Автор и соавтор 10 опубликованных работ. E-mail: Kris345R2007@yandex.ru

ЛЯХ Николай Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и управляемых систем, Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Область научных интересов – технологии деревообработки, деревянные конструкции. Автор и соавтор более 40 опубликованных работ. E-mail: laux@mail.ru

ДЕОРДИЕВ Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций и управляемых систем, Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Область научных интересов – поведение древесины при динамических воздействиях. Автор и соавтор более 80 опубликованных работ. E-mail: SDeordiev@sfu-kras.ru

ЖАДАНОВ Виктор Иванович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург. Область научных интересов – совершенствование строительных конструкций зданий и сооружений. E-mail: organ-2003@bk.ru

UDC 691.11

DOI: 10.25686/2542-114X.2021.1.47

OVERVIEW OF WOODEN HOUSING TECHNOLOGIES

I. S. Inzhutov¹, K. A. Rudiak¹, N. I. Liakh¹, S. V. Deordiev¹, V. I. Zhadanov²
*¹Siberian Federal University (Krasnoyarsk),
²Orenburg State University (Orenburg)*

Wood is one of the first known and most available building materials, which has a long history of development, and at the same time allows significant prospects for further study of properties and implementation of innovations. The technologies of wooden housing construction can be conditionally divided into three main types: construction of houses from solid wood; frame construction; construction of houses using wooden panels.

This article provides a brief overview of traditional technologies for building houses based on solid wood, namely: varieties of log and timber house-building and their key features, advantages and disadvantages, as well as the use of glued wood within this type of house-building. The authors provide a brief overview of building technologies with low material consumption: the construction of houses using frame technologies, their most common varieties, design

differences, positive and negative qualities. It also provides a brief overview of the main construction technologies using engineering wood, particularly construction of houses using high-tech panels, their types and main differences, as well as advantages and disadvantages of using this technology. The paper also considers some innovative construction methods that have become widespread in the field of wooden housing construction. A brief overview of technologies that imply vertical arrangement of elements, such as "Twin Beam" – vertical glued beam; and "Naturi" – a vertical bar with a complex cross-section profile. There is also a brief overview of technologies that involve reducing the material consumption and weight of elements due to insulating materials, such as "Termo Log" and "Double Log" technologies. The authors carry out a brief analysis of the main advantages and disadvantages, both design and operational.

In conclusion, a number of common problems inherent in wooden housing construction in Russia today are identified, taking into account the current global trends.

Keywords: solid wood; log; timber; vertical timber; material capacity; timber-frame; insulation; SIP panel; engineering wood; CLT; MHM; DendroLight; Unipanel'.

REFERENCES

1. Kotlov V.G., Zhadanov V.I., Jukova K.V., Marsakova E.V., Inzhutov I.S. Sravnitel'nyj analiz tehnologij derevjannogo stroitel'stva [Comparative analysis of wooden construction technologies], *Materialy Vserossijskoj nauchno-metodicheskoj konferencii «Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovanija, nauki i kul'tury»* (yanvar 2018, g. Orenburg) [Materials of the all-Russian scientific and methodological conference «University complex as a regional center of education, science and culture» (January 2018, Orenburg)], Orenburg, 2018, pp. 159-166.
2. GOST 9463-2016. Lesomaterialy kruglye hvoynyh porod. Tekhnicheskie usloviya. Data vvedeniya 2017-05-01/9463-2016. [Round Timber of coniferous breeds. Technical conditions. Date of introduction 2017-05-01]. Moscow, 2016, 11 p.
3. Fuller D., Milyh Iu., Maltsev N., Trishin M. Rekomendacii po izgotovleniju srubov iz lafeta s Norvezhskim tipom zamkov [Recommendations for the manufacture of log cabins from the carriage with the Norwegian type of locks], *Norwegian logging school*. Lillehammer, Norway, village of Sokolskoye, Nizhny Novgorod region, 2010, 26 p.
4. GOST 24454-80. Pilomaterialy hvoynyh porod. Razmery, Data vvedeniya 1981-01-01 [GOST 24454-80. Softwood Lumber. Dimensions. Date of introduction 1981-01-01], Moscow, 2007, 6 p.
5. Andreev S. A., Semina A. A. Energoeffektivnaja sushka drevesiny [Energy-efficient drying of wood], *Sovremennye innovacii v nauke i tehnike: sbornik nauchnyh trudov 4-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* (aprel' 2014, g. Kursk) [Modern innovations in science and technology: proceedings of the 4th International scientific and practical conference (April, 2014, Kursk)], Kursk, 2014, p. 58.
6. TwinBeam. Available at: <https://twinbeam.ru/technology/> (date of reference 15.01.2020).
7. Naturi. Available at: <https://naturi.su/tehnologiya/> (date of reference 02.02.2020).
8. Lebedeva N.Iu. Ekologichnyj konstruktor – NATURI [Eco-friendly constructor – NATURI], *Ekologicheskie problemy promyshlennyh gorodov: sbornik nauchnyh trudov po materialam 8-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* (aprel' 2017, g. Saratov) [Environmental problems of industrial cities: a collection of scientific papers based on the materials of the 8th International scientific and practical conference (April 2017, Saratov)], Saratov, 2017, pp. 436-440.
9. Sedov A.N. Trehslojnyj profilirovannyj brus dlja malojetazhnogo stroitel'stva [Three-layer profiled timber for low-rise construction], *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Kazan State University of Architecture and Construction], 2016, No 4 (38), pp. 243-247.
10. Shadapov B.B., Meleshko A.V., Romanova S.S. Povyshenie effektivnosti konstruktorsko-tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva domov iz dvojnogo brusa [Improving the efficiency of design and technological preparation of production of double-log houses], *Lesnoj i himicheskij kompleksi - problemy i reshenija: sbornik materialov po itogam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii* (sentjabr' 2019, g. Krasnojarsk) [Forest and chemical complexes-problems and solutions: collection of materials based on the results of the all-Russian scientific and practical conference (September 2019, Krasnoyarsk)], Krasnoyarsk, 2019, pp. 258–261.
11. Hajrullin L.R. Issledovanie nesushhej sposobnosti sten derevjannogo doma, vypolnennogo po tehnologii "dvojnogo brusa" [Investigation of bearing capacity of the walls of wooden houses, made by "double log" technology], *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Kazan State University of Architecture and Construction], 2015, No 4 (34), pp. 178-182.

12. Gorshkov A.S., Kernik A.G. Ekonomicheskaja effektivnost uteplenia sten karkasnogo doma [Economic efficiency of insulation of the walls of a frame house], *Krovelnye i izoljacionnye materialy* [Roofing and insulation materials], Moscow, 2017, No 6, pp. 15-20.
13. Zhukov A.D., Ter-Zakarjan K.A., Bessonov I.V., Semenov V.S., Starostin A.V. Sistemy izoljatsii karkasnyh kottedzhej [Insulation systems for frame cottages], *Academia. Arhitektura i stroitelstvo* [Academia. Architecture and construction], 2019, No. 1, pp. 122-127.
14. Karkasnye steny. Materialy dlja proektirovaniya i chertezhi uzlov. Albom tehnikeskikh reshenij stroitelnoj izolatsii PAROC [Frame walls. Materials for design and drawings of nodes. Album of technical solutions for construction insulation PAROC], Moscow, 2018, 48 p.
15. Rumyantsev B.M., Lyapidevskaya O.B., Zhukov A.D. Sistemy izolyatsii stroitelnykh konstruksiy [Insulation systems for building structures], Moscow, 2017, 596 p.
16. Cochran B. Creating a Timber Frame House (A Step by Step Guide), *Timber Frame HQ*, 2014, p. 76.
17. Beemer W. Learn to Timber Frame: Craftsmanship, Simplicity, Timeless Beauty, *Storey Publishing*, 2016, p. 191.
18. Burrows J. Canadian Wood-Frame House Construction, *Canada Mortgage and Housing Corporation* (CMHC), 2015, p. 316.
19. WCD 1 - Details for Conventional Wood Frame Construction, *American Forest and Paper Association*, 2015, p. 55.
20. SP 352.1325800.2017. Zdaniya zhilye odnokvartirnye s derevyannym karkasom. Pravila proektirovaniya i stroitelstva. Data vvedeniya 2018-06-14 [SP 352.1325800.2017. Single-family residential Buildings with a wooden frame. Rules of design and construction. Date of introduction 2018-06-14], Moscow, 2018, 35 p.
21. SP 31-105-2002. Proektirovanie i stroitelstvo energoeffektivnykh odnokvartirnykh zhilykh domov s derevyannym karkasom. Data vvedeniya 2002-07-01 [SP 31-105-2002 Design and construction of energy-efficient single-family residential buildings with a wooden frame. Date of introduction 2002-07-01], Moscow, 2003, 75 p.
22. Chotulov V.Iu. Analiz i sovershenstvovanie tekhnologii montazha domokomplektov iz SIP v Rossii [Analysis and improvement of technology for installation of SIP house kits in Russia], *Simvol nauki* [Symbol of science], 2017, No 04-3, pp. 155-160
23. Mashkin N.A. Eksploatatsionnaya stoykost modifitsirovannoy drevesiny v stroitelnykh izdeliyakh i ee tekhnologicheskoe obespechenie: dis. ... kand. tekhn. nauk [Operational stability of modified wood in construction products and its technological support. Dissertation for the degree of the candidate of engineering sciences], Novosibirsk, 2000, 38 p.
24. Kolosov P.V. Modifitsirovanie produktov karboksimetilirovaniya, poluchennykh iz iskhodnoy drevesiny i obrabotannoy reagentami: dis. ... kand. tekhn. nauk [Modification of carboxymethylation products obtained from raw wood and treated with reagents. Dissertation for the degree of the candidate of engineering sciences], Krasnoyarsk, 2008, 22 p.
25. Titunin A.A. Nauchnye osnovy polucheniya konkurentosposobnykh stroitel'nykh materialov iz nizkosortnoy drevesiny i drevesnykh otkhodov: dis. ... kand. tekhn. nauk [Scientific basis for obtaining competitive building materials from low-grade wood and wood waste. Dissertation for the degree of the candidate of engineering sciences], Ivanovo, 2011, 36 p.
26. Mikheevskaya M.A. Poluchenie pressovannoy drevesiny s odnorodnymi pokazatelyami kachestva: dis. ... kand. tekhn. nauk [Getting pressure-treated wood with uniform quality indicators. Dissertation for the degree of the candidate of engineering sciences], Voronezh, 2019, 16 p.
27. All information about "Cross laminated timber". Available at: <https://www.klh.at/en/cross-laminated-timber/> (date of reference 22.01.2020).
28. Mavlyuberdinov A.R., Khotsanyan D.N. Tekhnologicheskie osobennosti vozvedeniya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy iz CLT-paneley [Technological features of construction of multi-storey residential buildings from CLT panels]. *Izvestiya KGASU* [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering], 2018, No 1 (43), pp. 219-225.
29. Evans L. Cross laminated timber. Taking wood buildings to the next level, *American Wood Council, and FP Innovations*, 2013, 12 p.
30. GOST R 56706-2015. Plity kleenye iz pilomaterialov s perekrestnym raspolozheniem sloev. Tekhnicheskie usloviya. Data vvedeniya 2016-05-01 [GOST R 56706-2015. Glued Boards made of lumber with cross-arrangement of layers. Technical conditions. Date of introduction 2016-05-01], Moscow, 2016, 10 p.
31. SP 299.1325800.2017. Konstruktsii derevyannye s uzlami na vintah. Pravila proektirovaniya. Data vvedeniya 2018-02-17 [SP 299.1325800.2017. Wooden structures with nodes on screws. Design rules. Date of introduction 2018-02-17], Moscow, 2017, 26 p.

32. Santi S., Pierobon F., Corradini G., Cavalli R., Zanetti M. Massive wood material for sustainable building design: the Massiv-Holz-Mauer wall system, *Journal of Wood Science*, 2016. No. (62), pp. 416-428.
33. МНМ Massiv-Holz-Mauer. Available at: <https://www.massivholzmauer.de/> (date of reference 12.02.2020)
34. Agrop Nova Kompleksnaya stroitel'naya sistema iz massivnogo dereva «NOVATOP». Versiya «Internationale Rus» [Complex construction system made of solid wood «NOVATOP». Version «Internationale Rus»], Moscow, 2011, 52 p.
35. Skuratov N.V. Innovatsionnye legkie paneli iz drevesiny. Kompozitsionnye materialy [Innovative lightweight wood panels. Composite material], *Lesnoy vestnik* [Timber Bulletin], 2016, No 3 (20), pp. 60-65.
36. ООО "Tsentri Tekhnologiy Derevoobrabotki" Plity DendroLight [Plates Dendrolight], *Derevoobrabotka. Oborudovanie i instrument* [Woodworking. Equipment and tools], 2010, No 1, pp. 20-22.
37. Zhadanov V.I., Ukrainchenko D.A., Inzhutov I.S., Afanasyev V.E. Specific features of residential house design for northern latitudes, *Bulletin of the Volga State University of Technology. Ser.: Materials. Structures. Technologies*, 2017, No. 4, pp. 55-65.

Information about the authors

INZHUTOV Ivan Semenovich – Scientific Advisor of the Russian Academy of Architectural and Building Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director of the School of Engineering and Construction of Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Research interests – timber structures. Author of 200 publications. E-mail: ivaninzhutov@gmail.com.

RUDIAK Kristina Aleksandrovna – post-graduate student and engineer of the Department of Building Structures and Controlled Systems. Civil Engineering Institute of Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Research interests – wooden structures, joining elements of wooden structures. Author of 10 publications. E-mail: Kris345R2007@yandex.ru.

LIAKH Nikolai Ivanovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures and Controlled Systems. Civil Engineering Institute of Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Research interests – woodworking technologies, wooden structures. Author of over 40 publications. E-mail: layx@mail.ru.

DEORDIEV Sergei Vladimirovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Building Structures and Controlled Systems. Civil Engineering Institute of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Research interests – behavior of wood under dynamic influences. Author of over 80 publications. E-mail: SDeordiev@sfu-kras.ru.

ZHADANOV Viktor Ivanovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor and Head of the Department of Building Constructions, Orenburg State University, Orenburg. Research interests – improvement of building design. Author of over 370 publications. E-mail: organ-2003@bk.ru

Библиографическая ссылка

Обзор технологий деревянного домостроения / **И. С. Инжутов**, К. А. Рудяк, Н. И. Лях, С. В. Деордиев, В. И. Жаданов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. – № 1(17). – С. 47-61. – DOI: 10.25686/2542-114X.2021.1.47