

БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КЛЕЕННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В.И. Запруднов¹, Н.Г. Серегин^{2✉}, А.С. Курдюков²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет)» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

SereginNG@mgsu.ru

Рассмотрены большепролетные клееные деревянные конструкции для строительства зданий и сооружений. Приведены проектируемые и реализованные конструкции уникальных зданий и сооружений, изготовленные из большепролетных клееных деревянных элементов. Установлено, что применение большепролетных клееных деревянных конструкций, позволяет создавать элементы разнообразных размеров и форм, обеспечивать перекрытие больших пролетов при низких нагрузках на опоры, фундамент и грунт основания, почти на треть удешевить стоимость строительства покрытия по сравнению с конструкциями из металла и железобетона, а также гарантировать устойчивость при пожаре. Проанализированы основные виды конструктивных решений большепролетных клееных деревянных конструкций и приведена технология их изготовления. Показана возможность изготовления в заводских условиях клееных материалов по отлаженным технологиям.

Ключевые слова: большепролетные клееные деревянные конструкции, клееная древесина, клееные деревянные конструкции, уникальное здание и сооружение

Ссылка для цитирования: Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Курдюков А.С. Большепролетные клееные деревянные конструкции и технология их изготовления // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 138–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-138-146

Площадь лесов в мире составляет 4,06 млрд га или 31,5 % площади суши. В России леса занимают около 809 млн га или около 20 % всех лесов мира. По площади лесов Россия занимает первое место в мире, они покрывают 46,6 % территории страны, что оказывает существенное влияние на климатические условия, а также на развитие материальной базы для строительной индустрии.

Тенденции последних лет в европейских странах свидетельствуют о возрастании интереса к производству и использованию деревянных конструкций не только в области малоэтажного строительства, но и в строительстве большепролетных сооружений.

В России большими темпами идет строительство зданий и сооружений с применением древесины, создаются проекты и осуществляется строительство уникальных зданий и сооружений из большепролетных клееных деревянных конструкций. Строительные организации России освоили возведение большепролетных деревянных конструкций, однако пока не распространено их массовое применение.

Требования к качеству деревянных изделий отражены в нормативных документах [1, 2].

В сфере строительства объектов с большой длиной пролета имеются основные виды кон-

структивных решений, к которым относятся балочные, арочные, рамные конструкции, а также фермы [3–6].

В области деревянного строительства России активно развиваются и внедряются новые технологии [2, 7–22].

Цель работы

Цель работы — расширение сферы применения большепролетных клееных деревянных конструкций при строительстве зданий и сооружений, совершенствование видов конструктивных решений и технологии их производства.

Объект исследования

Объектом исследования служили большепролетные клееные деревянные конструкции (БКДК) в зданиях и сооружениях Российской Федерации: выставочных павильонах; концертных залах; торговых комплексах; стадионах и ледовых аренах; пешеходных мостах; жилых домах; теннисных кортах; бассейнах; спортивных комплексах; физкультурно-оздоровительных комплексах; сельскохозяйственных и животноводческих сооружениях (теплицах, фермах); промышленных и складских зданиях; сооружениях с химически агрессивной средой (производство удобрений и целлюлозно-бумажное производство).

В мире реализованы следующие проекты уникальных зданий и сооружений с применением самых крупных большепролетных деревянных конструкций:

– аэропорт имени Марко Поло, Италия — имеет свободное пространство в 30 м без опорных элементов;

– Zaha Hadid Architects — Sky Forest, Китай — включает в себя два здания, каждое из которых имеет свободное пространство более 80 м без промежуточных опорных элементов;

– национальный стадион в Пекине, Китай — имеет свободное пространство в 80 м без опорных элементов;

– башня Mjøstårnet в г. Брумундал, Норвегия — самое высокое здание на планете высотой 85,4 м, основной строительный материал — клееный брус;

– церковь Похвистнева, Россия — имеет свободное пространство в 35 м без опорных элементов;

– жилой комплекс WОНА, Сингапур — имеет свободное пространство в 40 м без опорных элементов.

Результаты и обсуждение

Проекты большепролетных клееных деревянных конструкций. Большепролетные клееные деревянные конструкции (БКДК) представляют собой комплекс строительных конструкций, изготавливаемый из древесины, претерпевшей некоторые технологические операции, в результате которых древесина наделяется высокими пластическими и конструктивными характеристиками, не свойственными обычной древесине (рис. 1).

С помощью БКДК можно создавать здания с пролетом 12...150 м без использования внутренних промежуточных опор.

Основные виды большепролетных клееных деревянных конструкций. В сфере строительства объектов с большой длиной пролета известны основные виды конструкций, получившие наибольшее распространение.

Каждая конструкция обладает определенными особенностями, а выбор того или иного ее вида зависит от функционального назначения и технологии применения.

Рассмотрим основные виды конструкций БКДК по данным, представленным в работах [11–14, 23–38].

Балочные БКДК — простой вид конструкций, представляющий собой большепролетные фермы, которые состоят из клееных балок. Получили широкое применение при возведении спортивных сооружений и общественных зданий. Обладают оптимальными статическими характеристиками, однако имеют достаточно большую массу по сравнению с арочными, а также более легкий и быстрый процесс монтажа (рис. 2).



Рис. 1. Большепролетные клееные деревянные конструкции
Fig. 1. Large-span glued wooden structures



Рис. 2. Балочные большепролетные клееные деревянные конструкции
Fig. 2. Large-span glued wooden beam structures

Арочные БКДК — широко распространенный в России вид конструкций, используемый при строительстве производственных и сельских зданий, в частности треугольные арки. Применяются для пролетов 12...100 м, с высотой подъема пологих арок 1/4...1/8 пролета и высоких арок — 1/2 пролета. Один из главных плюсов арочных БКДК — простое изготовление и быстрый монтаж. Технология производства БКДК арочной конфигурации предусматривает предварительное напряжение клееной древесины (рис. 3).



Рис. 3. Арочные большепролетные клееные деревянные конструкции

Fig. 3. Arched large-span glued wooden structures

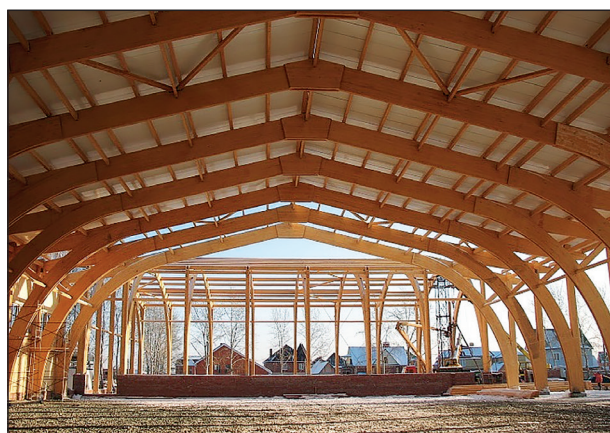


Рис. 4. Рамные большепролетные клееные деревянные конструкции

Fig. 4. Large-span glued wooden frame structures



Рис. 5. Фермы

Fig. 5. Farms

Рамные БКДК — вид конструкций различного очертания, часто используется в однопролетных зданиях. Рамы состоят из стойки и ригеля преимущественно сплошного прямоугольного, реже двутаврового или коробчатого сечения (рис. 4).

Фермы — менее распространенные конструкции по сравнению с арками и рамами, вследствие большой трудоемкости их изготовления. Наиболее распространены треугольные двускатные и односкатные фермы, а также фермы с параллель-

ными поясами и раскосно-стойечной или раскосной стержневыми решетками. Конструкции опорных узлов (рис. 5) позволяют применять фермы при разнообразных нагрузках, что значительно расширяет область их применения.

Исходя из задач, которые должна выполнять та или иная деревянная конструкция, подбирают ее вид, сечение, длину пролета и высоту элементов. БКДК применяют в основном при строительстве зданий и сооружений различного назначения, в том числе, осуществляемых по индивидуальным проектам.

Как известно, наиболее эффективно производство, ориентированное на массовый выпуск однотипных конструкций, так как в этом случае процесс производства можно максимально механизировать и автоматизировать, что обеспечит низкую стоимость конструкций и высокое качество продукции. Однако использование однотипных БКДК не всегда рационально по причине возможной утраты их главного достоинства — возможности изготовления конструкций без значительной перестройки технологического процесса, т. е. практически любых размеров и очертаний, обладающих ярко выраженной архитектурной индивидуальностью. Выход из создавшегося положения может быть найден в переориентировании промышленности на выпуск деревянных унифицированных конструкций и элементов ограниченной номенклатуры и создании на их основе большого числа конструкций, в том числе и довольно оригинальных.

Учитывая, что производство БКДК ориентировано преимущественно на использование пиломатериалов стандартных размеров, унифицировать следует прежде всего размеры пиломатериалов.

Рекомендуются 10 оптимальных сечений пиломатериалов толщиной 25, 50, 100, 150 мм и шириной 100, 125, 150, 175 мм. Для многослойных конструкций вводится также толщина 40 мм.

Поскольку основным элементом БКДК является слой, т. е. склеенная по длине из коротких заготовок лента, обычно соответствующая длине конструкций или их элементов, унифицируется наиболее важный параметр — толщина слоя. Для прямолинейных конструкций толщина слоя составляет 33 мм из пиломатериала толщиной 40 мм, а для криволинейных конструкций радиусом по нижней кромке менее 8 м и толщиной 20 мм — из пиломатериала толщиной 25 мм.

Проблему оптимизации толщины слоя преждевременно называть решенной. Для несущих конструкций при гарантированном качестве изготовления толщина слоя может составлять от 40 до 60 мм. Большинство операций технологического процесса — от сушки до фрезерования склеенных по длине слоев — можно производить без

какой-либо переналадки оборудования, хотя эти слои используются на завершающих операциях технологического процесса — при сборке и склеивании для изготовления широкой номенклатуры конструкций. Толщина слоя согласуется с рекомендуемой градацией изменения высоты сечения конструкций, равной 100 мм.

Унификация ширины сечения клееных элементов также является одним из важных вопросов. В проектах деревянных конструкций используются различные значения ширины. По частоте встречаемости они распределены следующим образом: 120 мм — 17,5 %; 140 мм — 43 %; 170 мм — 13 %; 190 мм — 5,5 %. Остальные 14 значений ширины поперечных сечений конструкций составляют примерно 2 %. Значения ширины 130 и 150 мм составляют только по 0,5 %.

Таким образом, наиболее часто рекомендуемые конструкции имеют ширину сечения 120, 140 и 170 мм. Если рассмотреть связь между указанными размерами и шириной сечений пиломатериалов, рекомендуемых ГОСТ 24454–80 «Пиломатериалы хвойных пород. Размеры», более близкой к размеру сечения клееных элементов — 120 мм оказывается ширина сечения пиломатериалов 150 мм. Ширина сечения 140 мм в конструкции после чистовой обработки может быть получена из пиломатериалов шириной 150 мм и даже 175 мм, так как ширина 150 мм в ряде случаев оказывается недостаточной для придания поверхности конструкции требуемого качества. Сечения шириной 170 мм и более не могут быть получены без предварительного склеивания слоев по ширине.

Наиболее перспективно применение прямолинейных унифицированных клееных элементов по сравнению с криволинейными. Одинаковые элементы можно применять в качестве самостоятельных конструкций, например балок. Они могут быть составной частью арок и ферм (верхних поясов металлодеревянных арок, поясов и решеток ферм, других частей строительных конструкций), из них создаются клееные каркасы панелей. Возможно их применение в индивидуальных проектах.

Значительно сложнее решается вопрос с унификацией криволинейных конструкций, хотя есть возможность создавать конструкции различных форм и назначения на основе ограниченного числа унифицированных элементов. На основе только одного криволинейного элемента, в частности типовой стрелчатой полуарки, созданы разнообразные по назначению объекты.

При использовании в качестве базового элемента типовой стрелчатой полуарки свободными от жесткой унификации приняты длина и высота сечения элементов, что не вызывает особых затруднений при производстве. Вместе с

тем наиболее важные для производства параметры — радиус кривизны, толщина слоя и ширина сечения жестко унифицированы.

Технология изготовления большепролетных клееных деревянных конструкций. Изготовление БКДК в Российской Федерации осуществляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству деревянных изделий [1, 2] и проектной документацией.

Технология производства изделий из БКДК включает в себя несколько основных операций [7–10]: сушку пиломатериалов, механическую обработку пиломатериалов, сборку заготовок БКДК и механическую обработку клеенных конструкций.

Сушка пиломатериалов — один из важнейших этапов технологического процесса изготовления клеенных конструкций, в значительной степени определяющий их эксплуатационную прочность. Некачественная сушка вызывает коробление досок и снижение механической прочности древесины, является причиной неравномерной влажности досок в отдельных партиях пиломатериалов и большого перепада влажности по толщине досок, что приводит к дополнительным напряжениям в слоях конструкций, снижающим их прочность и иногда вызывающим преждевременное разрушение. Это значительно усугубляется наличием видимых дефектов сушки, таких как трещины, покоробленность, которые полностью устранить очень сложно. Вырезка дефектных мест и отбраковка непригодных из-за некачественной сушки досок увеличивает расход древесины, повышает трудоемкость их изготовления.

Сушка пиломатериалов включает в себя следующие технологические операции: формирование штабелей из пиломатериалов; атмосферную сушку; камерную сушку; обработку высушенных пиломатериалов в течение 5 сут. в температурно-влажностных камерах для выравнивания влажности и уменьшения остаточных напряжений в древесине.

Различают три уровня относительной влажности древесины:

- 1) начальная влажность пиломатериалов, достигающая 80...90 %;
- 2) транспортная влажность — 20...25 %;
- 3) технологическая влажность, при склеивании конструкций составляющая 8...15 %.

Пиломатериалы, предназначенные для изготовления конструкций I класса, подвергают сушке в две стадии: на первой — до транспортной влажности, на второй — до технологической. Для этой цели на первой стадии проводится преимущественно атмосферная сушка по ГОСТ 3808.1–2019, на второй — камерная сушка по ГОСТ 19773–2023.

Атмосферная сушка — процесс сложный и трудоемкий, но не затратный, обеспечивает равномерную влажность пиломатериалов. Создание переходящего запаса пиломатериалов вполне оправдывает организацию этого процесса. Желательно, чтобы переходящий запас пиломатериалов, находящихся в условиях атмосферной сушки, составлял 6...12 мес.

С экономической точки зрения наилучших результатов можно достичь при атмосферной сушке пиломатериалов до транспортной влажности. Дальнейшее снижение влажности происходит при атмосферной сушке очень медленно. Эффективность атмосферной сушки в зимнее время мала (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Примерная продолжительность атмосферной сушки пиломатериалов хвойных пород в зависимости от толщины пиломатериалов, мм
The approximate duration of atmospheric drying of softwood lumber, depending on the thickness of the lumber

Месяц укладки пиломатериалов для сушки	Срок сушки, сут.	
	25...30 мм	40...50 мм
Март	12...23	25...32
Апрель, май	30...34	38...47
Июнь, июль	10...13	17...34
Август, сентябрь	26...34	36...43
Октябрь	12...30	25...32

Для доведения пиломатериалов до технологической влажности используют, как правило, камерную сушку в соответствии с ГОСТ 19773–2023. Важно учитывать рекомендации, изложенные в технической документации на конкретные типы сушильных камер.

В производстве БКДК I и II классов рекомендуется использовать мягкие и нормальные режимы камерной сушки пиломатериалов.

Качество сушки определяют по следующим показателям:

- по соответствию средней влажности пиломатериалов заданной конечной;
- величине отклонений влажности отдельных досок в партии от средней в штабеле;
- перепаду влажности по толщине досок;
- остаточным внутренним напряжениям.

По завершении процесса сушки необходимо выгруженные из камер штабели пиломатериалов выдержать (кондиционировать) не менее 3 сут. в закрытом помещении, при температуре 16...22 °C и влажности воздуха 45...60 %. При этом в пиломатериалах частично релаксируются внутренние напряжения.

Механическая обработка пиломатериалов, предусматривает такие технологические операции, как раскрой пиломатериалов на черно-

вые заготовки, вырезку недопустимых пороков, торцовку заготовок и фрезерование зубчатых шипов.

Сборка заготовок БКДК состоит из подготовки заготовок к склеиванию, нанесения клея, сборки и запрессовки заготовок и выдержки заготовок в прессах.

Подготовка заготовок к склеиванию заключается в их накоплении в специальных кассетах и подаче кассет на линию для нанесения клея. При этом клей рекомендуется наносить на обе склеиваемые поверхности, однако при массовом производстве часто используют одностороннее нанесение клея с помощью специальных клееналивных станков (рис. 6).

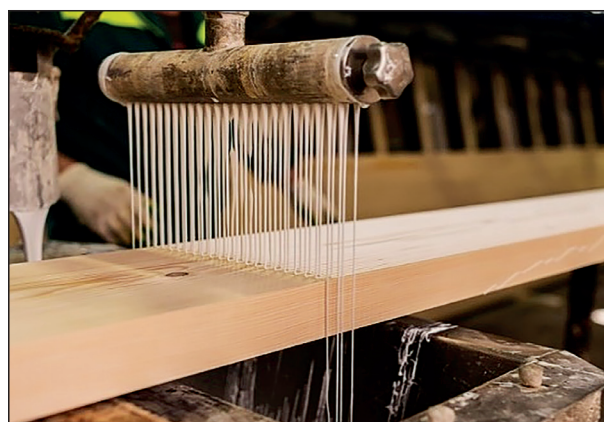


Рис. 6. Нанесение клея на заготовку из древесины
Fig. 6. Applying glue to a wood billet



Рис. 7. Запрессовка клееных деревянных конструкций
Fig. 7. Pressing of glued wooden structures

После нанесения клея на всю заготовку, для сборки и запрессовки отводится не более 40 мин. Запрессовка конструкций осуществляется в специальных прессах с гидравлическим или механическим приводом (рис. 7). Далее изделия отправляют на дополнительную фрезеровку.

Для обеспечения качественного склеивания отверждение клея должно осуществляться при плотном контакте склеиваемых поверхностей с нанесенным между ними слоем клея. Выполнение этого условия обеспечивается правильным выбором режимов склеивания, т. е. продолжительностью выдержки склеиваемых конструкций в запрессованном состоянии.

Т а б л и ц а 2

**Рекомендуемая продолжительность
выдержки склеиваемых конструкций
в зависимости от температуры воздуха**
The recommended exposure time of the glued structures,
depending on the air temperature

Конструкции	Продолжительность выдержки, ч	
	18...20 °С	22...25 °С
Прямолинейные	12...14	8...10
Криволинейные	20...24	16...18

Т а б л и ц а 3

**Рекомендуемая продолжительность
выдержки склеиваемых конструкций
под давлением в зависимости
от температуры воздуха**
The recommended duration of exposure of glued struc-
tures under pressure, depending on the air temperature

Ширина клеевой прослойки, мм	Продолжительность выдержки, мин		
	30...40 °С	50...60 °С	80...90 °С
До 100	180...240	90...120	60...70
101...200	240...300	170...210	80...90
Свыше 200	360	240	120

Время выдержки склеиваемых конструкций в запрессованном состоянии при определенной температуре и влажности воздуха зависит от технологических свойств применяемого клея, размеров склеиваемых слоев и некоторых других факторов (табл. 2, 3).

Механическая обработка склеенных конструкций. Данная обработка предусматривает обрезку торцов и фрезерование пластей многослойных конструкций, сверление отверстий под болты и закладные детали, вклеивание металлических стержней. Если конструкции предназначены для отделки прозрачными покрытиями, видимые их части должны иметь хорошую чистоту обработки, шероховатость не более 300 мкм по ГОСТ 7016–2022 и небольшие, до 0,1 мм, уступы смежных слоев. Допуски линейных размеров должны соответствовать 5-му классу по ГОСТ 21779–2023, а припуски на фрезерование боковых поверхностей многослойных конструкций должны быть при длине конструкций до 12 м не более 15 мм, свыше 12 м — не более 20 мм.

Выводы

1. Конструкции из древесины получают все большее развитие и популярность. Применение БКДК, позволяет добиться создания элементов разнообразных размеров и форм, возможности перекрытия больших пролетов при низких нагрузках на опоры, фундамент и грунт основания, почти на

треть удешевляет стоимость строительства покрытия по сравнению с конструкциями из металла и железобетона, а также устойчивы при пожаре.

2. Клееный материал изготавливается в заводских условиях по отлаженным технологиям, за счет чего, древесина приобретает повышенную механическую прочность, а также высокую устойчивость к агрессивным средам. Так же клееную древесину используют в местах, где металлические конструкции подвержены быстрой коррозии.

3. Необходимо продолжать дальнейшие работы по унификации БКДК, которые должны включать следующее:

- совершенствование сортамента деревянных унифицированных конструкций;
- разработку принципиальных решений с использованием деревянных унифицированных конструкций;
- обоснование технических требований к качеству деревянных унифицированных конструкций на всех стадиях: производства, транспортирования, хранения, монтажа, эксплуатации и системы их обеспечения;
- составление нормативно-технической документации по применению деревянных унифицированных конструкций и организации постоянного контроля над изменением состояния конструкций при монтаже и эксплуатации;
- изучение и организация рынка сбыта деревянных унифицированных конструкций.

Список литературы

- [1] ГОСТ Р 56705–2015 Конструкции деревянные для строительства. Дата введения 2016-05-01. Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.11.2015 г. № 1789-ст. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.
- [2] СП 64.13330.2017 Свод правил. Деревянные конструкции. Дата введения 2017-08-28. Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27.02.2017 № 129/пр. М.: Стандартинформ, 2017. 102 с.
- [3] Гиясов Б.И., Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Стриженко В.В. Конструкции из древесины и пластмасс. М.: АСВ, 2020. 616 с.
- [4] Гиясов Б.И., Серегин Н.Г. Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины. М.: АСВ, 2018. 256 с.
- [5] Гиясов Б.И., Серегин Н.Г., Серегин Д.Н. Конструкции из древесины и пластмасс. М.: АСВ, 2018. 400 с.
- [6] Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Потехин Н.И. Перспективы строительства уникальных зданий и сооружений из древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 128–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136
- [7] Запруднов В.И. Конструкции и архитектура деревянных зданий. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. 480 с.
- [8] Калугин А.В. Деревянные конструкции. М.: АСВ, 2022. 354 с.
- [9] Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Стройматериалы, 2005. 334 с.
- [10] Филимонов Э.В., Гаппоев М.М., Гуськов И.М. Конструкции из дерева и пластмасс. М.: АСВ, 2016. 436 с.

- [11] Лейер Д.В., Рябухин А.К., Маций С.И. Конструкции из дерева и пластмасс. Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2017. 92 с.
- [12] Ломакин А.Д., Устрехов А.И. Огнезащита клееных деревянных конструкций для зданий и сооружений // Жилищное строительство, 2013. № 5. С. 36–40.
- [13] Погорельцев А.А., Турковский С.Б. Большепролетные купола из клееной древесины с жесткими узлами системы ЦНИИСК // Строительная механика и расчет сооружений, 2017. № 4 (273). С. 63–70.
- [14] Погорельцев А.А., Турковский С.Б. Особенности поведения несущих большепролетных конструкций из клееной древесины в условиях пожара // Вестник НИЦ «Строительство», 2014. № 11. С. 46–49.
- [15] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Методика расчета производства клееного оконного бруса для строительных конструкций // Вестник МГСУ, 2017. Том 12. Вып. 2 (101). С. 157–164.
- [16] Серегин Н.Г., Бунов А.А. Методы проектирования металлических и деревянных конструкций. М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2022. 65 с.
- [17] Seregin N.G. Losses in the manufacture of wooden building structures // J. of Physics: Conf. Series. Int. Sci. Conf. on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019 (MMSA 2019), 2020, t. 1425, p. 012133.
- [18] Славик Ю.Ю., Ломакин А.Д. Мониторинг покрытий зданий с каркасом из большепролетных деревянных клееных конструкций // Современные строительные конструкции из металла и древесины. Ч. 2. Одесса: Изд-во Одесской государственной академии строительства и архитектуры, 2008. С. 32–40.
- [19] Суменко В.А., Ломакин А.Д., Погорельцев А.А. Проектирование каркасов из клееной древесины центра санного спорта «Санки» к Олимпиаде-2014 в г. Сочи // Промышленное и гражданское строительство, 2013. № 10. С. 47–49.
- [20] Турковский С.Б., Преображенская И.П., Погорельцев А.А. Клееные деревянные конструкции в современном строительстве (система ЦНИИСК) // ЛесПромИнформ, 2013. № 6 (96). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3283> (дата обращения 05.09.2023).
- [21] Устрехов А.И., Гаращенко Н.А. Показатели конструктивной пожарной опасности деревоклееных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями, и перспективы их использования // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2006. № 6. С. 12–16.
- [22] Федорова О.В. Применение деревянных конструкций для трансформирующихся спортивных сооружений // Архитектон: известия вузов, 2013. № 41. С. 107–113.
- [23] Belostotsky A.M., Akimov P.A., Negrozov O.A., Petryashev N.O., Petryashev S.O., Sherbina S.V., Kalichava D.K., Kaytukov T.B. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems // Magazine of Civil Engineering, 2018. № 2 (78). С. 169–178.
- [24] Петров А.В., Еремеева А.И. Мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов, 2015. № 6. С. 43–45.
- [25] Запруднов В.И. Строительное дело и материалы. СПб.: Лань, 2022. 596 с.
- [26] Запруднов В.И., Санаев В.Г., Никитин В.Ф. Деревянные конструкции. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 447 с.
- [27] Bowers T., M.E. Puettmann I. Ganguly, Eastin I. Cradle-to-gate life-cycle assessment of glue-laminated (glulam): Environmental Impacts from glulam produced in the US Pacific Northwest and southeast // Forest Products Journal, 2017, no. 67(5/6), pp. 368–380.
- [28] Brandner R. Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products // Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 944–960.
- [29] Fink G., Kohler J., Brandner R. Application of European design principles to cross laminated timber // Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 934–943.
- [30] Kwon J. H., Shin R.-H., Ayrilmis N., Han T.H. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment // Materials & Design (1980–2015), 2014, v. 62, pp. 375–381.
- [31] Loss C., Tannert T., Tesfamariam S. State of the art review of displacement based seismic design of timber buildings // Construction and Building Materials, 2018, v. 191, pp. 481–497.
- [32] Moshtaghin A.F., Franke S., Keller T., Vassilopoulos A.P. Experimental characterization of longitudinal mechanical properties of clear timber: Random spatial variability and size effects // Construction and Building Materials, 2016, v. 120, pp. 432–441.
- [33] Moradpour P., Pirayesh H., Grami M., Jouybari I.R. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties // Construction and Building Materials, 2018, v. 158, pp. 236–242.
- [34] Kuzman M.K., Klarić S., Barčić A.P., Vlosky R. Architect perceptions of engineered glued laminated wood beams of maritime pine wood // Construction and Building Materials, 2009, no. 8, v. 23, pp. 2738–2745.
- [35] Kwon J.H., Reynolds T., Casagrande D., Tomasi R. Properties of solid wood and laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis // Construction and Building Materials, 2016, v. 102, pp. 1009–1017.
- [36] Loss C., Sikora K.S., McPolin D.O., Harte A.M. State of the art review of displacement based timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear // Construction and Building Materials, 2016, v. 116, pp. 141–150.
- [37] Wang Z., Gong M., Chui Y.H. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross laminated timber // Construction and Building Materials, 2015, v. 101, pp. 622–627.
- [38] Вавилова Т.Я. Проблемы применения массивных клееных деревянных конструкций в современной архитектуре // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. Самара: Изд-во Самарского государственного архитектурно-строительного университета, 2017. С. 15–19.

Сведения об авторах

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Серегин Николай Григорьевич — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), SereginNG@mgsu.ru

Курдюков Артем Сергеевич — студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), temik.1516@gmail.com

Поступила в редакцию 08.11.2023.

Одобрено после рецензирования 04.12.2023.

Принята к публикации 02.05.2024.

LARGE-SPAN GLUED WOODEN STRUCTURES AND THEIR MANUFACTURING TECHNOLOGY

V.I. Zaprudnov¹, N.G. Seregin^{2✉}, A.S. Kurdyukov²

¹BMSTU (Mytishchi Branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg. Russia

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

SereginNG@mgsu.ru

Large-span glued wooden structures for buildings construction are considered. Designed and realized structures of unique buildings and constructions made of large-span glued wooden elements are given. It is established that the use of large-span glued wooden structures allows to create elements of various sizes and shapes to provide overlapping of large spans at low loads on supports, foundations and base soil, to reduce the cost of pavement construction by almost one third in comparison with structures made of metal and reinforced concrete, as well as to guarantee stability in case of fires. The main types of structural solutions of large-span glued wooden structures are analyzed and the technology of their manufacture is given. The possibility of manufacturing of glued materials in factory conditions according to well-developed technologies is shown.

Keywords: large-span glued wooden structures, large-span structures, glued wood, glued wooden structures, unique building or structure

Suggested citation: Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Kurdyukov A.S. *Bol'sheproletnye kleenye derevyannye konstruksii i tekhnologiya ikh izgotovleniya* [Large-span glued wooden structures and their manufacturing technology]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 138–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-138-146

References

- [1] GOST R 56705–2015 «Konstruksii derevyannye dlya stroitel'stva»: data vvedeniya 13.11.2015 g. № 1789-st. [«Wooden structures for construction»: date of introduction 11/13/2015 no. 1789-st]. Moscow: Standartinform, 2016, 10 p.
- [2] SP 64.13330.2017 «Derevyannye konstruksii»: data vvedeniya 27.02.2017 №129/pr. [«Wooden structures»: date of introduction 02/27/2017 no. 129/pr]. Moscow: Standartinform, 2017, 102 p.
- [3] Giyasov B.I., Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Strizhenko V.V. *Konstruksii iz drevesiny i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Moscow: ASV, 2020, 616 p.
- [4] Giyasov B.I., Seregin N.G. *Konstruksii unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy iz drevesiny* [Designs of unique buildings and structures made of wood]. Moscow: ASV, 2018, 256 p.
- [5] Giyasov B.I., Seregin N.G., Seregin D.N. *Konstruksii iz drevesiny i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Moscow: ASV, 2018, 400 p.
- [6] Zaprudnov B.I., Seregin N.G., Potekhin N.I. *Perspektivy stroitel'stva unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy iz drevesiny* [Prospects for unique buildings construction and wood structures]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 128–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136
- [7] Zaprudnov V.I. *Konstruksii i arkhitektura derevyannykh zdaniy* [Constructions and architecture of wooden buildings]. Moscow: MSTU im. N.E. Bauman, 2023, 480 p.
- [8] Kalugin A.V. *Derevyannye konstruksii* [Wooden structures]. Moscow: ASV, 2022, 354 p.
- [9] Koval'chuk L.M. *Proizvodstvo derevyannykh kleennykh konstruksiy* [Production of wooden laminated structures]. Moscow: Stroimaterialy, 2005, 334 p.
- [10] Filimonov E.V., Gappoev M.M., Gus'kov I.M. *Konstruksii iz dereva i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Moscow: ASV, 2016, 436 p.
- [11] Leyer D.V., Ryabukhin A.K., Matsiy S.I. *Konstruksii iz dereva i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Krasnodar: KubGAU, 2017, 92 p.
- [12] Lomakin A.D., Ustrekho A.I. *Ognezashchita kleennykh derevyannykh konstruksiy dlya zdaniy i sooruzheniy* [Fire protection of laminated wooden structures for buildings and structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2013, no. 5, pp. 36–40.
- [13] Pogorel'tsev A.A., Turkovskiy S.B. *Bol'sheproletnye kupola iz kleenoy drevesiny s zhestkimi uzlamy TsNIISK* [Long-span domes made of laminated wood with rigid units of the TsNIISK system]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural mechanics and design of structures], 2017, no. 4 (273), pp. 63–70.
- [14] Pogorel'tsev A.A., Turkovskiy S.B. *Osobennosti povedeniya nesushchikh bol'sheproletnykh konstruksiy iz kleenoy drevesiny v usloviyakh pozhara* [Features of the behavior of load-bearing large-span structures made of laminated wood in fire conditions]. *Vestnik NITs Stroitel'stvo* [Bulletin of the Scientific Research Center Construction], 2014, no. 11, pp. 46–49.
- [15] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Metodika rascheta proizvodstva kleenogo okonnogo brusa dlya stroitel'nykh konstruksiy* [Methodology for calculating the production of laminated window beams for building structures]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], 2017, v. 12, iss. 2 (101), pp. 157–164.
- [16] Seregin N.G., Bunov A.A. *Metody proektirovaniya metallicheskh i derevyannykh konstruksiy* [Methods for designing metal and wooden structures]. Moscow: MISS-MGSU, 2022, 65 p.
- [17] Seregin N.G. Losses in the manufacture of wooden building structures. *J. of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019 (MMSA 2019)*, 2020, t. 1425, p. 012133.
- [18] Slavik Yu.Yu., Lomakin A.D. *Monitoring pokrytiy zdaniy s karkasom iz bol'sheproletnykh derevyannykh kleennykh konstruksiy* [Monitoring of coatings of buildings with a frame made of long-span wooden laminated structures]. *Sovremennye stroitel'nye konstruksii iz metalla i drevesiny. Ch. 2* [Modern building structures made of metal and wood. Part 2]. Odessa: Odessa State. acad. pp. and architecture, 2008, pp. 32–40.

- [19] Sumenko V.A., Lomakin A.D., Pogorel'tsev A.A. *Proektirovanie karkasov iz kleenoy drevesiny tsentra sannogo sporta «Sanki» k Olimpiade 2014 g. v g. Sochi* [Design of laminated wood frames for the Sanki luge center for the 2014 Olympics in Sochi]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Construction], 2013, no. 10, pp. 47–49.
- [20] Turkovskiy S.B., Preobrazhenskaya I.P., Pogorel'tsev A.A. *Kleenye derevyannye konstruktssii v sovremennom stroitel'stve (sistema TsNIISK)* [Laminated wooden structures in modern construction (TsNIISK system)]. LesPromInform, 2013, no. 6 (96). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3283> (accessed 05.09.2023).
- [21] Ustrekhov A.I., Garashchenko N.A. *Pokazateli konstruktivnoy pozharnoy opasnosti derevokleennykh konstruktssiy, zashchishchennykh vspuchivayushchimysya pokrytiyami, i perspektivy ikh ispol'zovaniya* [Indicators of structural fire hazard of wood-laminated structures protected by intumescent coatings, and prospects for their use]. Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve [Installation and special works in construction], 2006, no. 6, pp. 12–16.
- [22] Fedorova O.V. *Primenenie derevyannykh konstruktssiy dlya transformiruyushchikhsya sportivnykh sooruzheniy* [Application of wooden structures for transforming sports facilities]. Arkhitekton: izvestiya vuzov [Architect: news of universities], 2013, no. 41, pp. 107–113.
- [23] Belostotsky A.M., Akimov P.A., Negrozov O.A., Petryashev N.O., Petryashev S.O., Sherbina S.V., Kalichava D.K., Kaytukov T.B. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems. Magazine of Civil Engineering, 2018. № 2 (78). C. 169–178.
- [24] Petrov A.V., Ereemeeva A.I. *Monitoring stroitel'nykh konstruktssiy zdaniy i sooruzheniy* [Monitoring of building structures of buildings and structures]. Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov [Expertise of industrial safety and diagnostics of hazardous production facilities], 2015, no. 6, pp. 43–45.
- [25] Zaprudnov V.I. *Stroitel'noe delo i materialy* [Construction business and materials]. St. Petersburg: Lan, 2022, 596 p.
- [26] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Nikitin V.F. *Derevyannye konstruktssii* [Wooden structures]. Moscow: Publishing house MSTU im. N.E. Bauman, 2021, 447 p.
- [27] Bowers T., M.E. Puettmann I. Ganguly, Eastin I. Cradle-to-gate life-cycle assessment of glue-laminated (glulam): Environmental Impacts from glulam produced in the US Pacific Northwest and southeast. Forest Products Journal, 2017, no. 67(5/6), pp. 368–380.
- [28] Brandner R. Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products. Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 944–960.
- [29] Fink G., Kohler J., Brandner R. Application of European design principles to cross laminated timber. Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 934–943.
- [30] Kwon J. H., Shin R.-H., Ayrlimis N., Han T.H. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment. Materials & Design (1980–2015), 2014, v. 62, pp. 375–381.
- [31] Loss C., Tannert T., Tesfamariam S. State of the art review of displacement based seismic design of timber buildings. Construction and Building Materials, 2018, v. 191, pp. 481–497.
- [32] Moshtaghin A.F., Franke S., Keller T., Vassilopoulos A.P. Experimental characterization of longitudinal mechanical properties of clear timber: Random spatial variability and size effects. Construction and Building Materials, 2016, v. 120, pp. 432–441.
- [33] Moradpour P., Pirayesh H., Grami M., Jouybari I.R. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties. Construction and Building Materials, 2018, v. 158, pp. 236–242.
- [34] Kuzman M.K., Klarić S., Barčić A.P., Vlosky R. Architect perceptions of engineered glued laminated wood beams of maritime pine wood. Construction and Building Materials, 2009, no. 8, v. 23, pp. 2738–2745.
- [35] Kwon J.H., Reynolds T., Casagrande D., Tomasi R. Properties of solid wood and laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis. Construction and Building Materials, 2016, v. 102, pp. 1009–1017.
- [36] Loss C., Sikora K.S., McPolin D.O., Harte A.M. State of the art review of displacement based timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear. Construction and Building Materials, 2016, v. 116, pp. 141–150.
- [37] Wang Z., Gong M., Chui Y.H. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross laminated timber. Construction and Building Materials, 2015, v. 101, pp. 622–627.
- [38] Vavilova T.Ya. *Problemy primeneniya massivnykh kleennykh derevyannykh konstruktssiy v sovremennoy arkhitekture* [Problems of using massive laminated wood structures in modern architecture]. Arkhitektura i dizayn: istoriya, teoriya, innovatsii [Architecture and design: history, theory, innovation. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering], 2017, pp. 15–19.

Authors' information

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Seregin Nikolay Grigor'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), SereginNG@mgsu.ru

Kurdyukov Artem Sergeevich — Student of the Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), temik.1516@gmail.com

Received 08.11.2023.

Approved after review 04.12.2023.

Accepted for publication 02.05.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest