

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.011.14

ББК 20.1:38



<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-92-101>

Перспективы применения древесины перекрестно-клееной в условиях Арктики

Агафонов С.А., Михеев П.Ю.✉, Углов А.К.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

✉ vechkin@rambler.ru

Аннотация. В статье исследованы перспективы применения древесины перекрестно-клееной (ДПК) в Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ) для строительства зданий различного функционального назначения. Рассмотрена технология производства ДПК. Приведены примеры применения ДПК при строительстве зданий различного функционального назначения в мире и России. Проанализированы технические характеристики ДПК и их преимущества при использовании для строительства в АЗ РФ.

Ключевые слова: древесина перекрестно-клееная, технические характеристики, Арктика, строительство, здание

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Агафонов С.А., Михеев П.Ю., Углов А.К. Перспективы применения древесины перекрестно-клееной в условиях Арктики. *Арктика и инновации*. 2024;2(2):92–101. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-92-101>

Prospects for the application of cross-laminated timber under Arctic conditions

Sergei A. Agafonov, Pavel Yu. Mikheev✉, Alexey K. Uglov

Peter the Great State Polytechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉ vechkin@rambler.ru

Abstract. Prospects for applying cross-laminated timber (CLT) in the construction of buildings for various functional purposes in the Arctic zone of the Russian Federation are investigated. A CLT manufacturing technology is considered. Examples of CLT use in the construction of buildings for various functional purposes in the Russian and international practice are provided. The technical characteristics of CLT and its advantages when used for construction in the Russian Arctic are analyzed.

Keywords: cross-laminated timber, CLT, technical characteristics, Arctic, construction, building

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Agafonov S.A., Mikheev P.Yu., Uglov A.K. Prospects for the application of cross-laminated timber under arctic conditions. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):92–101. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-92-101>

Глобальная конкуренция за ресурсы и транспортные коммуникации трансформирует Арктический регион из мировой периферии в зону пристального внимания. Арктическая зона Российской Федерации (АЗ РФ) включает в себя 9 регионов. Четыре относятся к ней полностью, а пять — частично (рис. 1). Площадь Арктической зоны составляет 4,8 млн км² (порядка 28 % территории страны). Здесь проживает около 2,6 млн чел. [1].

В 2022 г. был подписан Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [2]. В предложенной стратегии низкий уровень доступности благоустроенного жилья назван в числе основных угроз национальной безопасности в Арктике. Ядром государственной политики является инновационная модернизация, способная обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие, модернизацию инфраструктуры, создание новых высококвалифицированных рабочих мест, повышение качества жизни населения, развитие сообществ коренного населения, охрану местных экосистем. В том числе посредством преодоления ограниченности инфраструктуры ар-

ктической транспортной системы — Северного морского пути (СМП).

Социально-экономическое развитие АЗ РФ связано со значительными сложностями, связанными с ее удаленностью, экстремальными природно-климатическими условиями региона (низкие температуры, длительные периоды темноты, вечномёрзлые грунты, короткий летний сезон и т.д.) и высокими затратами при реализации традиционных строительных решений. Кроме того, строительство в Арктическом регионе сопряжено с экологическими рисками. Все это требует поиска и применения эффективных и адаптивных технологий и строительных материалов для возведения зданий различного функционального назначения и формирования природно-технических систем.

Достигнутый в последние годы значительный прогресс в области технологий производства, совершенствовании методик расчета и конструирования клееных деревянных конструкций (КДК) и накопленный позитивный опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений различной степени сложности из древесины и ее производных [3, 4] позволяют все более широко применять КДК в строительной индустрии. Использование

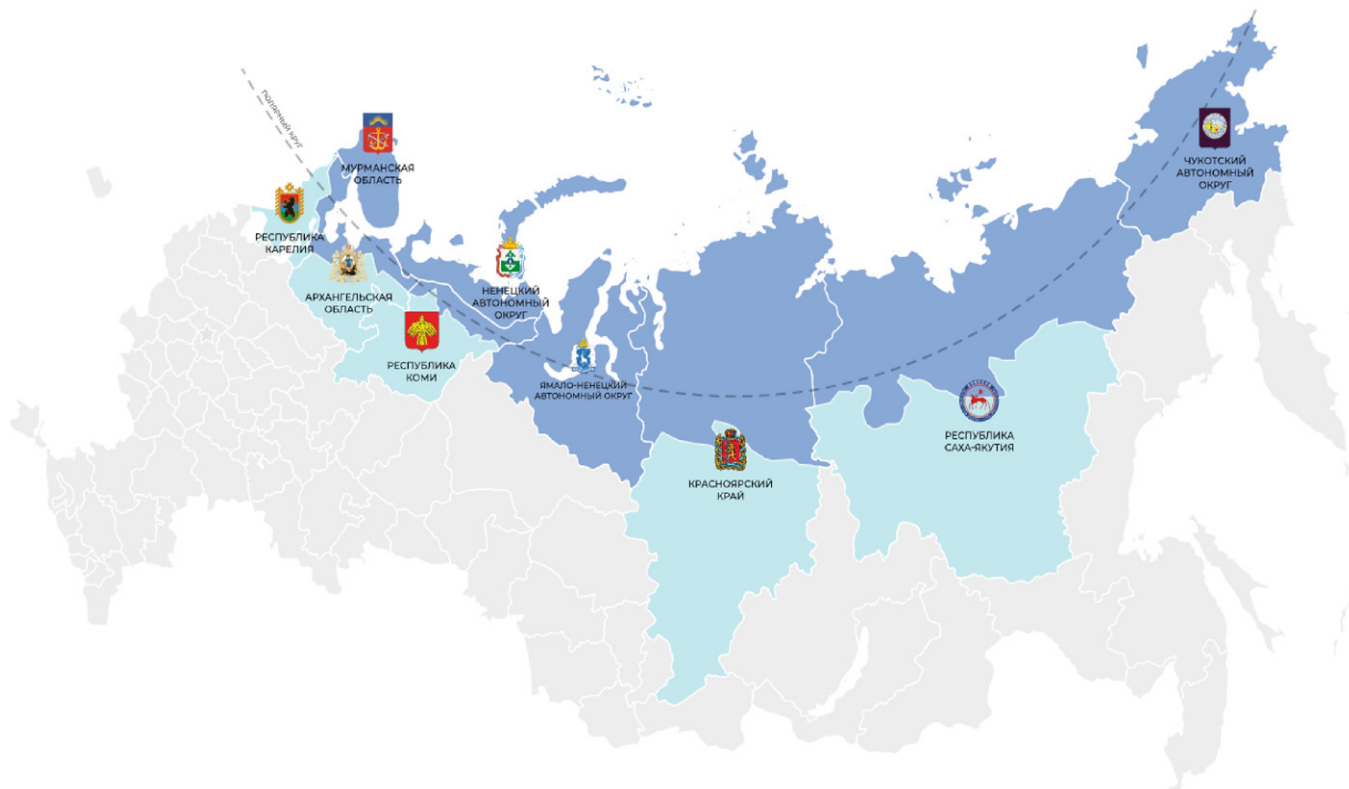


Рис. 1. Арктическая зона Российской Федерации [1]

Fig. 1. Arctic zone of the Russian Federation [1]

КДК в строительстве приобретает все большие масштабы в мире и России. Согласно данным, приведенным в [5], объем рынка клееной древесины в мире в 2023 г. составил 360,41 млрд долл. Ожидается, что в 2024 г. он составит 381,42 млрд долл., к 2030 г. достигнет 542,68 млрд долл. (рост порядка 6 % в год).

Объем ввода зданий с использованием деревянных конструкций в России вырос в 2023 г. по сравнению с 2021 г. на 31 % и составил 14,2 млн м². При этом в сегменте клееной древесины рост составил порядка 13 % [6].

Строительные изделия из клееной древесины позволяют формировать ограждающие, вертикальные (стены, стойки) и горизонтальные (перекрытия и покрытия, ригели) несущие элементы остова здания или сооружения, в том числе комбинируя их с более «традиционными» строительными материалами.

В настоящей статье внимание авторов сфокусировано на одном из наиболее перспективных видов КДК — древесине перекрестно-клееной (ДПК) (англ. назв. Cross-Laminated Timber = CLT), привлекающей внимание участников рынка и исследователей строительных конструкций [7, 8]. Согласно оценкам специалистов, ежегодно мировой рынок ДПК растет примерно на 14 % и к 2023 г. достигнет 2 млрд долл. [9].

Технология производства ДПК (используемые в зарубежных источниках наименования и торговые марки: CLT, X-lam, Cross-lam, KLN, Holz-massiv) в ее современном исполнении была разработана в начале 1990-х годов в Германии и Австрии, а к 2000-м гг. материал получил широкое распространение при возведении строительных конструкций зданий и сооружений во многих странах мира. Конструктивные элементы из ДПК сегодня рассматриваются как экологически чистая альтернатива железобетонным конструкциям и производятся большим количеством предприятий как в России, так и за рубежом [10–12].

ДПК представляют собой многослойную конструкцию, в которой ламели уложены послойно и склеены между собой во взаимно перпендикулярном направлении. Геометрические размеры элементов фактиче-



Рис. 2. Общий вид ДПК [12]

Fig. 2. CLT general view [12]

ски ограничены только технологическими и логистическими возможностями производителя. Толщина готового изделия варьируется в диапазоне от 60 до 400 мм, длина может достигать 20 м, а ширина — 3,5 м и более. Число слоев в одном таком элементе может достигать 11, но наиболее распространенными являются 3-, 5- и 7-слойные ДПК. На рисунке 2 показан общий вид ДПК, стрелки указывают на направление ламелей в склеиваемых слоях.

Технология производства ДПК предусматривает следующие этапы [12]:

- 1) сушка до влажности 8–12 %, отбор, проверка влажности и классификация пиломатериала;
- 2) сортировка и отбор пиломатериала по группам;
- 3) продольное фрезерование пиломатериалов;
- 4) торцовка заготовок, нарезка зубчатого шипа, нанесение клеевого состава, сращивание по длине и укладка ламелей в слой будущего изделия;
- 5) нанесение клея на верхнюю поверхность слоя;
- 6) укладка слоев изделия;
- 7) прессование склеенных слоев изделия;
- 8) формирование готового строительного элемента — выполнение отверстий и проемов, шлифовка поверхностей изделия.

Технология изготовления ДПК позволяет в значительной степени снизить влияние недостатков древесины, вызванных ее естественным произрастанием, таких как анизотропия строения, наличие пороков и ограниченность сортамента геометрических размеров поперечных сечений применяемых пиломатериалов. При этом можно в более полной мере использовать преимущества этого строительного материала, к которым необходимо отнести: низкую плотность, высокий коэффициент конструктивного качества

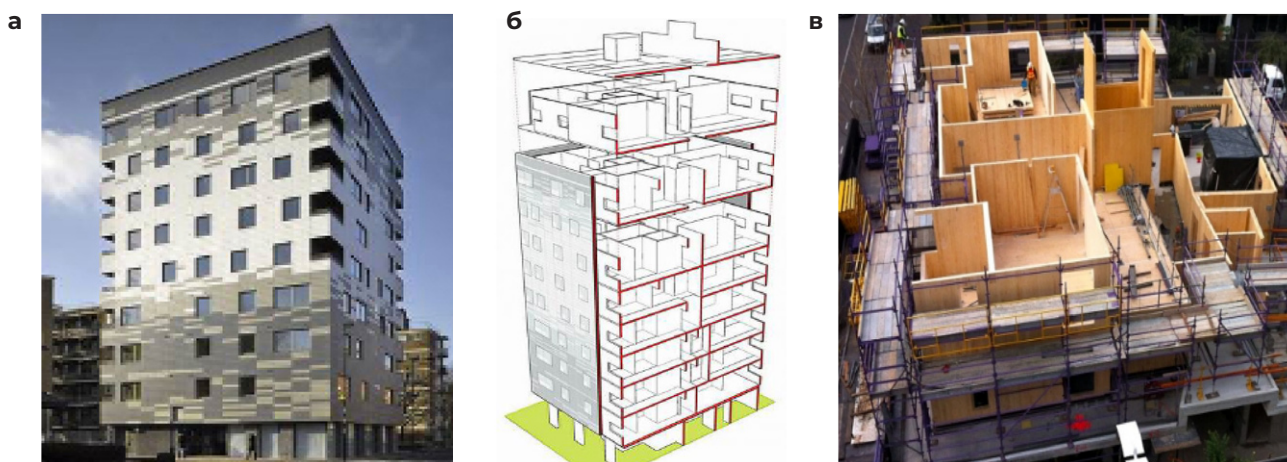


Рис. 3. Многоэтажный жилой дом Stadthaus (г. Лондон, Великобритания): а — фасад здания; б — конструктивная система; в — процесс возведения здания [13]

Fig. 3. Stadthaus multistory residential building (London, UK): а — facade; б — structural system; в — building erection process [13]

(отношение прочности к средней плотности), высокую коррозионную стойкость и низкую теплопроводность. Таким образом, технология позволяет сделать материал более прогнозируемым, обеспечить высокую надежность и конструктивную безопасность зданий и сооружений, а также снизить материалоемкость конструктивных решений.

На сегодняшний день в мире реализовано большое количество проектов зданий различного функционального назначения из ДПК, которые используются в качестве несущих и ограждающих конструкций. Одним из самых первых и в какой-то степени знаковых объектов, построенных с использованием ДПК, является многоэтажный жилой дом Stadthaus, расположенный в г. Лондоне (Великобритания). В данном здании ДПК используются в качестве несущих и ог-

раждающих конструкций. Лестнично-лифтовые узлы из ДПК образуют несущий остов («ядро жесткости») здания, вокруг которого располагаются жилые квартиры. Нагрузка перераспределяется между этим остовом и «сотовой» структурой внутренних и наружных стен (рис. 3).

ДПК активно применяются в северных странах со сложными климатическими условиями. Например, 2009 г. в г. Векше (Швеция) был введен в эксплуатацию жилой комплекс Limnologen, состоящий из 4-х жилых зданий высотой восемь этажей (рис. 4).

В Финляндии в г. Ювяскюля в 2015 г. был построен жилой комплекс Puukuokka Housing Block, состоящий из трех разноэтажных зданий (6–8 этажей). Общая площадь зданий жилого комплекса составляет 18 650 м².



Рис. 4. Жилой комплекс Limnologen (г. Векше, Швеция): а — общий вид жилого комплекса; б — фасад одного из жилых домов; в — элементы остекления на фасаде одного из зданий [14]

Fig. 4. Limnologen residential complex (Växjö, Sweden): а — general view of the residential complex; б — facade of one of the residential buildings; в — vitrification facade elements of one of the buildings [14]

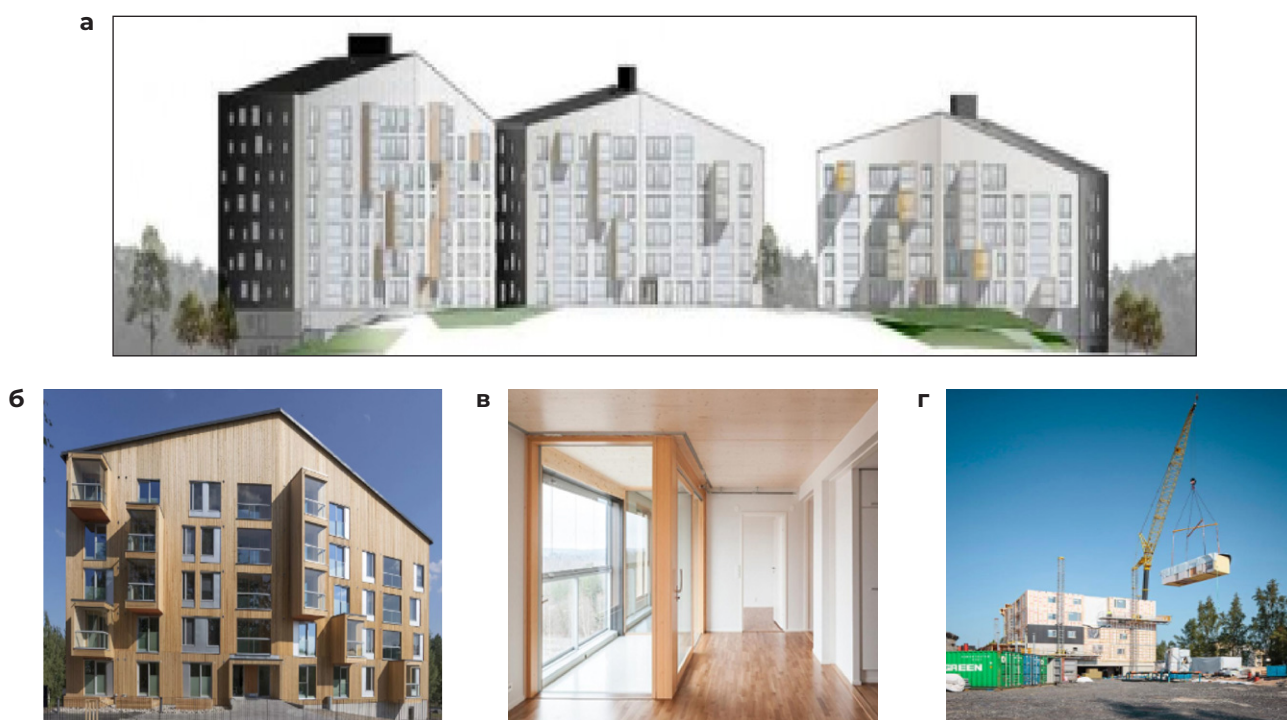


Рис. 5. Жилой комплекс Puukuokka Housing Block (г. Ювяскюля, Финляндия): а — архитектурная модель жилого комплекса; б — фасад одного из зданий жилого комплекса; в — интерьер одной из квартир здания; г — процесс строительства здания (монтаж модулей) [15]

Fig. 5. Puukuokka Housing Block residential complex (Jyväskylä, Finland): а — architectural model of the residential complex; б — facade of one of the buildings; в — interior of an apartment in the building; г — construction process of the building (installation of modules) [15]

Компоновка жилого комплекса и каждого отдельного здания следует очертаниям природного ландшафта (рис. 5) [15].

Показательным проектом последнего времени является первый в России малоэтажный комплекс жилых зданий (высотой 4 этажа) из ДПК, сданный в эксплуатацию в начале 2023 г. (рис. 6). Объект был реализован хол-



Рис. 6. Комплекс малоэтажных жилых зданий (г. Сокол, Вологодская обл.) [16]

Fig. 6. Complex of low-rise residential buildings (Sokol, Vologda Oblast) [16]

дингом Segezha Group (входит в АФК «Система») в г. Соколе (Вологодская обл.). Каждое здание комплекса включает 32 одно- и двухкомнатные квартиры площадью от 48 до 65 кв. м.

К основным преимуществам технологии ДПК, которые способствуют их все более активному использованию, необходимо отнести [17–21]:

- низкую энергоемкость процесса производства в сравнении с производством «традиционных» строительных материалов;
- высокие физико-механические характеристики материала позволяют использовать его для формирования ответственных элементов конструкции — дисков и диафрагм жесткости, несущего остова здания или сооружения;
- легкость строительных элементов и конструкций, позволяющая снизить нагрузки на основание и облегчить конструкции фундаментов;
- высокую степень заводской готовности строительных изделий, позволяющую сократить использование строительной техники и практически исключить сложные

и ресурсоемкие операции при производстве строительно-монтажных работ (СМР), а также значительно повысить скорость возведения зданий и сооружений;

- низкую теплопроводность;
- экологичность;
- сейсмостойкость конструктивных систем на основе ДПК;
- долговечность.

Одним из ключевых вопросов в условиях Арктики является энергоэффективность зданий. Важно подчеркнуть, что теплопроводность ДПК составляет 0,13 Вт/м²×°С. Это значительно ниже, чем у железобетона, кирпича, пенобетона и др. Теплоемкость ДПК составляет 2,0 Дж/кг×°С, что более чем в 2 раза превышает теплоемкость железобетона и кирпича (0,88 Дж/кг×°С и 0,84 Дж/кг×°С соответственно) (табл. 1).

Низкая теплопроводность ДПК в условиях Арктики позволит зданиям сохранить комфортную температуру внутри здания и снизить расходы на тепловую энергию.

Как уже было сказано выше, ДПК обладают низкой плотностью и, как следствие, небольшим удельным весом по сравнению с «традиционными» строительными материалами (табл. 2).

Малый собственный вес конструкций из ДПК позволяет отказаться от мощных монолитных фундаментов, изготовление которых в условиях Арктики представляет собой непростую и дорогостоящую задачу. Здания из ДПК могут быть смонтированы на различных типах свайных фундаментов (винтовые, забивные и т.д.), а также на существующих фундаментах, что особенно актуально для некоторых городов АЗ РФ, где остались фундаменты от демонтированных старых трех- и пятиэтажек. Таким образом, применение ДПК позволяет снизить нагрузку от надземных строительных конструкций на основания в сложных инженерно-геологических условиях вечной мерзлоты (в том числе отступающей) и стабилизировать их состояние.

Отдельно следует отметить, что технология изготовления строительных элементов из ДПК позволяет сделать этот материал высокотехнологичной и экологически чистой альтернативой железобетонным и каменным конструкциям. Так, по результатам проведенных испытаний на перекося разруша-

Таблица 1. Теплопроводность строительных материалов [17, 18]

Table 1. Thermal conductivity of building materials [17, 18].

Наименование материала	Теплопроводность, λ Вт/м ² ×°С
ДПК	0,13
Профилированный брус	0,18
Бетон ячеистый (1000 кг/м ³)	0,41
Керамический кирпич (пустотелый)	0,58
Кирпич глиняный	0,70
Железобетон (2400 кг/м ³)	1,92
Пенобетон (1000 кг/м ³)	0,20
Керамзитобетон (1800 кг/м ³)	0,67

Таблица 2. Плотность строительных материалов [19, 20]

Table 2. Density of building materials [19, 20]

Наименование материала	Плотность ρ, кг/м ³
ДПК	480–500
Железобетон	2400
Глиняный кирпич	1800
Шлакобетон	1800
Керамзитобетон	1600
Бетон ячеистый	1000

ющая статическая нагрузка, по достижении которой работа образцов перешла в стадию пластических деформаций, составила 120 тс для 5-слойной панели и 115 тс для 7-слойной панели. Для сравнения, разрушающая нагрузка для железобетона (толщина 100 мм, армирование — сетка стержней диаметром 16 мм) — 30 тс, для одинарной кирпичной кладки — 20 тс, кладки, усиленной железобетоном, — 30 тс [21–23].

Технология производства и обработки ДПК открывает широкие возможности ее применения в производстве конструкций и элементов для модульного строительства, что весьма актуально для условий Арктического региона. Такой тип строительного производства находит все более широкое применение в строительной индустрии как в мире, так и в РФ благодаря сокращению сроков строительства, увеличению прогнозируемости экономических и качественных характеристик объектов строительства [24, 25].

Возможность повышения степени индустриализации, т.е. переноса значительной части ответственных операций в контролируемые условия, позволяет оптимизировать затраты, исключить ресурсоемкие процессы при выполнении СМР непосредственно на строительной площадке, вывести работы по монтажу за пределы короткого строительного сезона, что весьма

актуально при перспективном развитии АЗ РФ [24].

Таким образом, расширение практики возведения зданий и сооружений из ДПК в условиях Арктики позволит эффективно реализовать инновационную модернизацию и обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие инфраструктуры СМП и АЗ РФ в целом.

Список литературы

1. Арктические регионы России [интернет]. Режим доступа: <https://as.arctic-russia.ru/useful/> (дата доступа 23.04.2024).
2. Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [интернет]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033> (дата доступа 23.04.2024).
3. Погорельцев А.А., Пятикрестовский К.П. Дальнейшее развитие и совершенствование норм проектирования конструкций из древесины. Промышленное и гражданское строительство. 2019;(3):35–41.
4. Герасимович А.А., Агафонов С.А. Обзор мирового опыта проектирования и строительства многоэтажных зданий на основе клеёных деревянных конструкций. Вестник магистратуры. 2020;(5-3):70–77.
5. Global Engineered Wood Market by Type (Cross-Laminated Timber, Glued Laminated Timber, Laminated Veneer Lumber), Application (Non-Residential, Residential) — Forecast 2024-2030; 2024.
6. Аналитический отчёт Discovery research group. Анализ рынка клеёного бруса и деревянных клеёных конструкций в России [интернет]. Режим доступа: https://drgroup.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/Demo.Analiz-rynka-kleenogo-brusa-i-derevyannykh-kleenikh-konstruktsij-v-Rossii.pdf.
7. Смирнов П.Н., Устименко К.А., Ломакин А.Д., Аксенов К.А. Стойкость древесины перекрестноклееной к атмосферным воздействиям. Вестник НИЦ «Строительство». 2022. 35(4):104–116.
8. D'Amico B., Pomponi F., Hart J. Global Potential for Material Substitution in Building Construction: The Case of Cross Laminated Timber. Journal of Cleaner Production. 2021;279:123487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123487>
9. Cross Laminated Timber (CLT) Market Size — By Raw Materials (Spruce, Fir, Pine, Larch), By Press Type (Hydraulic, Vacuum, Pneumatic, Nails), By Application (Residential, Commercial, Industrial), Regional Outlook, Competitive Market Share & Forecast, 2023-2032 [internet]; 2023. Available at: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cross-laminated-timber-clt-market>
10. Дворцова А.С., Ушаков А.Ю. Перспектива применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве. Строительство: наука и образование. 2023;13(4):75–82.
11. Технология производства CLT панелей [интернет]. Режим доступа: <https://www.timbersol.ru/technology/glued-wooden-building-constructions/production-technology-of-clt-panels/> (дата обращения 26.04.2024).
12. Чернова Т.П. Совершенствование конструкции и технологии сопряжения CLT-панелей [диссертация]. Архангельск; 2018.
13. Примеры многоэтажных зданий из древесины. ЛесПромИнформ [интернет]. 2015;(4). Режим доступа: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4100> (дата доступа 27.04.2024).
14. Жилой комплекс Limnologen [интернет]. Режим доступа: <https://www.swedishwood.com/inspiration/architecture/limnologen/> (дата обращения 27.04.2024).
15. Малоэтажный жилой комплекс Puukuokka Housing Block [интернет]. Режим доступа: <https://architizer.com/projects/puukuokka-housing-block/> (дата обращения 28.04.2024).

16. Жилой комплекс, построенный из CLT-панелей Segezha Group, вошел в «Книгу рекордов России» [интернет]. Режим доступа: <https://segezha-group.com/press-center/news/zhiloy-kompleks-postroenny-iz-clt-paneley-segezha-group-voshel-v-knigu-rekordov-rossii/> (дата обращения 29.04.2024).
17. Суханова В.В., Силуянова Д.С. Современные строительные материалы на основе древесины, использующиеся при возведении высотных деревянных зданий. В: Приоритетные направления развития науки и образования. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 марта 2020 г. Пенза: Наука и Просвещение; 2020, р. 49–54.
18. Теплопроводность CLT-панелей [интернет]. Режим доступа: <http://crosslam.ru/content/teploprovodnost-kleenykh-paneley> (дата обращения 29.04.2024).
19. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Москва: Стандартинформ; 2015.
20. Бойтемирова И.Н., Давыдова Е. А. CLT-панели — эффективный материал из древесины для несущих и ограждающих конструкций зданий. Вестник научных конференций. 2016;(12-1):18–21.
21. Younis A., Dodoo A. Cross-Laminated Timber for Building Construction: A Life-Cycle-Assessment Overview. Journal of Building Engineering. 2020;52: 104482. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104482>
22. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Хворова А.Н., Петров И.Ю. Особенности поведения древесины перекрёстно-клееной (ДПК/CLT) при статических и динамических нагрузках, моделирующих сейсмические воздействия. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022;(2):62–80. <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>
23. Турковский С.Б., Погорельцев А.А. Новая конструктивная система крупноблочного домостроения из клееной древесины. Вестник НИЦ «Строительство». 2021;28(1):55–62.
24. Леонтьева Е.О., Агафонов С.А. Современные перспективы развития портовой инфраструктуры Северного морского пути. Арктика и инновации. 2024;2(1):71–79. h
25. Якуненкова М.С., Осетрина Д.А. Возможность использования CLT-панелей в жилом строительстве для условий Салехарда. Современное строительство и архитектура. 2022;(6):4–9.

References

1. Arctic regions of Russia. Available at: <https://as.arctic-russia.ru/useful/> (accessed 23 April 2024). (In Russ.).
2. Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2020 No. 645 «On the Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period until 2035». Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033> (accessed 23 April 2024). (In Russ.).
3. Pogoreltsev A.A., Pyatikrestovsky K.P. Further development and improvement of design standards for wood structures. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering. 2019;(3):35–41. (In Russ.).
4. Gerasimovich A.A., Agafonov S.A. Review of world experience in the design and construction of multi-story buildings based on laminated wood structures. Vestnik magistratury [Bulletin of the Master's degree]. 2020;(5-3):70–77. (In Russ.).
5. Global Engineered Wood Market by Type (Cross-Laminated Timber, Glued Laminated Timber, Laminated Veneer Lumber), Application (Non-Residential, Residential) — Forecast 2024-2030; 2024.
6. Analytical report of Discovery research group. Analysis of the market for laminated veneer lumber and laminated timber structures in Russia [internet]. Available at: https://drgroup.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/Demo.Analiz-rynka-kleenogo-brusa-i-derevyannykh-kleenykh-konstruktsij-v-Rossii.pdf
7. Smirnov P.N., Ustimenko K.A., Lomakin A.D., Aksenov K.A. Resistance of cross-laminated timber to atmospheric actions. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022;35(4):104–116. (In Russ.).
8. D'Amico, B., Pomponi, F., and Hart, J. Global Potential for Material Substitution in Building Construction: The Case of Cross Laminated Timber. Journal of Cleaner Production. 2021;279:123487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123487>

9. Cross Laminated Timber (CLT) Market Size — By Raw Materials (Spruce, Fir, Pine, Larch), By Press Type (Hydraulic, Vacuum, Pneumatic, Nails), By Application (Residential, Commercial, Industrial), Regional Outlook, Competitive Market Share & Forecast, 2023-2032 [internet]. 2023. Available at: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cross-laminated-timber-clt-market>
10. Dvortsova A.S., Ushakov A.Yu. Perspective of CLT-panels application in multi-storey construction. *Construction: Science and Education*. 2023;13(4):75–82. (In Russ.)
11. Production technology CLT. Available at: <https://www.timbersol.ru/technology/glued-wooden-building-constructions/production-technology-of-clt-panels/> (accessed 26 April 2024). (In Russ.).
12. Chernova T.P. Improving the design and technology of interfacing CLT panels [dissertation]. Arkhangelsk; 2018. (In Russ.).
13. Примеры многоэтажных зданий из древесины. LesPromInform [internet]. 2015;(4). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4100> (access date 27 April 2024). (In Russ.).
14. Residential complex Limnologen [internet]. Available at: <https://www.swedishwood.com/inspiration/architecture/limnologen/> (accessed 27 April 2024). (In Russ.).
15. Low-rise residential complex Puukuokka Housing Block [internet]. Available at: <https://architizer.com/projects/puukuokka-housing-block/> (accessed 28 April 2024). (In Russ.).
16. Residential complex built of CLT panels Segezha Group [internet]. Available at: <https://segezha-group.com/press-center/news/zhiloy-kompleks-postroennyi-iz-clt-paneley-segezha-group-voshel-v-knigu-rekordov-rossii/> (accessed 29 April 2024). (In Russ.).
17. Sukhanova V.V., Siluyanov D.S. Modern wood-based building materials used in the construction of high-rise wooden buildings. In: Priority areas for the development of science and education. Collection of articles of the XI International Scientific and Practical Conference, Penza, March 05, 2020. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ.; 2020, p. 49–54. (In Russ.).
18. Thermal conductivity of CLT panels [internet]. Available at: <http://crosslam.ru/content/teploprovodnost-kleenyh-paneley> (access date 29 April 2024). (In Russ.).
19. SP 50.13330.2012. Thermal Performance of the Buildings. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russ.).
20. Boitemirova I.N., Davydova E.A. CLT panels — an effective wood material for load-bearing and enclosing structures. *Bulletin of Scientific Conferences*. 2016;(12-1):18–21. (In Russ.).
21. Younis A., Dodoo A. Cross-Laminated Timber for Building Construction: A Life-Cycle-Assessment Overview. *Journal of Building Engineering*. 2020;52: 104482. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104482>
22. Bubis A.A., Giziatullin I.R., Petrov I.Yu., Khvorova A.N. Peculiarities of Behavior of Cross-Laminated Timber under Static and Dynamic Loads Simulating Seismic Impacts. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2022;(2):62–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>
23. Turkovskiy S., Pogoreltsev A. New constructive system for lage-block house building made of glued timber. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021;28(1):55–62. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-55-62](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-55-62)
24. Leonteva E.O., Agafonov S.A. Modern prospects for the port infrastructure development of the Northern Sea Route. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):71–79. (In Russ.).
25. Yakunenkova M.S., Osetrina D.A. Possibility of using CLT panels in residential construction for the conditions of Salekhard. *Modern Construction and Architecture*. 2022;(6):4–9. (In Russ.).

Сведения об авторах

Агафонов Сергей Александрович — ассистент, Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251
WoS ID: HHM-5486-2022
ORCID: 0000-0001-5742-8532
SPIN-код: 7944-9351
тел.: +7 (921) 345-82-36
[E-mail: agafonov_sa@spbstu.ru](mailto:agafonov_sa@spbstu.ru)

Михеев Павел Юрьевич — кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251
ORCID: 0000-0002-0934-6935
ResearcherID: K-1289-2013
SPIN-код: 8252-8277
Scopus ID: 57202760535
тел.: +7 (911) 759-90-58
[E-mail: vechkin@rambler.ru](mailto:vechkin@rambler.ru)

Углов Алексей Константинович — студент, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251
ORCID: 0000-0001-6210-2385
SPIN-код: 3781-4968
тел.: +7 (902) 191-18-19
[E-mail: uglov_ak@spbstu.ru](mailto:uglov_ak@spbstu.ru)

Information about the authors

Sergei A. Agafonov — teaching assistant, Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29 B
WoS ID: HHM-5486-2022
ORCID: 0000-0001-5742-8532
SPIN-code: 7944-9351
tel.: +7 (921) 345-82-36
[E-mail: agafonov_sa@spbstu.ru](mailto:agafonov_sa@spbstu.ru)

Pavel Yu. Mikheev — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29 B
ORCID: 0000-0002-0934-6935
ResearcherID: K-1289-2013
SPIN-code: 8252-8277
Scopus ID: 57202760535
tel.: +7 (911) 759-90-58
[E-mail: vechkin@rambler.ru](mailto:vechkin@rambler.ru)

Alexey K. Uglov — student, Higher School of Hydrotechnical and Power Engineering Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29 B
ORCID: 0000-0001-6210-2385
SPIN-code: 3781-4968
tel.: +7 (902) 191-18-19
[E-mail: uglov_ak@spbstu.ru](mailto:uglov_ak@spbstu.ru)

Вклад авторов

Агафонов С.А. — обоснование актуальности, сравнительный анализ технических характеристик строительных материалов;
Михеев П.Ю. — постановка задачи, структурирование статьи, формулирование выводов;
Углов А.К. — сбор и анализ данных, описание технологии производства древесно-клеёных плит.

Authors' contributions

Sergei A. Agafonov — substantiation of relevance, comparative analysis of technical characteristics of building materials;
Pavel Yu. Mikheev — problem statement, structuring of the article, formulation of conclusions;
Alexey K. Uglov — data collection and analysis, description of the production technology of wood-gluedslabs.