

Панели CLT и МНМ в промышленном и гражданском строительстве

Николай Григорьевич Серегин, Артем Сергеевич Курдюков
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Указана тенденция роста строительства деревянных конструкций промышленного и гражданского назначения. Сформулирована проблема создания деревянных конструкций из стандартных пиломатериалов. Представлены современные технологические решения производства инновационных конструкций зданий и сооружений из древесины в промышленном и гражданском строительстве.

Материалы и методы. Предмет исследования — технологии CLT и МНМ, используемые для изготовления уникальных несущих конструкций в строительстве промышленных и гражданских зданий из древесины. Приведены технические характеристики панелей для строительства деревянных зданий и сооружений, примеры реализованных и реализуемых зданий и сооружений. Показаны ключевые различия производственных решений технологий изготовления панелей CLT и МНМ. Рассмотрены основные перспективы применения деревянного многоэтажного строительства.

Результаты. Проанализирована общая техническая особенность панелей CLT и МНМ, связанная с обязательным применением отделочных материалов после монтажа конструкций. Сформулированы главные преимущества и недостатки производственных решений технологий изготовления панелей CLT и МНМ.

Выводы. Несмотря на схожесть процессов изготовления панелей CLT и МНМ они отличаются тем, что панели CLT создаются путем склеивания ламелей в прессах, а панели МНМ собираются с помощью алюминиевых гвоздей. Применение технологии CLT оптимально для возведения многоэтажных зданий. Основным препятствием для массового использования МНМ-панелей в России является нехватка проведенных испытаний таких конструкций. Деревянное многоэтажное строительство из панелей CLT и МНМ — это реальность, поскольку оно соответствует современным нормам энергоэффективного строительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: CLT, Cross Laminated Timber, перекрестно-клееная древесина, перекрестное склеивание, Gro Thermo, МНМ, Massiv-Holz-Mauer, многослойный хвойный массив, характеристики панелей, достоинства и недостатки CLT и МНМ, перспективы применения панелей

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Серегин Н.Г., Курдюков А.С. Панели CLT и МНМ в промышленном и гражданском строительстве // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 3. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.3.4

Автор, ответственный за переписку: Николай Григорьевич Серегин, SereginNG@mgsu.ru.

CLT and MHM Panels in Industrial and Civil Engineering

Nikolay G. Seregin, Artyom S. Kurdyukov
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The growth trend in the construction of wooden structures for industrial and civil purposes is indicated. The problem of creating wooden structures from standard lumber is formulated. Modern technological solutions for creating innovative structures of buildings and structures made of wood in industrial and civil engineering are presented. The purpose of this research paper is given.

Materials and methods. The subject of this research is the CLT and MHM technologies used for the manufacture of unique load-bearing structures in the construction of industrial and civil buildings made of wood. The paper presents the technical characteristics of panels for the construction of wooden buildings and structures. Examples of completed and ongoing buildings and structures are considered. The main differences between the production solutions of CLT and MHM panel manufacturing technologies are formulated. The main prospects for the use of wooden multi-storey construction are considered.

Results. The general technical feature of CLT and MHM panels related to the mandatory use of finishing materials after the installation of structures is analyzed. The main advantages and disadvantages of manufacturing solutions for CLT and MHM panel manufacturing technologies are formulated separately.

Conclusions. Despite the similarity of the manufacturing processes of CLT and MHM panels, they differ in that CLT panels are created by gluing slats in presses, while MHM panels are assembled using aluminum nails. The use of CLT technology is optimal for the construction of multi-storey buildings. The main obstacle to the mass use of MHM panels in Russia is the lack of conducted tests of such structures. Wooden multi — storey construction made of CLT and MHM panels is a reality, as it meets modern standards of energy-efficient construction.

KEYWORDS: CLT, Cross Laminated Timber, cross-glued wood cross-bonding, Gro Thermo, MHM, Massiv-Holz-Mauer, multilayer coniferous wood, panel characteristics, advantages and disadvantages of CLT and MHM, panel application prospects

FOR CITATION: Seregin N.G., Kurdyukov A.S. CLT and MHM Panels in Industrial and Civil Engineering. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2025; 15(3):4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.3.4

Corresponding author: Nikolay G. Seregin, SereginNG@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденции последних лет в европейских странах показывают рост использования деревянных конструкций не только для малоэтажного строительства, но и для возведения многоэтажных зданий промышленного и гражданского назначения [1, 2]. При строительстве многоэтажных зданий из древесины сталкиваются с проблемой создания конструкций с уникальными геометрическими и конструктивными характеристиками, которые невозможно изготовить из стандартных пиломатериалов. Современное строительство постоянно находится в поиске инновационных решений, способных сочетать прочность, эстетику и энергоэффективность зданий и сооружений из древесины в промышленном и гражданском строительстве. Для решения данной проблемы, а также многих других разрабатываются различные технологии изготовления деревянных конструкций.

В настоящий момент наибольшее распространение получила технология изготовления перекрестных стеновых панелей — CLT. Наряду с этой технологией существует еще одна, которая имеет очень схожую конструкцию — MHM [3–5].

Целью данной работы является исследование применения панелей CLT и MHM в промышленном и гражданском строительстве для возведения многоэтажных зданий и сооружений, изучение возможных конструктивных решений, рассмотрение технических характеристик конструкций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

CLT (Cross Laminated Timber или перекрестно клееная древесина), другие названия: KLH, BSP, X-LAM, CROSS-LAM — технология изготовления панелей, в основу которой положено перекрестное склеивание между собой слоев ламелей из хвойных пород деревьев (рис. 1) [6, 7].

Эта технология изготовления панелей была разработана в конце 1980-х гг. и впервые использована в Германии и Австрии в начале 1990-х гг. Более широкие исследования технологии были проведены только во второй половине 1990-х гг. [8, 9].

К 2000-м гг. производство многослойных клееных деревянных панелей набрало большую популярность в европейских странах. Панели применяли для различных систем строительства одноэтажных и многоэтажных зданий [10, 11].

Для изготовления панелей CLT применяется доска хвойных пород древесины камерной сушки с влажностью 12 %. Она раскраивается на ламели необходимого сечения, которые сращиваются по длине. Далее ламели калибруются и собираются в щиты с послойным перекрестным склеиванием. После чего щиты запрессовываются для получения единой панели, которая в дальнейшем проходит процесс калибровки, шлифовки и раскроя на ЧПУ станке [12].

Эти операции требуются для получения панелей с необходимыми геометрическими параметрами, сформированными проемами, а также технологическими отверстиями. За счет перекрестного склеивания формируется панель с хорошими физико-механическими и теплоизоляционными свойствами в отличие от традиционной древесины.

Габаритные размеры CLT-панелей варьируются в диапазоне: ширина — до 4 м, длина — 24 м, толщина — от 0,06 до 0,4 м [13].

Как говорилось ранее, современное строительство постоянно находится в поиске инновационных решений. Помимо стандартных панелей CLT разработаны утепленные плиты GrO Thermo, применяемые для наружных стен.

GrO Thermo — это утепленная CLT-плита, часть внутренних ламелей которой замещена древесным утеплителем. Слой утеплителя вклеивается и запрессовывается в плиту аналогично ламелям [14].

Утеплитель, используемый в панелях, на 94 % состоит из древесины, а также из экологического клея и парафина, которые добавляют для сохранения формы плиты (рис. 2).

Основные технические характеристики панелей CLT приведены в табл. 1 [15].



Рис. 1. Перекрестное склеивание панелей CLT

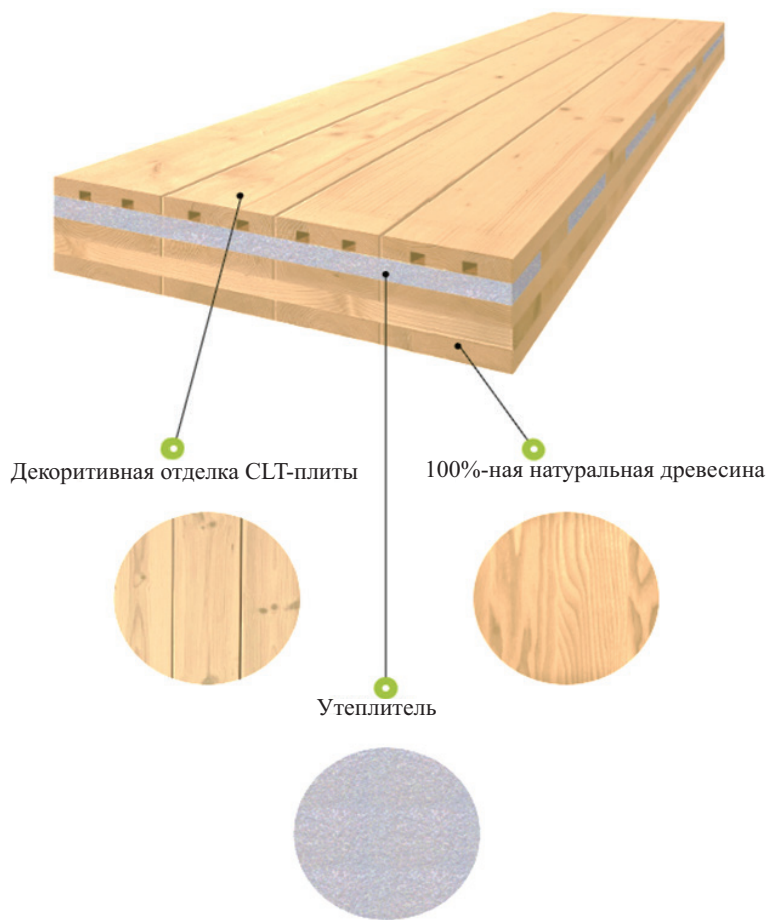


Рис. 2. Состав плит GrO Thermo

Табл. 1. Основные технические характеристики панелей CLT

Показатели	Значения показателей
Влажность панелей	12 % (+/-2 %)
Паропроницаемость поперек волокон	0,05 мг/(м·ч·Па)
Шумоизоляция	R > 60 дБ
Класс прочности	C24 (ГОСТ 33080–2014)
Теплопроводность	$\lambda = 0,13 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (EN 12524)
Теплоемкость	$c = 1,6 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ (EN 12524)
Водостойкость	$\mu = 20\text{--}50$ (EN 12524)
Прочность на сжатие вдоль волокон	13–15 Н/мм ²
Прочность на сжатие поперек волокон	1,8 Н/мм ²
Прочность на изгиб	10 Н/мм ²
Расчетная нагрузка на стену	60 кН/м ²
Расчетная нагрузка на перекрытие	5 кН/м ²
Пожароустойчивость	D-s2, d0 (2003/43/EC)
Огнестойкость	REI 60–120 (EN 1995-1-2–2004)
Скорость обугливания	0,65 мм/мин (EN 1995-1-2)
Масса изделия	470–480 кг/м ³

Примерами наиболее известных зданий и сооружений из CLT-панелей являются [16]:

- 100-метровая башня Rocket&Tigerli в Швейцарии, по плану ее строительство должно завершиться в 2026 г.;
- комплекс Mjostarnet в Норвегии, насчитывающий 85,4 м в высоту и 18–20 этажей;

- в России это ЖК «Соколики» в г. Сокол, 4-этажный комплекс высотой 15 м и площадью 3013 м².

Далее рассмотрим технологию МНМ (Massiv-Holz-Mauer или многослойный хвойный массив) — это панели, изготавливающиеся послойно с перехлестом из обрезных досок хвойных пород толщиной 20–24 мм (рис. 3) [17].

Разработка панелей МНМ принадлежит немцу Хансу Хундедеггеру. В 2001 г. он запустил производство из неделовой древесины 3–4 сорта. Уже в сентябре 2002 г. был построен первый дом с использованием панелей МНМ.

В период с 2003 по 2019 г. в Германии из древесных плит возведено около 300 объектов. Эта технология начала широко применяться в Европе для строительства как малоэтажных, так и высотных зданий.

В России МНМ-технология появилась в 2007 г., но из-за недостатка информационной базы она не получила такой популярности как CLT, что заметно и в наше время [18].

Для производства стеновых панелей МНМ используется доска камерной сушки с влажностью 12 %, не требующая обработки антисептиком и пропитками.

Каждая доска проходит обработку на четырехстороннем станке компании Hundegger, где выпиливаются пазы, которые при соединении досок между собой образуют воздушную прослойку для высокой звукоизоляции и теплопроводности. Также на станке выпиливается боковой профиль для соединения досок между собой во избежание образования «мостиков холода». Затем доски послойно с перекрестной укладкой собираются в щиты с необходимыми размерами, которые сшиваются на алюминиевые гвозди в станках.

Выбор алюминиевых гвоздей (штифтов) обусловлен снижением повреждения и износа режущего инструмента при механической обработке.

Далее в программу ЧПУ вносятся требуемые геометрические размеры, проемы, а также технологические отверстия для труб отопления, канализации и электричества для раскроя панели.

По технологии изготовления панели являются экологически чистыми, без применения клея и других химических пропиток.

Производственная линия рассчитана на выпуск панелей размерами: высота — 3,25 м; длина — до 6 м; толщина наружных панелей стен — от 340 мм (15 слоев досок) до 160 мм (7 слоев), внутренних — 160 или 115 мм [19].

Основные технические характеристики панелей МНМ приведены в табл. 2 [20].



Рис. 3. Сечение панели МНМ

Примеры наиболее известных зданий и сооружений из МНМ-панелей [21]:

- SporX в Норвегии — 40-метровое офисное здание, при его строительстве использовано 2000 м³ цельной древесины и 500 м³ клееного бруса;
- отель Waldeck Spa Kur в Бад-Дюрхайме.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Панели МНМ так же, как и CLT, имеют общую техническую особенность, связанную с обязательным применением отделочных материалов после монтажа конструкции:

- внутренняя отделка (например, дерево, гипсокартон, штукатурка) монтируется непосредственно на панель;
- внешняя отделка служит частью фасада и рассчитывается исходя из необходимого значения теплопередачи наружной конструкции здания. Отделка фасада может использоваться как с вентилируемым фасадом (рис. 4, а), так и штукатурная (рис. 4, b);
- перегородки здания имеют внутреннюю обшивку с обеих сторон (например, дерево, гипсокартон, штукатурка), образующую готовую поверхность стены. Слои обшивки располагаются непосредственно на стене без монтажного зазора (рис. 5).

Изучив основные конструктивные решения технологии CLT, следует рассмотреть ее достоинства и недостатки.

К преимуществам панелей CLT можно отнести:

- высокую заводскую готовность домокомплекта за счет применения модулей;

Табл. 2. Основные технические характеристики панелей МНМ

Показатели	Значения показателей
Влажность панелей	12 % (+/– 2 %)
Паропроницаемость поперек волокон	0,1–0,32 мг/(м·ч·Па)
Шумоизоляция	R = 48 дБ
Теплопроводность	λ = 0,094 Вт/м·К
Водостойкость	μ = 65
Огнестойкость	F90В
Масса изделия	480 кг/м ³

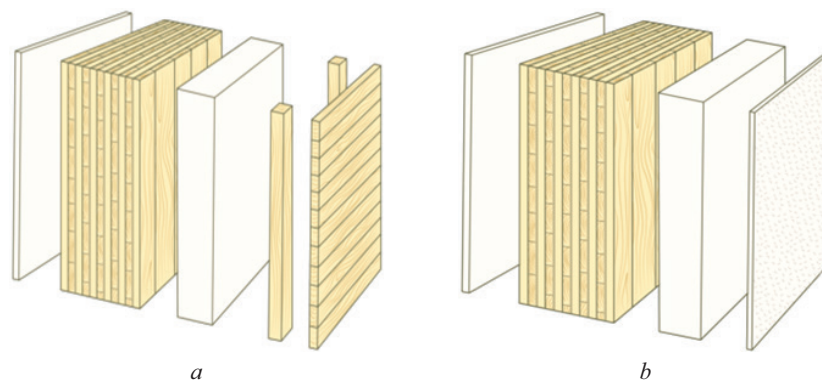


Рис. 4. Примеры отделки наружных панелей: а — вентилируемый фасад; б — штукатурный фасад

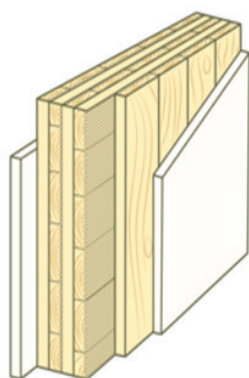


Рис. 5. Примеры отделки панелей перегородок

- скорость выполнения работ по монтажу домокомплекта;
- высокую несущую способность и жесткость панелей за счет перекрестной склейки ламелей;
- высокую сейсмостойчивость зданий и сооружений из CLT-панелей;
- высокую огнестойкость конструкции;
- низкую теплопроводность панелей.

К недостаткам панелей CLT можно отнести:

- большой вес и габариты CLT-панелей, требующих специального транспорта для перевозки и монтажа конструкций;
- уменьшение габаритов панелей приводит к увеличению стыковых соединений, которые являются потенциальными «мостиками холода», а также усложняют монтаж конструкции;
- в связи с низкой стойкостью древесины к воздействию ультрафиолета и других природных факторов, которые могут ее разрушить, необходимо проводить дополнительные защитные мероприятия для сохранения целостности конструкции.

Также рассмотрим основные достоинства и недостатки технологии МНМ.

Преимущества МНМ:

- отсутствие усадки из-за использования доски, обработанной в сушильных камерах до влажности 12–14 %;
- за счет перекрестного соединения ламелей обеспечивается высокая жесткость панелей;

- при производстве панелей используются только натуральные материалы;
- скорость выполнения сборки домокомплекта из-за высокой готовности конструкций;
- сразу после сборки здания можно приступать к отделке благодаря гладким деревянным панелям;
- панели МНМ имеют более низкую стоимость и меньший вес по сравнению с CLT вследствие особенностей производства.

Недостатки МНМ:

- недостаточность исследования данной технологии в России;
- необходимость использования только калиброванных пиломатериалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на высокую схожесть процессов изготовления панелей CLT и МНМ, они имеют одно принципиально важное отличие: панели CLT создаются путем склеивания ламелей в прессах, а панели МНМ собираются с помощью алюминиевых гвоздей. Стоимость панелей CLT выше стоимости панелей МНМ на 30–40 %.

Применение технологии CLT оптимально для возведения многоэтажных зданий, в случаях, когда несущая способность панелей и их высокая заводская готовность используются на 100 %, а высокая себестоимость производства компенсируется большим объемом возводимого строения.

В европейских странах широко используют и технологии МНМ для строительства зданий.

Основным препятствием для массового использования МНМ-панелей в России является нехватка проведенных испытаний таких конструкций с учетом массовости их применения и, как следствие, недостаток полноценной, а главное современной документационной базы, а также отсутствие унификации и стандартизации таких конструкций.

Деревянное многоэтажное строительство из панелей CLT и МНМ — это реальность, поскольку оно соответствует современным нормам энергоэффективного строительства. Сооружения по данным технологиям могут возводиться на территориях со сложными

инженерно-геологическими условиями, в сейсмически активных, горных или вечномёрзлых районах.

Монтаж деревянных конструкций отличается высокой технологичностью и скоростью ввиду того, что используются модули заводской сборки.

Технология строительства деревянных зданий Massiv-Holz-Mauer более оптимальна по технико-экономическим, физическим и эксплуатационным характеристикам для России при условии обширного изучения и проведения испытаний данной технологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Потехин Н.И. Перспективы строительства уникальных зданий и сооружений из древесины // Лесной вестник. 2023. Т. 27. № 4. С. 128–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136. EDN OAYORW.
2. Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Курдюков А.С. Большепролетные клееные деревянные конструкции и технология их изготовления // Лесной вестник. 2024. Т. 28. № 4. С. 138–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-138-146. EDN JJXSMZ.
3. Афонин В.С. Этапы формирования мирового многоэтажного деревянного строительства // Архитектура и современные информационные технологии. 2018. № 2 (43). С. 41–61. EDN ORXTPL.
4. Акишов Э.А. Технологические особенности клеёных деревянных конструкций // Архитектура и современные информационные технологии. 2021. № 1 (54). С. 156–164. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-1-156-164. EDN KCIRXW.
5. Арзиманов Д.И., Гаевская З.А. Сравнительный анализ энергоэффективности CLT-панелей для жилой многоэтажной застройки Санкт-Петербурга // Инженерные исследования. 2023. № 2 (12). С. 11–18. EDN HGAQIZ.
6. Дружинин А.В. Технология клееных материалов и древесных плит: учебное пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2005
7. Рогожина А.В. Расчет деформативности CLT-панели перекрытия // Инженерный вестник Дона. 2022. № 6 (90). С. 329–339. EDN TWGFWN.
8. Чахов Д.К., Докторов И.А., Лавров М.Ф. Теплозащитные свойства деревянных стеновых панелей «Massiv Holz-Mauer» для условий Якутии // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 1. С. 35–38. EDN OOHUVX.
9. Есауленко И.В. Перспективы развития высотного деревянного домостроения в России на примере зарубежного опыта // Архитектура, строительство, транспорт. 2021. № 4. С. 17–25. DOI: 10.31660/2782-232X-2021-4-17-25. EDN OFUFZP.
10. Горишков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1 (11). С. 9–13. EDN MZJCQR.
11. Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н. Информационно-измерительные системы мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 5. С. 86–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93. EDN YOKOYN.
12. Запруднов В.И., Серегин Н.Г. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 5. С. 108–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-108-115. EDN ZXRQJL.
13. Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Методика расчета производства клееного оконного бруса для строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 2 (101). С. 157–164. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.157-164. EDN YGJDXJ.
14. Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Измерительные системы диагностики и мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. № 3 (24). С. 3. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.3.2. EDN YLXHCD.
15. Seregin N.G. Losses in the manufacture of wooden building structures // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1425. Issue 1. P. 012133. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012133
16. Unaibayev B.Z., Unaibayev B.B., Andreyashenko V. Cast-in-situ piles encasements based on oil-bituminous rocks (kirs) in saline soils // Scientific Review Engineering and Environmental Studies (SREES). 2021. Vol. 30. Issue 1. Pp. 51–61. DOI: 10.22630/pniks.2021.30.1.5
17. Jin X., Wang T.-H., Cheng W.-C., Luo Y., Zhou A. A simple method for settlement evaluation of loess-pile foundation // Canadian Geotechnical Journal. 2019. Vol. 56. Issue 11. Pp. 1690–1699. DOI: 10.1139/cgj-2017-0690
18. Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile-raft foundation in silty clay // Underground Space. 2021. Vol. 6. Issue 1. Pp. 76–84. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.09.005
19. Fahrurrozi M., Wirawan S.K. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2019. Vol. 22. Issue 2. Pp. 458–467. DOI: 10.1016/j.jestch.2018.11.008
20. Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests // Geoderma. 2019. Vol. 338. Pp. 170–177. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.11.051

21. Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of com-

pacted soil // Cold Regions Science and Technology. 2019. Vol. 157. Pp. 42–52. DOI: 10.1016/j.coldregions.2018.09.009

Поступила в редакцию 8 декабря 2024 г.
Принята в доработанном виде 5 января 2025 г.
Одобрена для публикации 22 января 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Николай Григорьевич Серегин** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SereginNG@mgsu.ru;

Артем Сергеевич Курдюков — студент; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; temik1516@gmail.ru.

Вклад авторов:
Серегин Н.Г. — научное руководство, доработка и редактирование текста.
Курдюков А.С. — сбор и обработка научного материала, написание исходного текста.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Recent European trends show an increase in the application of wooden structures not only in low-rise construction, but also in construction of multi-storey industrial and civil buildings [1, 2]. The construction of multi-storey wooden buildings is challenged by unique geometric and structural characteristics of elements that cannot be made from standard lumber. Research efforts focus on innovative solutions capable of combining strength, aesthetics and energy efficiency of industrial and civil engineering buildings and structures made of wood. To solve this and many other problems, various technologies are developed to advance wooden construction.

Now cross-laminated, or CLT, panels are the most widespread technology employed to solve this problem. However, another technology, or MHM (Massiv-Holz-Mauer) is used along with the CLT technology. The MHM technology has a similar design [3–5].

The mission of this research work is to study the application of CLT and MHM panels in industrial and civil engineering for the construction of multi-storey buildings and structures, to research potential design solutions, and to review technical characteristics of structures.

MATERIALS AND METHODS

CLT (cross laminated timber), also known as KLH, BSP, X-LAM, CROSS-LAM, is a panel manufacturing technology based on the cross-gluing of lamella layers made of coniferous trees (Fig. 1) [6, 7].

This panel manufacturing technology was developed in the late 1980s and first used in Germany and

Austria in the early 1990s. More extensive research into this technology was conducted in the late 1990s [8, 9].

By the year 2000, the production of multilayered laminated wooden panels was popular in European countries. Panels were used to make various structural systems of single- and multi-storey buildings [10, 11].

Oven-dry coniferous wood boards with a humidity of 12 % are used to make CLT panels. They are split into lamellas with pre-set cross-section dimensions. Further, lamellas are spliced along the length. Then lamellas are calibrated and assembled into board panels; this process is accompanied by layered cross-gluing. After that, board panels are pressed into panels, calibrated, grinded and cut by CNC machines [12].

These operations are necessary to manufacture panels with pre-set geometric parameters, apertures and openings. Cross-lamination gluing ensures the production of panels with excellent physical, mechanical and thermal insulation properties, unlike traditional wood.



Fig. 1. Cross-gluing of CLT panels

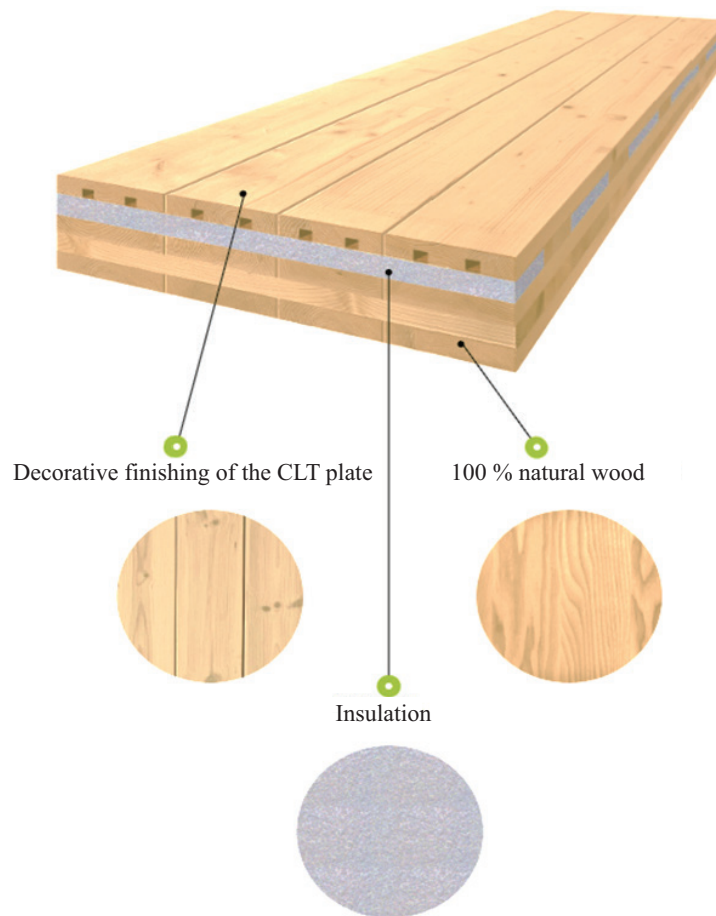


Fig. 2. Composition of GrO Thermo plates

Overall dimensions of CLT panels vary in the following range: width — up to 4 m, length — 24 m, and thickness — from 0.06 to 0.4 m [13].

It was mentioned earlier that modern construction science keeps searching for innovative solutions. Hence, along with standard CLT panels, insulated GrO Thermo plates were developed for exterior walls.

GrO Thermo is an insulated CLT plate; part of its inner lamellae is replaced by the insulant made of wood. The insulation layer is glued and pressed into the plate in the same way as lamellas [14].

The panel insulant has 94 % of wood, eco-friendly glue and paraffin, added to maintain the plate shape (Fig. 2).

Principal technical characteristics of CLT panels are provided in Table 1 [15].

The most famous buildings and structures made of CLT panels are [16]:

- a 100-meter Rocket&Tigerli tower in Switzerland; its construction should be completed in 2026, according to the construction schedule;
- Mjostarnet facility in Norway; it is 85.4 m high and has 18–20 floors;
- Sokoliki residential facility in Sokol, Russia; it is a four-storey building; it is 15 m high, and its floor area is 3,013 m².

Now let's consider the MHM (Massiv-Holz-Mauer or multi-layered solid coniferous wood) technology. These panels are made layer-by-layer with an overlap of edged coniferous boards that are 20–24 mm thick (Fig. 3) [17].

MHM panels were developed by Hans Hundegger. In 2001, he launched their production from non-merchantable wood, grades 3–4. As early as in September 2002, the first house was built from MHM panels.

In 2003–2019, about 300 facilities were built from wooden plates in Germany. This technology became a mainstream for the construction of low-rise and high-rise buildings in Europe.

The MHM technology arrived in Russia in 2007, but due to the lack of awareness, it failed to gain as much popularity as CLT, which is also true for the pre-sent time [18].

Oven-dry boards with a moisture content of 12 % are used to make MHM wall panels. They do not require any preservative treatment or impregnation.

Each board is processed by a four-sided Hundegger machine to cut grooves, which, make a layer of air for reliable sound insulation and thermal conductivity when boards are spliced. Side profiles are also cut by this machine to connect boards and to prevent thermal bypasses. Then, layer-by-layer, boards are cross-assembled into board panels, which are spliced by aluminum nails. Board panels have pre-set dimensions.

Table 1. Principal technical characteristics of CLT panels

Characteristics	Values
Moisture content	12 % (+/-2 %)
Vapor permeability across fibers	0.05 mg/(m·h·Pa)
Sound insulation	R > 60 dB
Strength class	C24 (All-Russian State Standard 33080–2014)
Thermal conductivity	$\lambda = 0.13 \text{ Wt/m}\cdot\text{K}$ (EN 12524)
Heat capacity	$c = 1.6 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ (EN 12524)
Water resistance	$\mu = 20\text{--}50$ (EN 12524)
Compressive strength along fibers	13–15 N/mm ²
Compressive strength across fibers	1.8 N/mm ²
Flexural strength	10 N/mm ²
Design wall load	60 kN/m ²
Design floor load	5 kN/m ²
Fire stability	D-s2, d0 (2003/43/EC)
Fire resistance	REI 60–120 (EN 1995-1-2–2004)
Charring rate	0.65 mm/min (EN 1995-1-2)
Product weight	470–480 kg/m ³



Fig. 3. The cross section of an MHM panel

Aluminum nails (pins) are chosen to reduce damage to and wear and tear of cutting tools during mechanical tooling.

Further, pre-set geometric dimensions, apertures and openings needed for heating, sewage and electricity pipes are entered into the CNC software program to have the panel duly cut.

The manufacturing technology ensures environment-friendly panels that have neither glue, nor any other chemical impregnation agents.

The production line is designed to make panels with the following dimensions: height — 3.25 m; length — up

to 6 m; thickness of external wall panels — from 340 (15 layers) to 160 mm (7 layers), and thickness of interior wall panels — 160 or 115 mm [19].

Principal technical characteristics of MHM panels are provided in Table 2 [20].

The most famous buildings and structures made of MHM panels are [21]:

- SporX building in Norway; it is a 40-meter office building; 2,000 m³ of solid wood and 500 m³ of laminated timber were used to construct this facility;
- Waldeck Spa Kur Hotel in Bad Dürkheim.

RESULTS

MHM panels and CLT panels have common technical features related to the mandatory use of finishing materials after the installation of construction facilities:

- interior decoration (wood, gypsum cardboard, plaster) is mounted directly on panels;
- exterior finish is part of the façade; the finish calculation is based on the pre-set heat transfer value which is part of the building’s envelope structure. This finish can be combined with ventilated (Fig. 4, a) and plaster facades (Fig. 4, b);
- both sides of partitions have cladding (for example, wood, gypsum cardboard, plaster) that serves as the surface of a finished wall. Cladding layers are attached directly to the wall without any installation clearance (Fig. 5).

Table 2. Principal technical characteristics of CLT panels

Characteristics	Values
Moisture content	12 % (+/-2 %)
Vapor permeability across fibers	0.1–0.32 mg/(m·h·Pa)
Sound insulation	R = 48 dB
Thermal conductivity	$\lambda = 0.094 \text{ Wt/m}\cdot\text{K}$
Water resistance	$\mu = 65$
Fire resistance	F90B
Product weight	480 kg/m ³

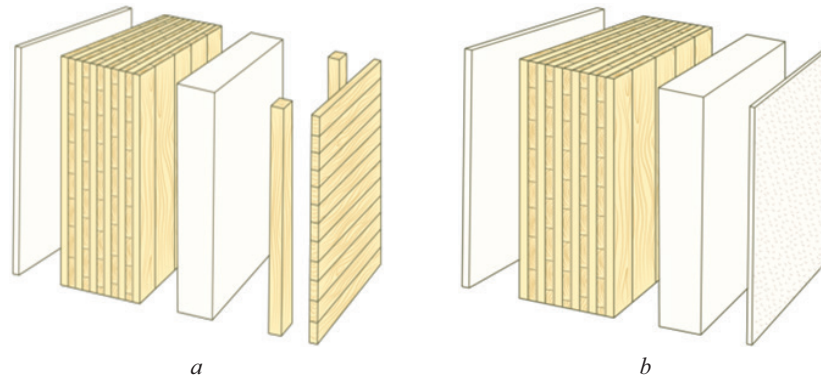


Fig. 4. Exterior panel finishes: *a* — ventilated facade; *b* — plastered facade

A study on the main design solutions for the CLT technology should be followed by the analysis of its strengths and weaknesses.

CLT panels have the following strengths:

- high level of prefabrication due to the modular structure;
- fast installation of prefabricated houses;
- high load-bearing capacity and stiffness of panels, due to cross-lamination gluing of lamellas;
- high earthquake resistance of buildings and structures made of CLT panels;
- high fire resistance;
- low thermal conductivity of panels.

CLT panels have the following weaknesses:

- large weight and dimensions require specialized vehicles for transportation and installation;
- smaller-size panels end in larger butt joints, which are potential thermal bypasses; they also make installation more complicated;
- low resistance of wood to UV radiation and other natural factors can damage panel structures; supplementary protection will maintain structural integrity.

Let's consider the main strengths and weaknesses of the MHM technology.

The MHM technology has the following strengths:

- no shrinkage which is prevented by oven-dry boards with a moisture content of 12–14 %;
- high panel stiffness due to the crossover connection of lamellas;
- only natural materials are used to make panels;
- fast assembly of prefab houses due to high prefabrication level;
- finishing work can be initiated immediately after the house assembly because wooden panels are smooth;
- MHM panels are cheaper and lighter than CLT panels.

The MHM technology has the following weaknesses:

- this technology is understudied in Russia;
- only calibrated lumber is applicable.

CONCLUSIONS

Although processes of manufacturing of CLT and MHM panels are similar, they have one fundamentally important difference: CLT panels are made by gluing

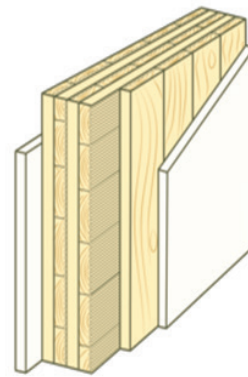


Fig. 5. Partition panel finishing options

lamellas in press machines, while MHM panels are assembled using aluminum nails. The cost of CLT panels is higher than the cost of MHM panels by 30–40 %.

The CLT technology is optimal for multi-storey buildings, where high bearing capacity and prefabrication of panels are 100 % necessary, and high manufacturing costs are compensated by the large size of a construction facility.

In European countries, MHM technologies are widespread in building construction.

The main obstacle, preventing the dissemination of MHM panels in Russia, is the fact that no tests were conducted to examine these structures and to authorize their widespread use, and as a result, there is no complete and, most importantly, advanced set of documents. Besides, such structures were not subjected to unification and standardization.

Multi — storey wooden structures made of CLT and MHM panels is a reality, because they meet advanced standards of energy-efficient construction. These technologies can be applied in areas featuring problematic engineering and geological conditions, in earthquake prone, mountainous or permafrost areas.

The installation of wooden structures is fast and efficient, because prefab modules are used.

For Russia, the Massiv-Holz-Mauer technology is more optimal in terms of technical, economic, physical and operational characteristics, given that extensive research and testing are conducted.

REFERENCES

1. Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Potekhin N.I. Prospects for unique buildings construction and wood structures. *Forestry Bulletin*. 2023; 27(4):128-136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136. EDN OAYORW. (rus.).
2. Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Kurdyukov A.S. Large-span glued wooden structures and their manufacturing technology. *Forestry Bulletin*. 2024; 28(4):138-146. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-138-146. EDN JJXSMZ. (rus.).
3. Afonin V.S. Periods in the formation of world multi-storey timber construction. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018; 2(43):41-61. EDN ORXTPL. (rus.).
4. Akshov E. Technological features of glued wooden structures. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021; 1(54):156-164. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-1-156-164. EDN KCIRXW. (rus.).
5. Arzimanov D., Gaevskaya Z. Comparative energy efficiency analysis of CLT-panels for residential high-rise buildings in St. Petersburg. *Engineering Research*. 2023; 2(12):11-18. EDN HGAQIZ. (rus.).
6. Druzhinin A.V. *Technology of glued materials and wood plates : textbook*. Yekaterinburg, UGLTU, 2005. (rus.).
7. Rogozhina A.V. Calculation of the deformability of the CLT overlap panel. *Engineering journal of Don*. 2022; 6(90):329-339. EDN TWGFWN. (rus.).
8. Chakhov D.K., Doktorov I.A., Lavrov M.F. Heat-insulating properties of wooden wall panels “Massiv-Holz-Mauer (MHM)” for conditions of Yakutia. *Industrial and Civil Engineering*. 2012; 1:35-38. EDN OOHUVX. (rus.).
9. Esaulenko I.V. Prospects for the development of high-rise wooden housing construction in Russia on foreign experience. *Architecture, Construction, Transport*. 2021; 4:17-25. DOI: 10.31660/2782-232X-2021-4-17-25. EDN OFUFZP. (rus.).
10. Gorshkov A.S. Energy Efficiency in Construction: Issues of Standardization and Measures to Reduce Energy Consumption of Buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2010; 1(11):9-13. EDN MZJCQP. (rus.).
11. Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Grechanaya N.N. Information-measuring systems of technical condition of construction structures monitoring. *Forestry Bulletin*. 2018; 22(5):86-93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93. EDN YOKOYH. (rus.).
12. Zaprudnov V.I., Seregin N.G. Methods and means of monitoring building structures technical condition. *Forestry Bulletin*. 2019; 23(5):108-115. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-108-115. EDN ZXRQJL. (rus.).
13. Seryogin N.G., Giyasov B.I. Procedure of Calculation of Production of Window Glued Laminated Lumber for Building Structures. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2017; 12(2):(101):157-164. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.157-164. EDN YGJDXJ. (rus.).
14. Seregin N.G., Giyasov B.I. Measuring system for diagnostic operation and monitoring of technical condition of unique buildings and structures. *Construction: Science and Education*. 2017; 7(3):(24):3. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.3.2. EDN YLXHCD. (rus.).
15. Seregin N.G. Losses in the manufacture of wooden building structures. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1425(1):012133. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012133
16. Unabayev B.Z., Unabayev B.B., Andreyashenko V. Cast-in-situ piles encasements based on oil-bituminous rocks (kirs) in saline soils. *Scientific Review Engineering and Environmental Studies (SREES)*. 2021; 30(1):51-61. DOI: 10.22630/pniks.2021.30.1.5
17. Jin X., Wang T.-H., Cheng W.-C., Luo Y., Zhou A. A simple method for settlement evaluation of loess–pile foundation. *Canadian Geotechnical Journal*. 2019; 56(11):1690-1699. DOI: 10.1139/cgj-2017-0690
18. Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile-raft foundation in silty clay. *Underground Space*. 2021; 6(1):76-84. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.09.005
19. Fahrurrozi M., Wirawan S.K. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2019; 22(2):458-467. DOI: 10.1016/j.jestch.2018.11.008
20. Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semihumid forests. *Geoderma*. 2019; 338:170-177. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.11.051
21. Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil. *Cold Regions Science and Technology*. 2019; 157:42-52. DOI: 10.1016/j.coldregions.2018.09.009

Received December 8, 2024.

Adopted in revised form on January 5, 2025.

Approved for publication on January 22, 2025.

B I O N O T E S: **Nikolay G. Seregin** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SereginNG@mgsu.ru;

Artyom S. Kurdyukov — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; temik1516@gmail.ru.

Contribution of the authors:

Nikolay G. Seregin — scientific guidance, revision and editing of the text.

Artyom S. Kurdyukov — collection and processing of scientific material, writing the source text.

The authors declare that there is no conflict of interest.