

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW PAPER

УДК 624.011.1

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.5

Перспектива применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве

Александра Сергеевна Дворцова, Андрей Юрьевич Ушаков*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены предпосылки развития и применения новой строительной технологии с применением возобновляемого природного ресурса — древесины. Проблематика обеспеченности строительства сырьем для производства является актуальной. Цели исследования — определение основных достоинств и недостатков CLT-панелей как материала, применяемого в несущих каркасах; реализуемость CLT-панелей по отношению к другим традиционным строительным материалам; выявление основных технологических особенностей строительного производства с применением технологии перекрестно-клеевых панелей, определение преимуществ технологии; необходимость проведения исследовательской деятельности по конструкционному материалу для обновления соответствующих строительных нормативов; анализ зарубежного опыта в разделе деревянного домостроения.

Материалы и методы. Выполнены обзор и анализ отечественной и зарубежной литературы, научных трудов, нормативных документов, информационных источников на базе eLIBRARY.RU, сопоставление и систематизация полученных данных. За основу были также взяты ранее проведенные исследования.

Результаты. На основе анализа информационных источников дано описание основных свойств и характеристик, а также технологии производства CLT-панелей; определены положительные и отрицательные стороны применения материала, достоинства строительной технологии возведения каркасов зданий. Проведен сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта в деревянном домостроении. Определена проблематика развития технологии перекрестно-клеевых панелей в России.

Выводы. Результаты, полученные в результате исследования, показывают целесообразность использования CLT-панелей как строительного материала для несущих конструкций, отличающегося наличием перечня значимых для отрасли свойств: экологичность, возобновляемость, высокие темпы производства работ, уменьшение стоимости возведения объектов вследствие уменьшения трудоемкости строительного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: CLT-панели, клееная древесина, древесина, деревянные конструкции, многоэтажное строительство, перекрестно-клеевая древесина, зеленое строительство

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дворцова А.С., Ушаков А.Ю. Перспектива применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 4. Ст. 5. URL: <http://ns-o-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.5

Автор, ответственный за переписку: Андрей Юрьевич Ушаков, 903714@mail.ru.

Perspective of CLT-panels application in multi-storey construction

Alexandra S. Dvortsova, Andrey Yu. Ushakov*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The article considers the prerequisites for the development and application of new construction technology with the use of renewable natural resource — wood. The problem of providing construction with raw materials for production is relevant. Objectives of the research — determination of the main advantages and disadvantages of CLT-panels as a material used in load-bearing frames; feasibility of CLT-panels in relation to other traditional building materials; identification of the main technological features of construction production with the use of cross-glued panels technology, determination of the advantages of the technology; necessity of research activities on the construction material for updating the relevant building regulations; analysis of foreign experience in the field of construction of wood-based panels.

Materials and methods. The review and analysis of domestic and foreign literature, scientific papers, normative documents, information sources on the basis of eLIBRARY.RU were performed. Comparison and systematization of the obtained data. Earlier studies were also taken as a basis.

Results. On the basis of the conducted analysis of information sources the description of the main properties and characteristics, as well as production technology of CLT-panels is given; positive and negative sides of the material application, advantages of construction technology of building frames erection are determined. The comparative analysis of domestic and foreign experience in wooden house building is carried out. The problems of cross-glue panel technology development in Russia are defined.

Conclusions. The results obtained through the conducted research determine the feasibility of using CLT-panels as a building material for load-bearing structures, characterized by the presence of a list of properties significant for the industry: environmental friendliness, renewability, high rates of work production, reduction in the cost of construction of objects due to the reduction of labour intensity of the construction process.

KEYWORDS: CLT panels, glued wood, wood, wooden structures, multi-storey construction, cross-glued wood, green building

FOR CITATION: Dvortsova A.S., Ushakov A.Yu. Perspective of CLT-panels application in multi-storey construction. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(4):5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.5

Corresponding author: Andrey Yu. Ushakov, 903714@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из современных тенденций мировой строительной индустрии является применение дерева не только как отделочного материала, но и как материала несущих конструкций. Обеспеченность сырьем, экономическая реализуемость позволяют говорить о перспективах развития направления деревянного домостроения.

Древесина — природный строительный материал. Одни из ценнейших качеств этого материала — его возобновляемость и экологичность. Древесина успешно сопротивляется воздействию статических и динамических нагрузок. Она — довольно легкая и при этом достаточно прочная, что дает возможность использовать ее в несущих конструкциях зданий. В сравнении с бетоном на сжатие вдоль волокон по прочности древесина не уступает, а при изгибе — заметно превосходит [1–10].

Примерами применения деревянных конструкций в качестве основного материала несущего остова могут служить европейские проекты офисных зданий и жилых комплексов.

Успешная реализация подобных проектов говорит о возможности решения глобальных экологических проблем, связанных с выбросами в атмосферу вредных веществ при производстве железобетона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основной метод исследования — анализ, также использован обзор. Для определения текущей степени реализации строительной технологии с применением перекрестно-клеевых панелей проведен подбор соответствующих отечественных и зарубежных литера-

турных источников за последние четыре года [11–17]. Анализ проводился в нескольких направлениях:

- определение перспектив развития деревянного домостроения в целом;
- выявление возможности развития строительства из клееной древесины в России и наличие сырьевой и экономической базы для этого;
- оценка текущего положения использования CLT-панелей в сфере строительства на международном рынке;
- оценка спроса подобных проектов на рынке недвижимости разных стран.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Россия — одна из стран с самыми богатыми запасами древесины в мире, но до 2019 г. строительные нормативные документы предполагали возведение деревянных зданий до трех этажей. В 2019 г. были разработаны нормы проектирования, позволяющие увеличить максимальную высоту до 28 м.

Один из уже реализованных подобных проектов располагается в г. Сокол Вологодской области (рис. 1). Это небольшой жилой комплекс, состоящий из двух четырехэтажных домов высотой 15 м. Оба здания были возведены с использованием конструкций CLT.

Панели и плиты типа CLT представляют собой материалы, состоящие из слоев древесины, склеенных крест-накрест между собой (рис. 2). Это необходимо в связи с анизотропией свойств древесины.

CLT — это конструкция, которая соединяет в себе свойства и характеристики двух абсолютно полярных строительных материалов: клееного бру-



Рис. 1. Многоэтажные жилые здания из CLT-панелей в России

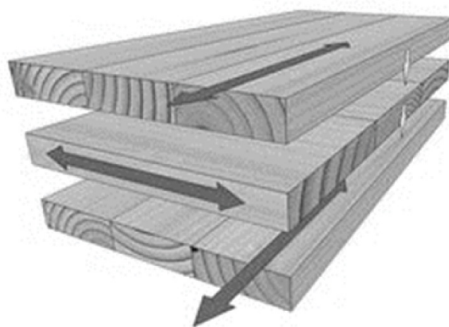


Рис. 2. Схематичное изображение клееной деревянной CLT-панели

са и железобетонной плиты. Это стало возможным благодаря новой технологии.

С брусом панели объединяет структура: доски, объединенные в плиты, уложенные друг на друга перпендикулярно. Перед отправкой под пресс древесина высушивается до нормальной влажности (10–12 %) и торцуется, т.е. достигаются ровные и параллельные поверхности, и только после этого стороны смазываются клеем и далее подвергаются обжатию с четырех сторон.

В готовом виде конструкция является многослойной. Как для любой многослойной панели, были определены минимальное и максимальное количество слоев для такой конструкции — 3 и 12 соответственно. Ее толщина может меняться от 45 до 480 мм. Эта величина зависит от количества слоев.

С железобетонными изделиями связывают такие свойства, как сравнимая прочность и долговечность, и, кроме того, унификация таких изделий, как стеновые и перегородочные панели с уже вырезанными дверными и оконными проемами, плиты перекрытия, опорные колонны и балки.

Достоинства CLT-панелей:

- экологичность;
- прочность;
- доступность;
- отсутствие усадки;
- высокая пожаростойкость;
- сейсмоустойчивость;
- низкая теплопроводность;
- высокое шумопоглощение;
- неограниченные возможности с точки зрения концепции, стиля и архитектуры.

Недостатки CLT-панелей:

- высокая стоимость в сравнении с другими строительными материалами;
- относительно новая технология, вследствие чего застройщики больше отдают предпочтение традиционным, проверенным временем технологиям;

- необходимость в дополнительном утеплении конструкции в условиях холодного климата;
- гниение при постоянном контакте с влагой;
- растрескивание внешнего слоя под воздействием солнечных лучей.

Технология CLT-панелей уже в ближайшем будущем сможет конкурировать с традиционными методами строительства. Такая технология имеет ряд преимуществ:

- возведение зданий в условиях плотной городской застройки без вредных выбросов в атмосферу;
- минимизация шумовых показателей в период строительства;
- наращивание этажей уже существующих зданий без дополнительного усиления фундамента и расселения жильцов;
- отсутствие мокрых процессов на строительной площадке;
- высокая скорость возведения объектов;
- стены не имеют горизонтальных межвенцовых стыков, как у дома из бруса, так как размер одной плиты может достигать 24 м;
- в сравнении с железобетонными панелями стены по технологии CLT лишены мостиков холода, однако угловые стыки все равно требуют дополнительного укрепления в виде специальных клеевых составов.

Как и у любой другой строительной технологии, существует ряд недостатков, таких как:

- необходимость в мощной и крупногабаритной технике для транспортировки и установки длинных фасадных панелей;
- нехватка квалифицированных монтажников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зарубежный опыт широкого применения CLT-панелей показывает высокую эффективность дан-

Реализованные объекты из CLT-панелей в мире и России

Назначение объекта	Название проекта	Страна	Год
Жилые здания	9-этажный дом Stadhaus высотой 30 м	Великобритания, Лондон	2009
	10-этажный дом Forté высотой 32 м	Австралия, Мельбурн	2012
	9-этажный жилой массив Strandparken площадью 2740 м ²	Швеция, Стокгольм	2013
	14-этажный дом Treet Bergen («Дерево») высотой 51 м	Норвегия, Берген	2015
	18-этажное студенческое общежитие Brock Commons высотой 53 м	Канада, Ванкувер	2017
Общественные здания	8-этажный бизнес-центр LifeCycle	Австрия, Дорнбирн	2012
	4-этажное офисное здание Good Wood	Россия, пос. Елино, Солнечногорский р-н, Московская обл.	2016
Инженерные сооружения	Куполообразная крыша деревянного ангара с длиной пролета 110 м в Парке слонов	Швейцария, Цюрих	2014

ной технологии при проектировании и строительстве различных типов зданий [18–20] (табл.).

Представленная таблица показывает, что применение технологии CLT-панелей в России только начинает набирать обороты, хотя в Европе она применялась еще с прошлого десятилетия. Однако в нашей стране постепенно начинает формироваться свое производство перекрестных панелей, что послужит пусковым механизмом для реализации более крупных и интересных проектов в будущем.

Определяющими факторами, останавливающими использование CLT-панелей в отечественном домостроении, являются их малоисследованность

и начальная стадия разработки их нормативной базы.

Набираемая популярность данной технологии определяется широким спектром положительных характеристик данного материала, при этом лидирующее место занимает именно натуральность и экологичность, которые достаточно высоко ценятся производителями, а вместе с тем и отсутствие выбросов в атмосферу опасных веществ при производстве. В развитии этой отрасли строительства заинтересованы как потенциальные потребители, так и производители строительных материалов, строительной химии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лабудин Б.В., Мелехов В.И., Шиловская Н.А., Попов Е.В., Тропина П.М., Журавлева Т.П. Напряженно-деформированное состояние панелей на деревянном каркасе с обшивкой из листовых древесных материалов // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 3 (272). С. 15–19. EDN YPJFR.

2. Косов И.И. Деревянные панели CLT в строительстве общественных зданий // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2019. № 2–1. С. 19. EDN XYVEOK.

3. Мавлюбердинов А.Р., Хоцянян Д.Н. Технологические особенности возведения многоэтажных жилых зданий из CLT-панелей // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 1 (43). С. 219–225. EDN UOVVCG.

4. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). М. : РИФ «Стройматериалы», 2013. 308 с. EDN XWRLHF.

5. Латыпов В.М. Конструкции из дерева и пластмасс : монография. Уфа, 2005. 105 с. EDN QNKWBR.

6. Крестьянинова А.Ю., Юминова М.О. Материалы и конструкции для строительства деревянных зданий // Наука через призму времени. 2017. № 9 (9). С. 42–51. EDN ZXXFPD.

7. Филимонов М.А., Смирнов П.Н., Погорельцев А.А. Проведение исследований по определению несущей способности стеновых панелей и плит перекрытия из древесины перекрестно клееной (ДПК/CLT) и разработка методики расчета. М. : Научно-исследовательский центр «Строительство», 2020. 268 с. EDN NVQDYW.

8. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Хворова А.Н., Петров И.Ю. Особенности поведения древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) при статических и динамических нагрузках, моделирующих сейсмические воздействия // Сейсмостойкое строительство.

Безопасность сооружений. 2022. № 2. С. 62–80. DOI: 10.37153/2618-9283-2022-2-62-80. EDN QYZGKG.

9. Змеев М.В. Определение толщины перекрытия из перекрестно-клееных досок на примере CLT-плит Binderholz (Austria) // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11 (71). С. 252–258. EDN YUSGJI.

10. Щелокова Т.Н. Современные тенденции улучшения свойств древесины и деревянных строительных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 6. С. 39–45. DOI: 10.12737/article_5b115a65781d87.13857188. EDN XTRGIP.

11. Karacabeyli E., Gagnon S., Pirvu C. Canadian CLT handbook: cross-laminated timber. Québec : FPInnovations, 2019. 812 p.

12. Nakajima S., Sakabe Y., Kimoto S., Ohashi Y. Deterioration of CLT under humid and dry cyclic climate // XV International Conference on Durability of Building Materials and Components. 2020. DOI: 10.23967/dbmc.2020.030

13. Schmidt E., Riggio M. Monitoring moisture performance of cross-laminated timber building elements during construction // Buildings. 2019. Vol. 9. Issue 6. P. 144. DOI: 10.3390/buildings9060144

14. Riggio M., Schmidt E., Mustapha G. Moisture monitoring data of mass timber elements during prolonged construction exposure: The case of the forest science complex (Peavy Hall) at Oregon State University // Frontiers in Built Environment. 2019. Vol. 5. DOI: 10.3389/fbuil.2019.00098

15. Schmidt E., Riggio M., Laleicke P.F., Barbosa A.R., van den Wymelenberg K. How monitoring CLT buildings can remove market barriers and support designers in North America: an introduction to preliminary environmental studies // Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. 2018. Issue 7. Pp. 41–48.

16. Malo K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnæs M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building “Treet” in Norway // Europe Journal of Wood and Wood Production. 2016. Vol. 74. Issue 3. Pp. 407–424. DOI: 10.1007/s00107-016-1022-5

17. Chapman J., Reynolds T., Harris R. A 30 level cross laminated timber building system and analysis of the Eurocode dynamic wind loads // World Conference on Timber Engineering. 2012. Pp. 49–57.

18. Van De Kuilen J.W.G., Ceccotti A., Xia Z., He M. Very tall wooden buildings with cross laminated timber // Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 1621–1628. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.07.204

19. Murray S., Grantham K., Damle S.B. Development of a generic risk matrix to manage project risks // Journal of Industrial and Systems Engineering. 2011. Vol. 5. Pp. 35–51.

20. Khumpaisai S., Chen Z. Risk assessment in real estate development: an application of analytic network process // Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS). 2018. Vol. 7. Issue 1. Pp. 103–118. DOI: 10.56261/jars.v7i1.168916

Поступила в редакцию 26 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 26 октября 2023 г.

Одобрена для публикации 28 октября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Александра Сергеевна Дворцова — магистрант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ashasuy@yandex.ru;

Андрей Юрьевич Ушаков — кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 670325; 903714@mail.ru.

Вклад авторов:

Дворцова А.С. — сбор и обработка материала, проведение исследования, написание текста статьи.

Ушаков А.Ю. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

One of the modern trends in the world construction industry is the use of wood not only as a finishing material, but also as a material of load-bearing structures. The availability of raw materials and economic feasibility allow us to talk about the prospects for the development of wooden house building.

Wood is a natural building material. One of the most valuable qualities of this material is its renewability and environmental friendliness. Wood successfully resists static and dynamic loads. It is lightweight and strong enough to be used in load-bearing structures of buildings. Compared to concrete, wood is as strong in com-

pression along the fibres as it is in bending, and it is considerably stronger than concrete in compression.

European projects of office buildings and residential complexes can serve as an indicator of the use of wooden structures as the main load-bearing frame material.

Successful implementation of such projects shows that it is possible to solve global environmental problems related to emissions of harmful substances into the atmosphere during the production of reinforced concrete.

MATERIALS AND METHODS

The main research method is analysis and review. In order to determine the current degree of realization of construction technology using cross-glued panels, a selection of relevant domestic and foreign literature sources for the last four years was carried out. The analysis was carried out in several directions:

- determination of prospects for the development of wooden house building in general;
- determination of the possibility to develop laminated wood construction in Russia and the availability of raw material and economic base for this purpose;
- assessment of the current position of CLT panels in the construction sector in the international market;
- assessment of the demand for similar projects in the property market of different countries.



Fig. 1. Multi-storey residential buildings made of CLT panels in Russia

RESEARCH RESULTS

Russia is one of the countries with the richest wood reserves in the world, but until 2019, construction regulations assumed the erection of wooden buildings up to three storeys. In 2019, design norms were developed to increase the maximum height to 28 metres.

One of the already implemented such projects is located in the Sokol town in the Vologda region (Fig. 1). This is a small residential complex consisting of two four-storey buildings 15 metres high. Both buildings were constructed using CLT structures.

CLT panels and boards are materials consisting of layers of wood glued crosswise to each other (Fig. 2). This is necessary due to the anisotropic properties of wood.

CLT is a construction that combines the properties and characteristics of two polar building materials: glued laminated timber and reinforced concrete slab. This is made possible thanks to a new technology.

The panels have the same structure as timber: planks joined into boards, stacked perpendicularly on top of each other. Before being sent to the press, the wood is dried to normal moisture content (10–12 %) and faced, i.e. even and parallel surfaces are achieved, only after which the sides are glued and then pressed on four sides.

In its finished form, the structure is multilayered. As for any multilayer panel, the minimum and maximum number of layers for such a construction have been determined — 3 and 12, respectively. Its thickness can vary from 45 to 480 mm. This value depends on the number of layers.

Reinforced concrete products are associated with properties such as comparable strength and durability and, in addition, the unification of products such as wall and partition panels with already cut out door and window openings, floor slabs, supporting columns and beams.

Advantages of CLT panels:

- environmental friendliness;
- durability;
- accessibility;
- no shrinkage;
- high fire resistance;
- seismic resistance;
- low thermal conductivity;
- high noise absorption;
- unlimited possibilities in terms of concept, style and architecture.

Disadvantages of CLT panels:

- high cost compared to other building materials;
- is a relatively new technology, and as a result, developers are more in favour of traditional, time-tested technologies;
- the need for additional insulation of the structure in cold climates;
- rotting in constant contact with moisture;
- cracking of the outer layer under the influence of sunlight.

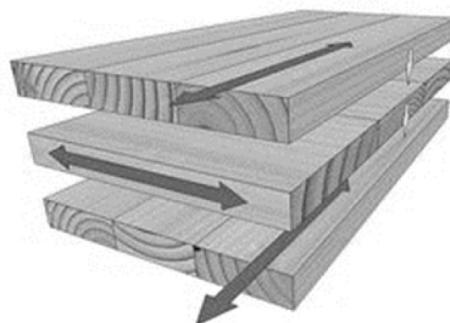


Fig. 2. Schematic representation of glued wood CLT panel

CLT panel technology will be able to compete with traditional construction methods in the near future. This technology has a number of advantages:

- construction of buildings in dense urban areas without harmful emissions into the atmosphere;
- minimizing noise emissions during the construction period;
- increasing the floors of existing buildings without additional reinforcement of the foundations and re-settlement of the occupants;
- no wet processes on the construction site;
- high speed of construction;
- the walls do not have horizontal interlap joints as in a log house, as the size of one slab can be up to 24 metres;
- compared to reinforced concrete panels, CLT walls are free of cold bridges. However, corner joints still require additional reinforcement in the form of special adhesives.

However, like any other building technology there are a number of disadvantages such as:

- the need for powerful and large-scale machinery for transporting and installing long facade panels;
- shortage of qualified installers.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Foreign experience of wide application of CLT-panels shows high efficiency of this technology in design and construction of various types of buildings (Table).

The table above shows that the use of CLT panel technology in Russia is just beginning to gain momentum, although it has been used in Europe since the last decade. However, our country is gradually beginning to form its own production of cross-linked panels, which will serve as a trigger for the realization of larger and more interesting projects in the future.

The determining factors stopping the use of CLT-panels in domestic house building are their lack of research and the initial stage of development of its regulatory framework.

The growing popularity of this technology is determined by a wide range of positive characteristics of this material, with the leading place occupied by the naturalness and environmental friendliness, which are quite

Realized objects made of CLT panels in the world and Russia

Purpose of the object	Project name	Country	Year
Residential buildings	The 9-storey Stadhaus is 30 metres high	United Kingdom, London	2009
	The 10-storey Forté building is 32 metres high	Australia, Melbourne	2012
	A 9-storey Strandparken housing estate with an area of 2,740 m ²	Sweden, Stockholm	2013
	The 14-storey Treet Bergen (“Tree”) building is 51 metres high	Norway, Bergen	2015
	Brock Commons is an 18-storey, 53 metre high student accommodation building	Canada, Vancouver	2017
Public buildings	8-storey LifeCycle Business Centre	Austria, Dornbirn	2012
	4-storey office building Good Wood	Russia, Elino settlement, Solnechnogorsky district, Moscow region	2016
Engineering structures	Dome roof of a wooden hangar with a span of 110 metres in the Elephant Park	Switzerland, Zurich	2014

highly valued by manufacturers and at the same time the absence of emissions into the atmosphere of hazardous substances during production. Both potential

consumers and manufacturers of construction materials and construction chemicals are interested in the development of this construction industry.

REFERENCES

1. Labudin B.V., Melekhov V.I., Shilovskaya N.A., Popov E.V., Tropina P.M., Zhuravleva T.P. Stress-strain state of panels on a wooden frame with sheathing from sheet wood materials. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2017; 3(272):15-19. EDN YPIJFR. (rus.).

2. Kosov I.I. Wooden CLT panels in the construction of public buildings. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2019; 2-1:19. EDN XYVEOK. (rus.).

3. Mavlyuberdinov A.R., Khotsanian D.N. Technological features of erecting multi-storey residential buildings from CLT-panels. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2018; 1(43):219-225. EDN UOVVCG. (rus.).

4. Turkovsky S.B., Pogoreltsev A.A., Preobrazhenskaya I.P. *Glued wooden structures with knots on glued rods in modern construction (TsNIISK system)*. Moscow, RIF “Building Materials” Publ., 2013; 308. EDN XWRLHF. (rus.).

5. Latypov V.M. *Structures made of wood and plastics*. Ufa, Monograph Publ., 2005; 105. EDN QNKWBR. (rus.).

6. Krestyaninova A.Yu., Yuminova M.O. Materials and structures for the construction of wooden buildings. *Science through the prism of time*. 2017; 9(9):42-51. EDN ZXXFPD. (rus.).

7. Filimonov M.A., Smirnov P.N., Pogoreltsev A.A. *Carrying out research to determine the bearing capacity of wall panels and floor slabs made of cross-laminated wood (WPC/CLT) and developing a calculation methodology*. Moscow, Research Center “Construction” Publ., 2020; 268. EDN NVQDYW. (rus.).

8. Bubis A.A., Giziatullin I.R., Petrov I.Yu., Khvorova A.N. Peculiarities of behavior of cross-laminated timber (CLT) under static and dynamic loads simulating seismic impacts. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2022; 2:62-80. DOI: 10.37153/2618-9283-2022-2-62-80. EDN QYZGKG. (rus.).

9. Zmeev M.V. Determination of the floor thickness of cross-glued boards on example of CLT-plates Binderholz (Austria). *Engineering journal of Don*. 2020; 11(71):252-258. EDN YUSGJI. (rus.).

10. Shchelokova T.N. Modern trends in improving the properties of wood and wooden building structures. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2018; 6:39-45. DOI: 10.12737/article_5b115a65781d87.13857188. EDN XTRGIP. (rus.).

11. Karacabeyli E., Gagnon S., Pîrvu C. *Canadian CLT handbook: cross-laminated timber*. Québec, FPInnovations, 2019; 812.

12. Nakajima S., Sakabe Y., Kimoto S., Ohashi Y. Deterioration of CLT under Humid and Dry Cyclic Climate. *XV International Conference on Durability of Building Materials and Components*. 2020. DOI: 10.23967/dbmc.2020.030

13. Schmidt E., Riggio M. Monitoring moisture performance of cross-laminated timber building elements during construction. *Buildings*. 2019; 9(6):144. DOI: 10.3390/buildings9060144

14. Riggio M., Schmidt E., Mustapha G. Moisture monitoring data of mass timber elements during prolonged construction exposure: The case of the forest science complex (Peavy Hall) at Oregon State University. *Frontiers in Built Environment*. 2019; 5. DOI: 10.3389/fbuil.2019.00098
15. Schmidt E., Riggio M., Laleicke P.F., Barbosa A.R., van den Wymelenberg K. How monitoring CLT buildings can remove market barriers and support designers in North America: an introduction to preliminary environmental studies. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*. 2018; 7:41-48.
16. Malo K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnæs M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building “Treet” in Norway. *Europe Journal of Wood and Wood Production*. 2016; 74(3):407-424. DOI: 10.1007/s00107-016-1022-5
17. Chapman J., Reynolds T., Harris R. A 30 level cross laminated timber building system and analysis of the eurocode dynamic wind loads. *World Conference on Timber Engineering*. 2012; 49-57.
18. Van De Kuilen J.W.G., Ceccotti A., Xia Z., He M. Very tall wooden buildings with cross laminated timber. *Procedia Engineering*. 2011; 14:1621-1628. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.07.204
19. Murray S., Grantham K., Damle S.B. Development of a generic risk matrix to manage project risks. *Journal of Industrial and Systems Engineering*. 2011; 5:35-51.
20. Khumpaisal S., Chen Z. Risk assessment in real estate development: an application of analytic network process. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*. 2018; 7(1):103-118. DOI: 10.56261/jars.v7i1.168916

Received September 26, 2023.

Adopted in revised form on October 26, 2023.

Approved for publication on October 28, 2023.

BIONOTES: **Alexandra S. Dvortsova** — master’s student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ashasuy@yandex.ru;

Andrey Yu. Ushakov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal and Wood Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 670325; 903714@mail.ru.

Contribution of the authors:

Alexandra S. Dvortsova — collection and processing of material, conducting research, writing the text of the article.

Andrey Yu. Ushakov — scientific guidance, research concept, development of methodology, writing of the source text.

The authors declare that there is no conflict of interest.