

УДК 620.17:624.011.1

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.140.1153

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ПЕРЕХРЕСНО-КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

ШЕХОРКІНА С. Є.^{1*}, докт. техн. наук., проф.,

БОРДУН М. В.², докт. філософії,

МЕРИЛОВА І. О.³, канд. арх., доц.,

ЛЯСОТА О. В.⁴, асп.,

ФЕДІН В. А.⁵, асп.

^{1*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 021-84-44, e-mail: svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 260-11-91, e-mail: bordun.maryna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

³ Кафедра архітектурного проектування та містобудування, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (068) 490-61-15, e-mail: irina.merilova@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2019-0780

⁴ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 483-03-73, e-mail: lyasota198422@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

⁵ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 882-28-08, e-mail: fedin.vladyslav@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8829-7520

Анотація. Постановка проблеми. Перехресно-клеєна деревина (ПКД) – це сучасний будівельний матеріал, який може бути використаний для зведення будівель різного призначення. Незважаючи на свою популярність закордоном, ПКД все ще залишається новим для України будівельним матеріалом, а в чинних нормах для проектування дерев'яних конструкцій відсутні рекомендації з розрахунку конструкцій з ПКД-панелей. Для поширення використання ПКД у вітчизняній практиці необхідне проведення досліджень характеристик міцності відповідно до міжнародних стандартів. **Мета статті** – дослідження характеристик міцності на згин та стиск ПКД вітчизняного виробництва шляхом випробувань згідно європейських стандартів. **Методика.** Для експериментальних досліджень були використані зразки елементів з ПКД вітчизняного виробника CLT-Result. Зразки склалися з пиломатеріалів хвойних порід (сосна *Pinus sylvestris* L.) в конфігурації 3 шарів товщиною 30 мм (товщина ПКД 90 мм) та 5 шарів товщиною 20 мм (товщина ПКД 100 мм). Виконані випробування на згин та стиск паралельно та перпендикулярно площині повздовжніх шарів відповідно до вимог EN 16351:2021 та EN 408:2012. **Висновки.** Міцність зразків ПКД на згин визначається міцністю деревини зовнішнього найбільш розтягнутого шару. Руйнування зразків при згинанні розпочиналося з утворення тріщин вздовж річних кілець деревини зовнішнього нижнього шару із подальшим розривом розтягнутих волокон. Зразки ПКД при випробуванні на стиск паралельно площині шарів руйнувались внаслідок вичерпання несучої здатності деревини поздовжніх шарів, що супроводжувалось зсувом по косих площадках. Руйнування ПКД при стисканні перпендикулярно площині шарів відбувалось внаслідок істотного спресовування деревини. Визначені наступні характеристики: міцність на згин 3-шарової ПКД-панелі становила 15,3 МПа, 5-шарової – 20,1 МПа; міцність на стиск 5-шарової ПКД-панелі паралельно площині шарів $f_{c,0} = 26,88...29,15$ МПа, перпендикулярно площині шарів $f_{c,90} = 11,16...12,13$ МПа.

Ключові слова: перехресно-клеєна деревина; згин; стиск; руйнівне навантаження; міцність

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF CROSS-LAMINATED TIMBER

SHEKHORKINA S.Yev.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

BORDUN M.V.², PhD,

MERYLOVA I.O.³, Cand. Sc. (Arch.),

LYASOTA O.V.⁴, Postgrad. Stud.,

FEDIN V.A.⁵, *Postgrad. Stud.*

^{1*} Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 021-84-44, e-mail: svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

² Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (098) 260-11-91, e-mail: bordun.maryna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

³ Department of Architectural Design and Urban Planning, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (068) 490-61-15, e-mail: irina.merilova@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2019-0780

⁴ Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 483-03-73, e-mail: lyasota198422@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

⁵ Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 882-28-08, e-mail: fedin.vladyslav@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8829-7520

Abstract. Problem statement. Cross-laminated timber (CLT) is a modern building material that can be used in the construction of buildings for various purposes. Despite its popularity abroad, CLT is still a relatively new material in Ukraine, and the current standards for designing timber structures do not include recommendations for the calculation of structures made from CLT panels. To promote the use of CLT in domestic practice, it is necessary to conduct studies on its strength characteristics in accordance with international standards. **The purpose of the article** is to investigate the characteristics of bending and compressive strength of domestically produced CLT through tests according to European standards. **Methods.** For experimental studies, samples of elements from the CLT-Result domestic manufacturer were used. The samples consisted of coniferous lumber (pine *Pinus sylvestris* L.) in a configuration of 3 layers 30 mm thick (CLT thickness 90 mm) and 5 layers 20 mm thick (CLT thickness 100 mm). Bending and compression tests were performed parallel and perpendicular to the plane of the longitudinal layers in accordance with the requirements of EN 16351:2021 and EN 408:2012. **Conclusion.** The bending strength of CLT samples is determined by the strength of the timber of the outer, most stretched layer. The destruction of the samples during bending began with the formation of cracks along the annual rings of the wood of the outer lower layer, followed by the rupture of the stretched fibers. CLT samples, when tested for compression parallel to the plane of the layers, collapsed due to the exhaustion of the bearing capacity of the timber of the longitudinal layers, which was accompanied by shearing along the inclined areas. The destruction of the CLT compressed perpendicular to the plane of the layers occurred as a result of significant compression of the wood. The following characteristics were determined: the bending strength of the 3-layer CLT panel was 15.3 MPa, and the 5-layer panel had a bending strength of 20.1 MPa; the compressive strength of the 5-layer CLT panel parallel to the plane of the layers $f_{c,0} = 26.88...29.15$ MPa, and perpendicular to the plane of the layers $f_{c,90} = 11.16...12.13$ MPa.

Keywords: cross-laminated timber; bending; compression; failure load; strength

Постановка проблеми, мета і задачі дослідження. Будівництво з використанням деревини набирає все більшу популярність в світі, що пов'язано із потенціалом цього природного матеріалу як екологічно чистої альтернативи традиційним сталі та бетону. Перехресно-клеєна деревина (ПКД) – це інженерний виріб, що складається із непарної кількості склеєних між собою шарів (від 3 до 9) дошок, що укладаються у взаємно перпендикулярних напрямках [1]. ПКД була розроблена в 1990-х роках в Австрії і з того часу набула поширення в багатьох країнах як ефективний будівельний матеріал для будівель різного призначення, в тому числі багатопверхових [2; 3]. Даний продукт постійно удосконалюється з точки

зору ресурсоефективності, шляхом поєднання у панелі шарів з деревини різного класу міцності або породи, застосування в поперечних шарах конструкційних композитних матеріалів, таких як брус з клеєного шпону або стружки, орієнтовано-стружкові плити тощо [4]. Це своєю чергою потребує проведення експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей нових видів ПКД, яким присвячено роботи багатьох закордонних вчених [5–9].

Незважаючи на свою популярність закордоном, ПКД все ще залишається новим для України будівельним матеріалом. В чинних національних нормах для проєктування дерев'яних конструкцій [10] відсутні рекомендації з розрахунку будівель

з ПКД-панелей. Тим не менше, в Україні вже реалізовано ряд проєктів [11; 12]. Вітчизняними науковцями проводяться лабораторні випробування ПКД місцевого виробництва [13; 14]. Для поширення використання ПКД панелей у вітчизняній практиці будівництва необхідне проведення подальших досліджень, що дозволять отримати додаткові дані щодо характеристик міцності відповідно до міжнародних стандартів.

Метою даної роботи є дослідження характеристик міцності на згин та стиск перехресно-клеєної деревини вітчизняного виробництва шляхом випробувань згідно європейських стандартів.

Матеріали та методи досліджень.

Зразки елементів з ПКД були надані компанією CLT-Rezult. Сировиною для виготовлення є пиломатеріали хвойних порід (сосна *Pinus sylvestris* L.). Зразки склалися з трьох шарів товщиною 30 мм та п'яти шарів товщиною 20 мм. Таким чином, загальна товщина тришарової панелі становить 90 мм, а п'ятишарової – 100 мм. Ширина окремих дошок – 100 мм. Декларований виробником клас міцності вхідної сировини не нижче класу T10 або C16 згідно [15; 16] Вологість деревини – 12 %. Для склеювання шарів використовується однокомпонентний рідкий поліуретановий клей (тип I-PUR). Розміри зразків та процедура випробувань зразків ПКД на згин відповідали вимогам стандартів [17; 18]. Ширина зразків становила 600 мм, довжина – 2 000 мм. Схема та геометричні параметри зразка для випробування на згин приведені на рисунку 1.

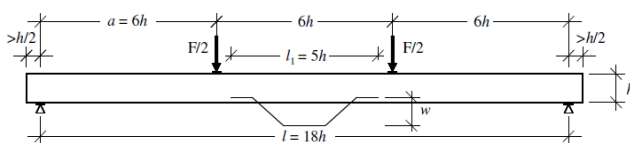


Рис. 1. Схема та геометричні параметри зразків для випробування на згин [18]

Для випробування ПКД-панель з обох кінців встановлювалась на шарнірно-нерухомих опорах. Навантаження на зразок створювалось за допомогою гідравлічного

пресу ИПС-500. Передача зосередженого навантаження на дві точки, як показано на схемі (рис. 1), забезпечувалась через траверсу. Вимірювання прогину здійснювалось за допомогою прогиномірів 6-ПАО, встановлених з обох сторін панелі в зоні центрального перерізу. Загальний вигляд зразка ПКД-панелі для випробування на тестовому стенді приведено на рисунку 2.



Рис. 2. Загальний вигляд зразка ПКД-панелі для випробування на згин

Міцність на згин за результатами випробувань визначалась за формулою:

$$f_m = \frac{3F_{\max} a}{bh^2}, \quad (1)$$

де $F_{\max}$ – максимальне навантаження; a – відстань між точкою навантаження та найближчою опорою під час випробування на згин; b , h – ширина та висота поперечного перерізу, відповідно.

Після випробувань на згин з ділянок ПКД-панелей, які зберегли цілісність, були виготовлені зразки для дослідження міцності на стиск паралельно та перпендикулярно площині шарів. Розміри зразків приймалися відповідно до вимог [17; 18]. Зразки склалися з п'яти шарів, кожен товщиною 20 мм. Загальна товщина становила 100 мм.

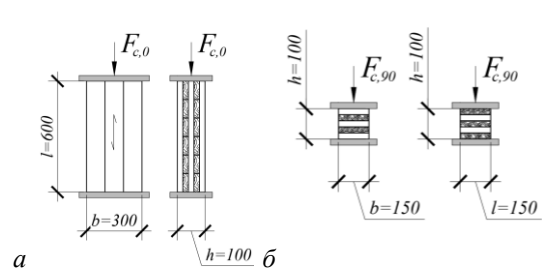


Рис. 3. Геометричні параметри зразків та схема випробувань на стиск перехресно-клеєної деревини:
а – паралельно площині шарів;
б – перпендикулярно площині шарів

Ширина та довжина зразка для випробувань на стиск паралельно площині шарів становила 300 та 600 мм, відповідно. Ширина та довжина зразка для випробувань на стиск перпендикулярно площині шарів складала 150 мм. Кількість зразків для обох видів випробувань – 3 шт. Геометричні параметри та схема випробувань на стиск приведені на рисунку 3.

Випробування зразків на стиск виконувалось на гідравлічному пресі П-125. Загальний вигляд зразків до проведення випробувань на стиск приведено на рисунку 4.

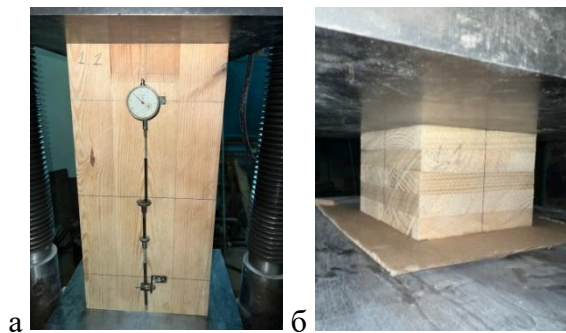


Рис. 4. Загальний вигляд зразків для випробувань на стиск: а – паралельно площині шарів; б – перпендикулярно площині шарів

Міцність на стиск визначалася за формулами:

$$f_{c,0} = F_{0,max} / A_0, \quad (2)$$

$$f_{c,90} = F_{90,max} / A_{90}, \quad (3)$$

де $f_{c,0}$, $f_{c,90}$, $F_{0,max}$, $F_{90,max}$ – міцність на стиск та максимальне навантаження паралельно та перпендикулярно площині шарів, відповідно; A_0 , A_{90} – площа поперечного перерізу зразка для випробування на стиск паралельно та перпендикулярно площині шарів, відповідно.

Таблиця 1

Результати випробування зразків ПКД-панелей на згин

Тип зразка	Розміри перерізу, мм		Руйнівне навантаження, F_{max} кН	Міцність на згин, f_m , Н/мм ²	Прогин при $0.6F_{max}$, w_e , мм
	b	h			
3 шари	600	90	45	15.3	13.5
5 шарів	600	100	73	20.1	18

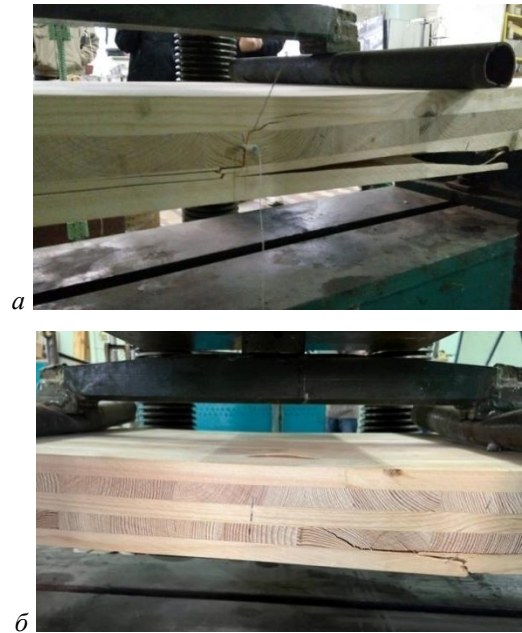


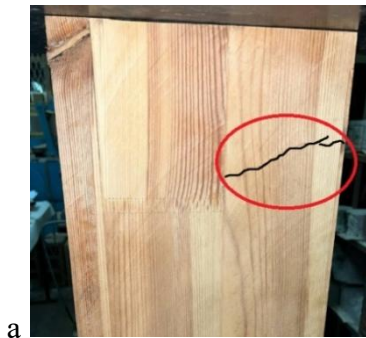
Рис. 5. Характер руйнування зразків ПКД при випробуванні на згин: а – 3 шари (90 мм); б – 5 шарів (100 мм)

Результати. В результаті випробувань на згин було отримано величину руйнівного навантаження, а також визначено характер руйнування зразків, що наведено рисунку 5. Фактичні значення руйнівного навантаження та міцності клеєної деревини на згин, а також їх порівняння з теоретичними значеннями приведено в таблиці 1.

Міцність зразків ПКД панелей на згин визначається міцністю деревини зовнішнього найбільш розтягнутого шару. Обидва зразки ПКД демонстрували подібну картину руйнування. Утворення тріщин розпочиналося вздовж річних кілець деревини зовнішнього нижнього шару із подальшим розривом розтягнутих волокон. При подальшому збільшенні навантаження руйнування від розриву поширювалося до лінії склеювання з переходом до вищерозташованих шарів. Слід відзначити, що при цьому шипові з'єднання дошок по довжині, які потрапляли в розтягнуту зону, залишилися суцільними.

Отримані дані показали, що збільшення кількості шарів впливає на підвищення міцності панелі на згин, в той час як автори подібних досліджень [7–9] зазначали незначне зменшення руйнівного навантаження для зразків з п'яти шарів

порівняно із тришаровими зразками. Міцність на згин 3-шарової ПКД-панелі становила 15,3 МПа, тоді як 5-шарової – 20,1 МПа. Різниця в міцності між 3- та 5-шаровими панелями ПКД може бути пов'язана з процесом виробництва. Зокрема істотний вплив може мати тривалість та тиск під яким відбувається процес склеювання панелі. З огляду на це потрібно проведення додаткових досліджень роботи ПКД панелей на згин при різній кількості та товщині шарів.



а



б

Рис. 6. Характер руйнування зразків ПКД при випробуванні на стиск : а – паралельно площині шарів; б – перпендикулярно площині шарів

Як видно з рисунку 6, руйнування зразків ПКД при випробуванні на стиск паралельно площині шарів відбувалось внаслідок вичерпання несучої здатності деревини поздовжніх шарів на стиск і супроводжується зсувом по косих площадках. При цьому для всіх випробуваних зразків площини склеювання залишилися суцільними, що свідчить про якість клейового з'єднання між поздовжніми та поперечними шарами ПКД.

Зразки, що випробувались на стиск перпендикулярно площині шарів, під дією навантаження зазнавали спресовування та істотного деформування в різних напрямках. За умовне руйнівне навантаження приймали значення, при якому зразок стискався на ~20 мм.

Фактичні розміри, величина руйнівного навантаження та міцності ПКД на стиск, а також їх порівняння з теоретичними значеннями приведено в таблицях 2, 3.

Таблиця 2

Результати випробування зразків ПКД на стиск паралельно площині шарів

Номер зразка	Фактичні розміри, мм			Руйнівне навантаження, кН	Міцність, МПа
	h	b	l		
1	100	295	598	860	29,15
2	100	292	600	785	26,88
3	100	298	600	847	28,42

Таблиця 3

Результати випробування зразків ПКД на стиск перпендикулярно площині шарів

Номер зразка	Фактичні розміри, мм			Руйнівне навантаження, кН	Міцність, МПа
	h	b	l		
1	100	145	145	245	11,65
2	100	145	145	255	12,13
3	100	145	147	238	11,16

Випробувані зразки характеризуються незначними розбіжностями значень руйнівного навантаження та міцності на стиск, що свідчить про однорідність властивостей. Міцність на стиск паралельно площині шарів становила $f_{c,0} = 26,88...29,15$ МПа. Міцність на стиск перпендикулярно площині шарів становила $f_{c,90} = 11,16...12,13$ МПа. Загалом результати випробувань збігаються із аналогічними дослідженнями закордонних та вітчизняних авторів [7–9; 13; 14].

Висновки

Шляхом випробувань згідно європейських стандартів проведені експериментальні дослідження характеристик міцності на згин та стиск ПКД вітчизняного виробництва з деревини хвойних порід місцевого походження. Міцність зразків ПКД на згин визначається міцністю деревини зовнішнього найбільш розтягнутого шару. Руйнування зразків при згинанні розпочиналося з утворення тріщин вздовж річних кілець деревини зовнішнього нижнього шару із подальшим розривом розтягнутих волокон. Зразки ПКД при випробуванні на стиск паралельно площині

шарів руйнувались внаслідок вичерпання несучої здатності деревини поздовжніх шарів, що супроводжувалось зсувом по косих площадках. Руйнування ПКД при стисканні перпендикулярно площині шарів відбувалось внаслідок істотного спресовування деревини. В результаті були отримані наступні характеристики: міцність на згин 3-шарової ПКД-панелі становила

15,3 МПа, тоді як 5-шарової – 20,1 МПа; міцність на стиск паралельно площині шарів $f_{c,0} = 24,83..29,15$ МПа; міцність на стиск перпендикулярно площині шарів $f_{c,90} = 11,16..12,13$ МПа.

Подальшим напрямком досліджень є аналіз впливу кількості та товщини шарів на міцність та деформативність ПКД-панелей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yusoh A. S., Anwar U.M.K., Lee Sh., Ong C., Asniza M., Paridah M. The properties of Cross Laminated Timber (CLT) : a review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2025. Vol. 138. P. 103924. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2024.103924> (дата звернення: 11.01.2025).
2. Jayalath A., Navaratnam S., Ngo T., Mendis P. A., Hewson N., Aye L. Life cycle performance of Cross Laminated Timber mid-rise residential buildings in Australia. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 223. P. 110091. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110091> (дата звернення: 11.01.2025).
3. Shin B., Wi S., Kim S. Assessing the environmental impact of using CLT-hybrid walls as a sustainable alternative in high-rise residential buildings. *Energy and Buildings*. 2023. Vol. 294. P. 113228. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113228> (дата звернення: 11.01.2025).
4. Yin T., Song H., Wang Z., Li L., Zheng W., Ju Z., Gong Y., Gong M. Long-term creep properties of hybrid CLT fabricated with lumber and OSB. *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 211. P. 118238. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118238> (дата звернення: 11.01.2025).
5. Sikora K. S., McPolin D. O., Harte A. M. Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 116. Pp. 141–150. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.145> (дата звернення: 11.01.2025).
6. Muñoz F., Tenorio C., Moya R., Navarro-Mora A. CLT Fabricated with Gmelina arborea and Tectona grandis Wood from Fast-Growth Forest Plantations : Physical and Mechanical Properties. *Journal of Renewable Materials*. 2022. Vol. 10 (1). Pp. 1–17. URL: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017392> (дата звернення: 11.01.2025).
7. Norshariza M. B., Lum W. C., Azmi A., Nordin M. S., Yam N. W. S., Ahmad Z., Lee S. H. Bending, Compression and Bonding Performance of Cross-Laminated Timber (CLT) Made from Malaysian Fast-Growing Timbers. *Journal of Renewable Materials*. 2022. Vol. 10 (11). Pp. 2851–2869. URL: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.022326> (дата звернення: 11.01.2025).
8. He M., Sun X., Li Z., Feng W. Bending, shear, and compressive properties of three- and five-layer cross-laminated timber fabricated with black spruce. *Journal of Wood Science*. 2020. Vol. 66 (38). Pp. 1–17. URL: <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01886-z>
9. Boggian F., Andreolli M., Tomasi R. Cross Laminated Timber (CLT) Beams Loaded in Plane : Testing Stiffness and Shear Strength. *Frontiers in Built Environment*. 2019. Vol. 58. Pp. 1–12. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00058>
10. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-807>
11. UNBROKEN відкрив новий центр протезування та ортезування. URL: <https://unbroken.org.ua/ua/news/unbroken-vidkryv-novyj-czentr-protezuвання-ta-ortezuvannya> (дата звернення: 11.01.2025).
12. CLT REZULT. UNBROKEN : Реконструкція реабілітаційного центру у Львові. URL: <https://clt-rezult.com/news/unbroken/> (дата звернення: 11.01.2025).
13. Бідаков А. М., Кочкарьов Д. В., Пустовойтова О. М. Міцність та деформативність панелей з поперечно клеєної деревини (пкд) або clt панелей вітчизняного виробництва. *Науковий вісник будівництва*. 2024. Вип. 111. С. 75–83. URL: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.111.1.10>
14. Бідаков А. М., Пустовойтова О. М., Распопов Є. А., Страшко Б. О. Міцність пкд панелей при розтягу та стиску вздовж волокон. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2020. Вип. 1. С. 5–10. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-5-10>
15. ДСТУ EN 14080:2013, (EN 14080:2013, IDT). Конструкції дерев'яні. Шарувата клеєна деревина та масивна клеєна деревина. Вимоги. Розробник : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості».
16. ДСТУ EN 338:2022, (EN 338:2016, IDT). Конструкційний лісоматеріал. Класи міцності. Розробник : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості».
17. EN 16351:2021, Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. European committee for standardization. CEN-CENELEC, Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.

18. EN 408:2012. Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties. European committee for standardization. CEN-CENELEC, Management Centre : Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.

REFERENCES

1. Yusoh A.S., Anwar U.M.K., Lee Sh., Ong C., Asniza M. and Paridah M. The properties of Cross Laminated Timber (CLT) : a review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2025, vol. 138, p. 103924. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2024.103924> (accesss date: 11.01.2025).
2. Jayalath A., Navaratnam S., Ngo T., Mendis P. A., Hewson N. and Aye L. Life cycle performance of Cross Laminated Timber mid-rise residential buildings in Australia. *Energy and Buildings*. 2020, vol. 223, p. 110091. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110091> (accesss date: 11.01.2025).
3. Shin B., Wi S. and Kim S. Assessing the environmental impact of using CLT-hybrid walls as a sustainable alternative in high-rise residential buildings. *Energy and Buildings*. 2023, vol. 294, p. 113228. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113228> (accesss date: 11.01.2025).
4. Yin T., Song H., Wang Z., Li L., Zheng W., Ju Z., Gong Y. and Gong M. Long-term creep properties of hybrid CLT fabricated with lumber and OSB. *Industrial Crops and Products*. 2024, vol. 211, p. 118238. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118238> (accesss date: 11.01.2025).
5. Sikora K.S., McPolin D.O. and Harte A.M. Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 116, pp. 141–150. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.145> (accesss date: 11.01.2025).
6. Muñoz F., Tenorio C., Moya R. and Navarro-Mora A. CLT Fabricated with Gmelina arborea and Tectona grandis Wood from Fast-Growth Forest Plantations : Physical and Mechanical Properties. *Journal of Renewable Materials*. 2022, vol. 10 (1), pp. 1–17. URL: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017392> (accesss date: 11.01.2025).
7. Norshariza M.B., Lum W.C., Azmi A., Nordin M.S., Yam N.W.S., Ahmad Z. and Lee S.H. Bending, Compression and Bonding Performance of Cross-Laminated Timber (CLT) Made from Malaysian Fast-Growing Timbers. *Journal of Renewable Materials*. 2022, vol. 10 (11), pp. 2851–2869. URL: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.022326> (accesss date: 11.01.2025).
8. He M., Sun X., Li Z. and Feng W. Bending, shear, and compressive properties of three- and five-layer cross-laminated timber fabricated with black spruce. *Journal of Wood Science*. 2020, vol. 66 (38), pp. 1–17. URL: <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01886-z>
9. Boggian F., Andreolli M. and Tomasi R. Cross Laminated Timber (CLT) Beams Loaded in Plane : Testing Stiffness and Shear Strength. *Frontiers in Built Environment*. 2019, vol. 58, pp. 1–12. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00058>
10. DBN V.2.6-161:2017. *Derevyani konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. Vyd. ofits. (Derzhavni budivelni normy Ukrayiny)*. [SCU V.2.6-161:2017. Wooden structures. Basic provisions. Official edition]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2017. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-807> (in Ukrainian).
11. *UNBROKEN vidkryv novyy tsentr protezuвання та ortezuвання* [UNBROKEN opened a new prosthetics and orthotics center]. URL: <https://unbroken.org.ua/ua/news/unbroken-vidkryv-novyj-czentr-protezuвання-ta-ortezuвання> (accesss date: 11.01.2025). (in Ukrainian).
12. *CLT REZULT. UNBROKEN: Rekonstruktsiya reabilitatsynoho tsentru u Lvovi.* [UNBROKEN: Reconstruction of a rehabilitation center in Lviv.] URL: <https://clt-rezult.com/news/unbroken/> (accesss date: 11.01.2025). (in Ukrainian).
13. Bidakov A.M., Kochkarov D.V. and Pustovoytova O.M. *Mitsnist ta deformatyvnist paneley z poperechno kleyenoyi derevyiny (pkd) abo clt paneley vitchyznyanoho vyrobnytstva* [Strength and deformability of cross-laminated timber (CLT) panels or CLT panels of domestic production]. *Naukovy visnyk budivnytstva* [Scientific Bulletin of Construction]. 2024, vol. 111, pp. 75–83. URL: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.111.1.10> (in Ukrainian).
14. Bidakov A.M., Pustovoytova O.M., Raspopov Ye.A. and Strashko B.O. *Mitsnist pkd paneley pry roztyahu ta stysku vzdovzh volokon* [Strength of CLT panels in tension and compression along the fibers]. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi* [Modern Technologies, Materials and Structures in Construction.]. 2020, vol. 1, pp. 5–10. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-5-10> (in Ukrainian).
15. *DSTU EN 14080:2013, (EN 14080:2013, IDT). Konstruktsiyi derevyani. Sharuvata kleyena derevyina ta masyvna kleyena derevyina. Vymohy* [Timber structures. Glued laminated timber and solid glued timber. Requirements]. Developer : SE “Ukrainian Scientific Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality”. (in Ukrainian).
16. *DSTU EN 338:2022, (EN 338:2016, IDT). Konstruktsiyyny lisomaterial. Klasy mitsnosti* [DSTU EN 338:2022, (EN 338:2016, IDT). Structural timber. Strength classes]. Developer : SE “Ukrainian Scientific Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality Problems”. (in Ukrainian).
17. EN 16351:2021. Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. European committee for standardization. CEN-CENELEC, Management Centre : Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
18. EN 408:2012. Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties. European committee for standardization. CEN-CENELEC, Management Centre : Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.

Надійшла до редакції: 15.01.2025.