

ЗАСТОСУВАННЯ КЛЕЄНОЇ ТА ПОПЕРЕЧНО-КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА НОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

Денис МИХАЙЛОВСЬКИЙ¹, Микола КОМАР², Тетяна СКЛЯРОВА³,
Богдан БОНДАРЧУК⁴

^{1,3,4} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037

² ВСП «Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури»
4, вул. Освіти, Київ, Україна, 03037

¹ mykhailovskyi.dv@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3151-8630>

² komar_man@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0002-3631-8999>

³ skliarova.ts@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-9162-3999>

⁴ bondarchuk_br@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5307-5159>

Анотація. Стаття присвячена актуальній проблемі відновлення зруйнованих внаслідок воєнних дій будівельних об'єктів України. Розглянуто питання виготовлення та ефективного застосування панелей з поперечно-клеєної деревини та інших виробів з клеєної деревини для застосування при реконструкції, відновленню пошкоджених будівельних об'єктів та новому будівництві. Чому може сприяти доступність сировинної бази, її відновлюваність та легкість видобування і обробки.

Поперечно-клеєна деревина – це відносно новий будівельний матеріал на основі деревини, який являє собою масив з дошок склеєних пошарово у взаємно перпендикулярному напрямку. Шари пиломатеріалу склеюються між собою під тиском, утворюючи фактично монолітну плиту.

Виготовлення поперечно-клеєної деревини вирішує одну з важливих задач, а саме використання малих і середніх розмірів поперечних перерізів дошок для створення великих масивів, що дозволяє значно економити ділову деревину.

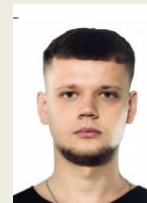
Наведені основні переваги клеєної та поперечно-клеєної деревини як будівельних матеріалів та доведена доцільність їх застосування для будівель і споруд різноманітного функціонального призначення. Представлено приклади зведених сучасних багатоповерхових будинків з використанням панелей з поперечно-клеєної деревини в усьому світі.

Завдяки нівелюванню частини вад цільної деревини та збереженню однієї з основних переваг, а саме малій вазі при відносно великих зна-



Денис МИХАЙЛОВСЬКИЙ

професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій,
д.т.н., професор



Микола КОМАР

старший викладач кафедри будівництва та інформаційних технологій,
доктор філософії



Тетяна СКЛЯРОВА

асистент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій



Богдан БОНДАРЧУК

здобувач архітектурного факультету

ченнях міцності, клеєна та поперечно-клеєна деревина може стати одним з основних матеріалів при забудові нових територій та відновленні чи реконструкції пошкоджених внаслідок воєнних

дій будинків і споруд різноманітного призначення.

Мала вага конструкцій з клеєної та поперечно-клеєної деревини зменшить затрати на підсилення існуючих конструкцій та витрати матеріалів на нові фундаменти за умови нового будівництва як мінімум на 30% в порівнянні з будинками зведеними за допомогою більш традиційних матеріалів.

Ключові слова: поперечно-клеєна деревина; панелі з поперечно-клеєної деревини; метод пресування; технологія виготовлення; відновлення та реконструкція; багатоповерхові будинки; ефективність застосування.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Актуальність представленого дослідження зумовлена необхідністю пропозицій з післявоєнної реконструкції, відновлення та зведення нових будівель в Україні. Враховуючи фактор тотального знищення сотень тисяч будівельних об'єктів різноманітного призначення в Україні військами російської федерації, одним з першочергових питань після закінчення війни стане питання, їх відновлення, реконструкції та зведення нових будівель в найкоротші терміни. Таким чином, дослідження присвячено одному з варіантів її вирішення.

Одним з перспективних матеріалів для відновлення будівельних об'єктів при значному занепаді виробництва будівельних матеріалів і виробів можуть стати конструкції з цільної та клеєної деревини (далі – КД), а також таких матеріалів як поперечно-клеєна деревина (далі – ПКД) та брус з клеєного шпону. Цьому сприятиме розповсюдження деревини, достатній запас запасів деревини в Україні та Європейських країнах, а також ряд позитивних властивостей деревини як конструкційного матеріалу, насамперед відносно високу міцність, при малій густині. Це дозволить значно зменшити вагу надземної конструкції, або конструкції при реконструкції чи відновлення, що значно зменшить навантаження на фундамент при новому будівництві і навантаження на існуючі

несучі конструкції пошкоджених будівельних об'єктів, а значить зменшить затрати на підсилення останніх.

Щорічні об'єми заготівлі деревини в світі становлять 2,6 млрд. м³, що вдвічі перевищує виробництво сталі і цементу. При цьому щорічний приріст деревини становить більше 7 млрд. м³ [1]. Це говорить про великий резерв застосування деревини як одного з основних будівельних матеріалів.

ПКД, більш відома в світовій практиці як CLT (скорочено від англ. - cross laminated timber) набуває все ширшого застосування завдяки своїм високим міцнісним та архітектурно-естетичним властивостям [2, 3]. Панелі з ПКД використовують в якості несучих стін та плит перекриття і покриття в мало- та багатоповерхових будинках різноманітного призначення [4, 5, 6].

Основним критерієм ефективності нового матеріалу є його область застосування в будівництві та обсяги виробництва, що визначають попит. За останні 10 років панелі з ПКД отримали велику популярність в проєктах багатоповерхових будинків (від 8 поверхів і вище), при цьому обсяги виробництва стрімко зростають [7, 8, 9]. Важливою перевагою панелей з ПКД є можливість виконання швидкого монтажу будівель, так, наприклад, зведення 18-ти поверхового будинку в Канаді було завершено всього за 2 місяці, і цей фактор також дуже важливий в умовах післявоєнного відновлення житлового фонду України.

Назва походить від англійського Laminated Veneer Lumber (брус з клеєного шпону). LVL виготовляють клейовим з'єднанням шарів шпону, товщиною від 2 до 3 мм, хвойних порід деревини (сосна, ялина). На відміну від простої фанери волокна сусідніх шарів розташовуються паралельно один одному. LVL - матеріали виробляються у вигляді різного розміру плит і бруса. Конструкційні LVL - матеріали можна обробляти не тільки у виробничих умовах, а й прямо на будівельному майданчику.

Показники характеристичного значення міцності на згин і розтяг вздовж волокон бруса з клеєного шпону майже вдвічі перевищують ті самі значення для цільної та клеєної деревини, при збереженні всіх інших

позитивних властивостей. Саме це дозволило розширити галузь застосування бруса з клеєного шпону для зведення несучих каркасів будівельних конструкцій, в якості елементів кроквяних конструкцій, міжповерхових та горищних балок перекриття як при новому будівництві так і при реконструкції. В останні 10 років було розроблено високоміцний брус з клеєного шпону бука з показниками міцності перевищуючими міцність клеєної деревини в 3-4 рази [10].

Данні дослідження досвіду застосування конструкцій з КД та ПКД виконуються для вирішення ряду проблем:

1. Популяризації сучасних будівельних конструкцій на основі деревини.
2. Розширення існуючих тенденцій впровадження КД та ПКД з урахуванням світової практики застосування в умовах реконструкції та/або нового будівництва.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити досвід впровадження КД та ПКД в сучасній світовій практиці будівництва з урахуванням їх позитивних властивостей.

Специфіка теми дослідження зумовила вибір наукових методів. В якості основних використовувалися аналітичний метод для

дослідження матеріалів і конструкцій на основі деревини, метод порівняльного аналізу для аналізу ефективності використання іноземного новітнього досвіду застосування таких конструкцій в будівлях і спорудах різноманітного призначення, який дозволив висловити певні судження щодо можливих варіантів реконструкції і відновлення пошкоджених і зруйнованих об'єктів та зведення нових будівель і споруд.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Поперечно-клеєна деревина - це конструкційний матеріал, одержаний в результаті склеювання під тиском розташованих взаємно перпендикулярно ламелей – дошок (рис. 1), можливо з різних класів міцності деревини з вологістю 8-12%. Розмір таких панелей має такі геометричні параметри: товщина 57 - 500 мм, ширина до 4,5 м, довжина до 20 м. Довжина панелей обмежена лише технологічними потужностями заводу виробника. Панелі з поперечно-клеєної деревини формують з непарної кількості шарів, як правило, з трьох, п'яти або семи. Кількість і товщина шарів панелі приймається за розрахунком, для кожного конструктивного елементу в залежності від напружено-деформованого стану.

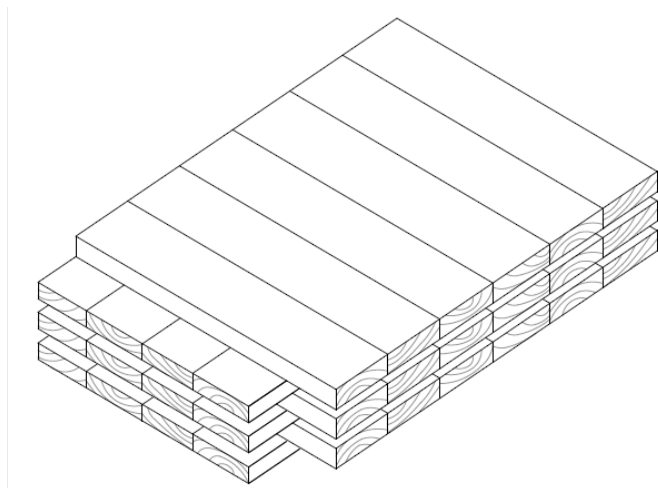


Рис.1. Схема розташування дошок в панелі з поперечно-клеєної деревини.

Fig.1. Scheme of the arrangement of lamellas in a panel of cross-laminated timber.

Панелі з поперечно-клеєної деревини використовують в якості несучих та самонесучих стін, перегородок та плит перекриття і покриття в мало- та багатоповерхових будинках різноманітного призначення, що можливо, як при реконструкції так і при новому будівництві.

Якість панелей з ПКД, з необхідними характеристиками міцності і жорсткості, залежить від технологічних операцій, і в першу чергу від методу пресування. Величина тиску пресування приймається при виробництві панелей з ПКД приймається від 0,8 до 1,5 МПа, і коригується в залежності від товщини панелі. Існують такі способи виробництва панелей з ПКД, як гідравлічне, вакуумне і механічне пресування. Схеми гідравлічного і вакуумного пресування показані на рис. 2.

Гідравлічне пресування панелей з ПКД забезпечує рівномірне навантаження поверхні покладених дошок за допомогою системи гідравлічних домкратів. При даному виді виробництва панелей з ПКД також використовується горизонтальна підпресовка, яка перешкоджає збільшенню щілин між до-

шками через ефект горизонтального зміщення при вертикальному пресуванні, що неможливо при вакуумному способі виробництва панелей з ПКД. Ще однією перевагою гідравлічного методу є можливість вирівнювання різних нерівностей або відхилень товщин дошок.

Вакуумне пресування дозволяє виконувати склеювання панелей з ПКД при рівні тиску 0,05-0,1 МПа. При цьому необхідно жорстко дотримуватись чітких правил щодо допуску товщин дошок і якості їх острожки. Ще одним видом пресування панелей з ПКД є механічна запасовка, при якій забезпечується тиск 0,01-0,2 МПа, що можна порівняти з тиском, створюваним при вакуумному способі виробництва панелей з ПКД. Перевагою даного методу пресування є його дешевизна і доступність.

При виробництві панелей з ПКД використовуються однокомпонентні поліуретанові, меламін-формальдегідні та меламінокарбомідні формальдегідні клеї. Вибір клею в значній мірі залежить від ряду факторів, серед яких, вологість дошок, час пресування, тиск пресування тощо. Нанесення клею, як правило, виконується механічно.

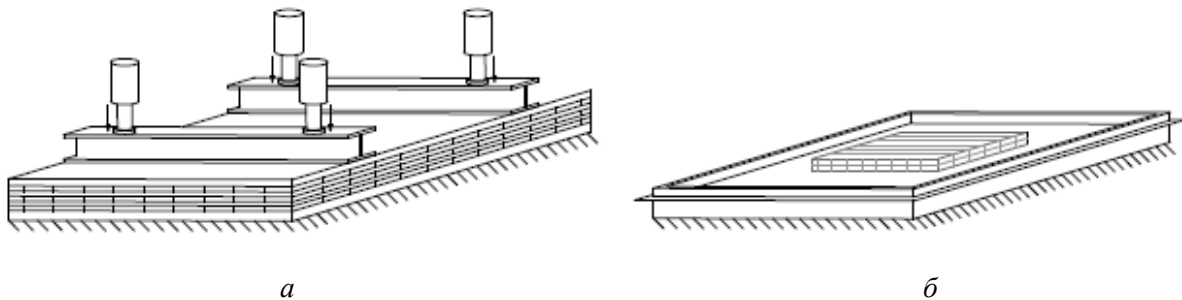


Рис.2. Методи пресування панелей з поперечно-клеєної деревини:

a – гідравлічний; *б* – вакуумний.

Fig.2. Methods of pressing cross-laminated timber panels:

a - hydraulic; *b* - vacuum.

Для виготовлення панелей з ПКД дошки повинні бути відсортовані за класом міцності. В одному шарі дошок допускається відхилення по міцності тільки для 10% дошок, клас міцності яких має бути вище основної кількості дошок з показником міцності не вище ніж на 35%.

Ідея масивної дерев'яної панелі придбала різні інтерпретації і доповнення, створивши

при цьому широкий ряд різновидів панелей (рис. 3), в яких зустрічається не тільки комбінація з різних пиломатеріалів, а й різні види з'єднань дошок як з використанням клею, так і з механічними з'єднаннями у вигляді різноманітних нагелів і гвинтів.

Будівництво дерев'яних багатоповерхових будинків обходиться на 5-20% дешевше,

ніж аналогічні будинки з застосуванням металу чи залізобетону, в тому числі зі збірних залізобетонних панелей. Це тому, що використовуються більш прості інструменти, а самі панелі мають меншу вагу, що впливає на більш економічну конструкцію фундаме-

нтів та зменшує витрати при монтажі та транспортуванні. Збірні дерев'яні багатоповерхові будинки рекомендують будувати в сейсмонебезпечних районах. Вони поведуть себе при сейсмічних навантаженнях набагато краще, ніж аналогічні залізобетонні чи навіть будинки з металевим каркасом.

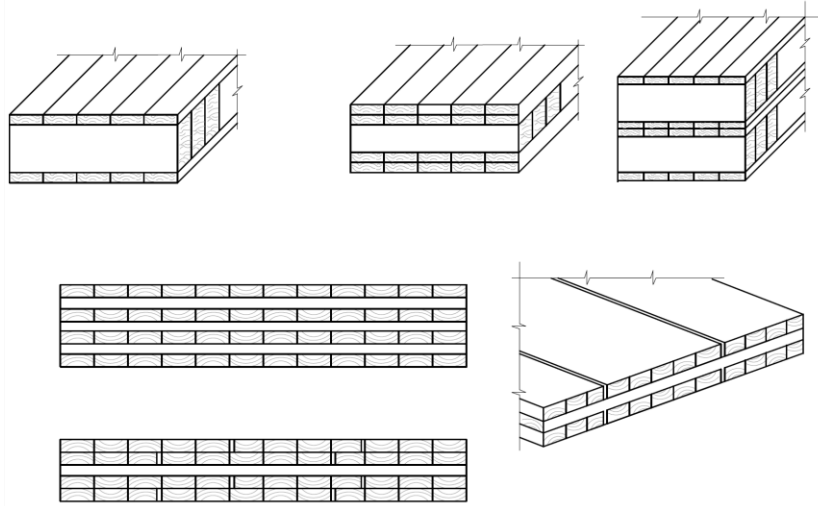


Рис.3. Структурні модифікації панелей з поперечно-клеєної деревини.

Fig.3. Structural modifications of cross-laminated timber panels.

У 2008 році у північно-східному районі Лондона (рис. 4) зведено дев'ятиповерховий будинок, який отримав назву – Stadthaus. Проект будинку розроблений британським архітектурним бюро Waugh Thistleton. У будинку не тільки несучі стіни і перекриття, але й ядра жорсткості – ліфтові та сходові шахти - виготовлені з панелей із ПКД.



Рис.4. Дев'ятиповерховий будинок в Лондоні. [11].

Fig.4. Nine-storey building in London, [11].

У тому ж 2008 році в Мельбурні, Австралія завершено будівництво десятиповерхового будинку з назвою Forte Building (рис. 5).



Рис.5. Десятиповерховий будинок Forte Building в Мельбурні. [12]

Fig.5. The ten-storey Forte Building in Melbourne, [12]

У тому ж 2008 році в районі Пренцлауер-Берг в Берліні було зведено семиповерховий дерев'яний будинок "Е3" (рис. 6).

Зведення будинку "Е3" тривало лише 10 тижнів. В середньому будівництво кожного поверху займало менше 10 днів.

"При будівництві „Е3“ було витрачено на 30 % менше енергії, ніж при зведенні аналогічних будинків з традиційними бетонними та металевими конструкціями», - відзначив архітектор Том Каден.

На початку 2014 року в районі Гельсінкі Ахтісаарі (Jätkäsaari) розпочато будівництво



Рис.6. Семиповерховий будинок "Е3" в Берліні, [12]

Fig.6. Seven-story building "E3" in Berlin, [12]

Архітектор проекту Арне Ульссон каже: «Серйозним завданням виявилася боротьба з різними застарілими міфами, які люди приймають за "правду про дерев'яні будинки". Довелося пояснювати людям, що пожежні вимоги до будинків однакові як для будинку з деревини, так і бетону. В будинках з деревини необхідної межі вогнестійкості легше досягти, при проектуванні даний параметр враховується при спеціальному розрахунку».

Звичайно певні металеві деталі при будівництві будинку використовувалися. Однак маса такої несучої конструкції з деревини в три рази менше, ніж аналогічна, виконана із сталі або залізобетону, що суттєво впливає

кварталу дерев'яних багатоповерхових будинків світового класу Wood City (рис. 7).

В 2015 році побудовані перші житлові будинки та паркувальний комплекс, а в 2016 року - офісні будівлі і готелі. Проект став наймасштабнішим кварталом дерев'яних багатоповерхівок у Фінляндії. Дерев'яне будівництво недешево, але, в той же час, високо екологічне. Крім цього, при будівництві нових будівель особливу увагу було приділено підвищенню їх енергоефективності.



Рис.7. Дерев'яні багатоповерхові будинки в Гельсінкі, [12]

Fig.7. Wooden multi-storey houses in Helsinki, [12]

на розміри і конструкцію фундаментів а також на будівельно-монтажні роботи.

Серед переваг дерев'яного домобудування фахівці також відзначають, що воно передбачає високий відсоток заводського виготовлення, а це дозволяє замістити витрати на оплату праці робітників на будівельних майданчиках. До того ж зведення дерев'яних будинків потребує набагато менше часу, ніж будівництво залізобетонних будівель, а це дозволяє також значно зменшити витрати.

Останнє десятиріччя розвиток будівництва з використанням панелей із поперечно-клеєної деревини нагадує змагання по досягненню найбільшої висоти зведених будинків. Так в 2015 році в Норвегії побудовано

чотирнадцятиповерховий будинок “Treet Bergen” (рис.8, *a*), який побив рекорд висоти десяти поверхового будинку “Forte Building” в Мельбурні.

А в 2017 році рекорд висотності встановлює “Brock Commons Tallwood House” – 18-поверховий студентський гуртожиток у містечку Пойнт Грей Університету Британської Колумбії в Канаді (рис.8, *б*).

В 2019 році в Норвегії на північно-східному березі озера Мйоса в селищі Брумундаль, що знаходиться в 1,5 години їзди на північ від м. Осло завершено будівництво 18-поверхового будинку “Mjøstårnet”, висотою 85,4 м, з загальною житловою площею 11 300 м² (рис.8, *в*).

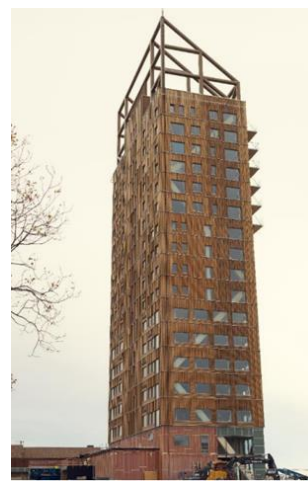
*a**б**в*

Рис.8. Багатоповерхові будинки з панелей із поперечно-клеєної деревини:

a - “Treet Bergen” в Норвегії (14 поверхів, висотою 51 м) [21]; *б* - “Brock Commons” в Канаді (18 поверхів, висотою 53 м) [22]; *в* - “Mjøstårnet” в Норвегії (18 поверхів, висотою 85,4 м). [23].

Fig.8. High-rise buildings made of cross-laminated timber panels:

a - “Treet Bergen” in Norway (14 floors, height 51 meters) [21]; *b* - “Brock Commons” in Canada (18 floors, 53 meters high) [22]; *c* - “Mjøstårnet” in Norway (18 floors, height 85,4 meters) [23].

Змагання продовжується і надалі.

Канадський архітектор Майкл Грін розробив проєкт дерев'яного 30-поверхового будинку під назвою “Tall Wood”, в якому врахував всі недоліки попередніх дерев'яних висоток. “Tall Wood” - частина групи дерев'яних хмарочосів, які архітектор планує побудувати по всьому світу, починаючи з Норвегії та Австрії і закінчуючи Австралією. Основну конструкцію хмарочоса збираються робити зі звичайної клеєної деревини. Пан Грін вважає, що 30 поверхів - не межа, можна будувати і більш високі будівлі. В одному зі своїх інтерв'ю архітектор відзначив, що побудувати висотні будинки з дерева зовсім не складно, куди складніше

змінити ставлення людей до подібних будинків. Шведські архітектори з компанії SF Moller Architects запроєктували хмарочос з дерева в 34 поверхи який планується звести в Стокгольмі. Причому за розрахунками архітектурної компанії будівництво хмарочоса має бути дешевше, ніж будівля аналогічної висоти, побудована з бетону чи сталі.

У чинних вітчизняних нормах проєкування [14] відсутня методика та рекомендації щодо проєкування і розрахунку панелей з ПКД. Однак, в роботах провідних вітчизняних вчених в галузі дерев'яного будівництва подальшого розвитку набуває і розвиток теорії розрахунку будинків з за-

стосуванням панелей із ПКД [15], і різноманітних вузлів з'єднання між панелями собою [16-20].

Як показує європейська практика сьогодні, дерев'яне будівництво навіть висотних будинків - реальність. Найбільша перевага дерев'яних будинків в тому, що вони є екологічним житлом. І це поступово стає нормою як в багатьох країнах Європи, так і всього світу. Враховуючі достатні запаси деревини в Україні, наявність і достатню простоту технологічних ліній по виготовленню ПКД, легкість їх монтажу і багато інших факторів, саме за допомогою таких панелей можна в найкоротші терміни відновити і створити нові будівлі і споруди в зруйнованих війною містах і селах України.

Будівництво з панелей із ПКД, безумовно, як і інші види будівництва, має ряд переваг: екологічність, легкість, надійність, висока сейсмостійкість тощо. Детальніше опишемо їх нижче.

Екологічність. Всі дошки виготовлені з натуральних матеріалів хвойних порід. Крім того, клеї також виготовляються з 100% екологічної сировини.

Вогнестійкість. Незважаючи на те, що матеріал виготовлений з натурального дерева, він має високу вогнестійкість.

Легкість. У порівнянні з бетоном, панелі з ПКД в 6 разів легші.



Рис.9. Центр протезування та ортезування в м.Львів, [24].

Fig.9. Prosthetics and orthotics center in Lviv, [24].

Надійність. Панелі з ПКД добре показали себе за дії динамічних навантажень.

Висока сейсмостійкість плит з ПКД. Це пояснюється природними пружними властивостями деревини. З цього приводу в Японії в 2009 році проведено натурні випробування 7-поверхової будівлі з панелей із ПКД. Випробування проводили на найбільшому в світі сейсмологічному стенді. Будівля витримала 14 послідовних сейсмічних поштовхів магнітудою близько 7-8 балів і практично не зазнала пошкоджень.

До переваг також можна віднести низьку теплопровідність плити із ПКД (0,13 Вт / мк) і високу питому теплоємність (2,10 кДж/кг).

Зовнішні стіни з панелей із ПКД є готовою основою для влаштування навісних фасадів.

Україна також долучається до будівництва з деревини та матеріалів на її основі. Свідченням цього може слугувати побудований в 2024 році Центр протезування та ортезування в м. Львів (рис. 9).

Будівлю загальною площею більше 1000 м² зведено з панелей із ПКД. При будівництві використано 320 м³ деревини, порядку 1200 одиниць різноманітних виробів з ПКД.

Найбільша панель з ПКД, яка застосована при будівництві, має довжину 17,0 м та ширину 3,5 м.



Рис.10. Надбудова з рам із клеєної деревини. Фото з власного архіву.

Fig.10. Superstructure made of glued timber frames. Photo from own archive.

ЛІТЕРАТУРА

Додатково слід відмітити і застосування клеєної деревини в якості окремих конструкцій: колон, балок, рам, арок тощо [25-31]. Маючи такі самі позитивні властивості конструкції з КД мають ще більш широкий діапазон застосування, особливо при реконструкції чи відновленні будинків і споруд різноманітного призначення. Несучі дерев'яні конструкції при надбудовах додаткових поверхів дозволяють суттєво зменшити витрати на підсилення існуючих фундаментів, а також зменшити тривалість будівельно-монтажних робіт, що є дуже важливим в умовах реконструкції.

На рис. 10 показано приклад надбудови двох поверхів з застосуванням рам з клеєної деревини. Рами в зібраному стані одразу з балками перекриття монтувались в проектне положення, що значно спростило багато технологічних процесів на будівельному майданчику.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Війна в Україні призвела до повного чи часткового руйнування багатьох будівельних об'єктів в різних регіонах України, які потребуватимуть післявоєнної відбудови чи відновлення, в залежності від технічного стану. Завдяки своїм позитивним якостям деревина та інші матеріали на її основі, такі як клеєна та поперечно-клеєна деревина, можуть допомогти значно скоротити терміни відновлення та відбудови. Кожен з цих матеріалів заслуговує на широке використання при реконструкції та і новому будівництві будівельних об'єктів різноманітного функціонального призначення.

Кожен пошкоджений чи зруйнований об'єкт має підлягати окремому аналізу з позиції доцільності відновлення чи реконструкції з технічної та економічної точок зору, для чого мають бути проведені спеціальні дослідження, проведені обстеження, вишукувальні роботи та зроблено техніко-економічне обґрунтування в тому числі і застосування тих чи інших будівельних матеріалів.

20. **Steinlin, H.**, Die holzproduktion der welt, ökologische, soziale und ökonomische aspekte. In: *Holz als Rohstoff in der Weltwirtschaft* (Plochmann, R. And Loffler, H., Eds). Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. – P.14–44.
21. **Downing B, Spickler K** Timber tower research project (2013) *Chicago: Softwood Lumber Board*, 72 p.
22. **Harch B J L** The investigation into the optimisation of cross laminated timber panels for use in the Australia building industry (2010) *Australia: Queensland University of Technology*, 119 p.
23. **Dujic, B., Strus, K., Zarnic, R., Ceccotti, A.**, Prediction of dynamic response of a 7-storey massive wooden building tested on a shaking table (2007) *Slovenia: World Connection on Timber Engineering*, 8 p.
24. **Ashtari, S.**, In-plane stiffness of cross-laminated timber floors. 2012. *Master Thesis. Vancouver: The University of British Columbia*, 146 p.
25. **Joseph F. Miller.** Design and analysis of mechanically laminated timber beams using shear keys (2009) *USA, Michigan: Michigan technological University*, 211 p.
26. **Flaig M., Blass H.J.** Keilgezinkte rahmenecken und satt eldachträger aus brett sperrholz. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau* 29, *KIT Scientific Publishing, Karlsruhe*, 2015, 180 p.
27. **Flatscher G., Bratulic K. & Schickhofer G.**, “Screwed joints in cross-laminated timber structures”, *13th World Conference on Timber Engineering (WCTE), Quebec, Canada*, 2014, P. 8.
28. **Михайловський Д.В.** Застосування деревини та деревинних матеріалів у будівництві / *Міжнародний інформаційно-технічний журнал Обладнання та інструмент для професіоналів (деревообробка) - №4 / 199. - Харків*, 2017. - С.40 – 44.
29. **Z-9.1-837** brettsschichtholz aus buchen-furnierschichtholz, Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, *Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)*, 2013, valid until 02.12.2018. – 10 p.
30. **Cvetković Radovan, Stojić Dragoslav, Krsić Sonja, Marković Nemanja.** Innovative structural CLT system in projecting and building of student houses *January 2015 Facta universitatis - series Architecture and Civil Engineering* 13(1):57-64

31. **Summary report:** Survey of international tall wood buildings. / *Forestry Innovation Investment & BSLC – may 2014 – 28 p.*
32. **Pierre Landel.** Swedish Technical Benchmarking of Tall Timber Buildings. *Wood building technology RISE Report 2018:67*
33. **ДБН В.2.6-161 (2017)** Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ, "Укрархбудінформ", 125 с.
34. **Mykhailovskiy D.** Method of calculation of panel buildings from cross-laminated timber / *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles.* – К.: KNUBA, 2021. – Issue 107. – P. 75-88.
35. **Бідаков А., Пустовойтова О., Распопов Є., Страшко Б.** Порівняльний аналіз експериментальних досліджень та чисельних розрахунків міцності вклеєних стрижнів у CLT панелях. *Технічні науки та технології № 1 (19), 2020 – С.321–328.*
36. **Бідаков А. М., Распопов Є. А., & Страшко Б. О.** Розрахунок міцності пкд панелей при згині з урахуванням деформацій зсуву / *Збірник наукових праць. Науковий вісник будівництва. (2020) Том 99 № 1 - Харківський національний університет будівництва та архітектури, 28-34 с.*
37. **Бідаков А. М., Распопов Є. А., Пустовойтова О. М. & Страшко Б. О.** Особливості метода зсувної аналогії для розрахунку міцності пкд панелей при згині. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, (2020). Вип. № 2 березень . – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА,. С 10-16.*
38. **Бідаков А. М., Распопов Є. А., Пустовойтова О. М., & Страшко Б. О.** Вплив технології виробництва пкд панелей на їх показники міцності та жорсткості. Комунальне господарство міст. *Серія «Технічні науки та архітектура» Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова – Випуск 154., (2020), С 165-172.*
39. **Бідаков А. М., Распопов Є. А., Пустовойтова О. М., & Страшко Б. О.,** Міцність деревини за умови роликового зсуву. // *Наукове видання вісник харківського національного автомобільно-дорожнього університету Збірник наукових праць - Харківський національний автомобільно-дорожній університет - Випуск № 89. С 82-89.*
40. **Jean-Marc Jaeger, Ingrid Bertin, Jordi Cornudella, Robert Le Roy.** Quand les immeubles de grande hauteur sont en bois. *Annales du Bâtiment et des travaux publics, Eska, 2017, 69.*
41. **Angelique Pilon, Zahra Teshnizi and Diana Lopez.** An Overview of The Construction of A Tall Wood Building - Brock Commons Tallwood House. *NZ Journal of Forestry, May 2018, Vol. 63, No. 1.*
42. **R. Abrahamsen.** Mjøstårnet – 18 storey timber building completed. *Internationales Holzbau-Forum IHF 2018.*
43. **Романа Балуга.** Сайт Львівської міської ради: У Львові збудували Центр протезування та ортезування міжнародного рівня. 10.05.2024: [Електронний ресурс]. - *Режим доступу: <https://city-adm.lviv.ua/news/science-and-health/medicine/301570-u-lyovi-zbuduvaly-tsentr-ortezuvannia-ta-ortezuvannia-mizhnarodnohorivnia>*
44. **Кліменко В.З.** Конструкції з дерева і пластмас. – К.: Вища школа, 2000. – 304с.
45. **Кліменко В. З.** Конструкції з клеєної деревини. Світовий досвід / *Промислове будівництво та інженерні споруди. (2009) - № 1. – С. 39-43.*
46. **Кліменко В. З.** Вітчизняний досвід впровадження в капітальному будівництві конструкцій з клеєної деревини. Здобутки і проблеми / *Будівництво України. – (2009). -№ 5. – С. 17-21.*
47. **Кліменко В. З.** Конструкції з клеєної деревини в балкових покриттях / *Строительные материалы и изделия. – (2011). - №2 (67). - С. 14-17.*
48. **Михайловський, Д. В., Матющенко Д. М.** Експериментальні та чисельні дослідження гнукотклеєних рам з клеєної деревини. // *Чернігівський науковий часопис. (2012) № 1 (3). –С. 92–99.*
49. **Погореляк А.П., Романюк В.В., Чернолоз В.С., Погореляк О.А.** Конструкції з деревини і пластмас. – Рівне: РДТУ, 2001.- 392 с.
50. **Гомон С.С.** Конструкції із дерева та пластмас. *Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2016. – 219 с.*

REFERENCES

1. **Steinlin, H.,** Die holzproduktion der welt, ökologische, soziale und ökonomische aspekte. *In: Holz als Rohstoff in der Weltwirtschaft (Plochmann, R. And Loffler, H., Eds). Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. – P.14–44.*
2. **Downing B, Spickler K** Timber tower research project (2013) *Chicago: Softwood Lumber Board, 72 p.*

3. **Harch B J L** The investigation into the optimisation of cross laminated timber panels for use in the Australia building industry (2010) *Australia: Queensland University of Technology*, 119 p.
4. **Dujic, B., Strus, K., Zarnic, R., Ceccotti, A.**, Prediction of dynamic response of a 7-storey massive wooden building tested on a shaking table (2007) *Slovenia: World Connection on Timber Engineering*, 8 p.
5. **Ashtari, S.**, In-plane stiffness of cross-laminated timber floors. 2012. *Master Thesis. Vancouver: The University of British Columbia*, 146 p.
6. **Joseph F. Miller**. Design and analysis of mechanically laminated timber beams using shear keys (2009) *USA, Michigan: Michigan technological University*, 211 p.
7. **Flaig M., Blass H.J.** Keilgezinkte rahmenecken und satt eldachträger aus brett sperrholz. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau* 29, *KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2015*, 180 p.
8. **Flatscher G., Bratulic K. & Schickhofer G.**, “Screwed joints in cross-laminated timber structures”, *13th World Conference on Timber Engineering (WCTE), Quebec, Canada, 2014*, P. 8.
9. **Mykhailovskyi D.V.** Zastosuvannia derevyny ta derevynnykh materialiv u budivnytstvi / *Mizhnarodnyi informatsiino-tekhnicnyi zhurnal Obladnannia ta instrument dlia profesionaliv (derevoob-robka) - №4 / 199. Kharkiv, 2017. S.40 – 44.*
10. **Z-9.1-837** brett-schichtholz aus buchen-furnierschichtholz, *Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2013, valid until 02.12.2018. – 10 p.*
11. **Cvetković Radovan, Stojić Dragoslav, Kراسić Sonja, Marković Nemanja.** Innovative structural CLT system in projecting and building of student houses *January 2015 Facta universitatis - series Architecture and Civil Engineering* 13(1):57-64
12. **Summary report:** Survey of international tall wood buildings. / *Forestry Innovation Investment & BSLC – may 2014 – 28 p.*
13. **Pierre Landel.** Swedish Technical Benchmarking of Tall Timber Buildings. *Wood building technology RISE Report 2018:67.*
14. **DBN V.2.6-161 (2017)** Dereviani konstruktzii. Osnovni polozhennia. *Kyiv, "Ukrarkhbudinformat", 125 s.*
15. **Mykhailovskyi D.** Method of calculation of panel buildings from cross-laminated timber / *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles. – K.:KNUBA, 2021. – Issue 107. – P. 75-88.*
16. **Bidakov A., Pustovoitova O., Raspopov Ye., Strashko B.** Porivnialnyi analiz eksperymentalnykh doslidzhen ta chyselnykh rozrakhunkiv mitsnosti vkleienykh stryzhniv u CLT paneliakh.. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii № 1 (19), 2020 – C.321–328.*
17. **Bidakov A. M., Raspopov Ye. A., & Strashko B. O.** Rozrakhunok mitsnosti pkd panelei pry zghyni z urakhuvanniam deformatsii zsvu / *Zbirnyk naukovykh prats. Naukovyi visnyk budivnytstva. (2020) Tom 99 № 1 - Kharkivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva ta arkhitektury*, 28-34 s.
18. **Bidakov A. M., Raspopov Ye. A., Pustovoitova O. M. & Strashko B. O.** Osoblyvosti metoda zsvuanoi analohii dlia rozrakhunku mitsnosti pkd panelei pry zghyni. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, (2020). Vyp. № 2 berezen . – Dnipro: DVNZ PDA-BA., C 10-16.*
19. **Bidakov A. M., Raspopov Ye. A., Pustovoitova O. M., & Strashko B. O.** Vplyv tekhnolohii vyrobnytstva pkd panelei na yikh pokaznyky mitsnosti ta zhorstkosti. Komunalne hospodarstvo mist. *Seriia «Tekhnichni nauky ta arkhitektura» Kharkivskiy natsionalnyi universytet miskoho hospodarstva imeni O. M. Beketova – Vypusk 154., (2020), S 165-172.*
20. **Bidakov A. M., Raspopov Ye. A., Pustovoitova O. M., & Strashko B. O.** Mitsnist derevyny za umovy rolykovoho zsvu. // *Naukove vydannia visnyk kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu Zbirnyk naukovykh prats - Kharkivskiy natsionalnyi avtomobilno-dorozhniy universytet - Vypusk № 89. S 82-89.*
21. **Jean-Marc Jaeger, Ingrid Bertin, Jordi Cornudella, Robert Le Roy.** Quand les immeubles de grande hauteur sont en bois. *Annales du Bâtiment et des travaux publics, Eska, 2017, 69.*
22. **Angelique Pilon, Zahra Teshnizi and Diana Lopez.** An Overview of The Construction of A Tall Wood Building - Brock Commons Tallwood House. *NZ Journal of Forestry, May 2018, Vol. 63, No. 1.*
23. **R. Abrahamsen.** Mjøstårnet – 18 storey timber building completed. *Internationales Holzbau-Forum IHF 2018.*
24. **Romana Baluka.** Sait Lvivskoi miskoi rady: U Lvovi zbuduvaly Tsentr protezuvannia ta ortezuvannia mizhnarodnoho rivnia. 10.05.2024: [Elektronnyi resurs]. - Rezhym

доступу: <https://city-adm.lviv.ua/news/science-and-health/medicine/301570-u-lvovi-zbuduvaly-tsentru-protezuвання-ta-ortezuвання-mizhnarodnoho-rivnia>

25. **Klimenko V. Z.** Konstruktsii z dereva i plastmas. – K.: Vyshcha shkola, 2000. – 304s.
26. **Klimenko V. Z.** Konstruktsii z kleienoi derevyny. Svitovyi dosvid / *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy.* (2009) - № 1. – S. 39-43..
27. **Klimenko V. Z.** Vitchyzniani dosvid vprovadzhennia v kapitalnomu budivnytstvi konstruktsii z kleienoi derevyny. Zdobutky i problemy / *Budivnytstvo Ukrainy.* – (2009). -№ 5. – S. 17-21.
28. **Klimenko V. Z.** Konstruktsii z kleienoi derevyny v balkovykh pokryttiakh / *Stroytelnye materialy y yzdelyia.* – (2011). - №2 (67). - S. 14-17.
29. **Mykhailovskiy, D. V., Matiushchenko D. M.** Eksperymentalni ta chyselni doslidzhennia hnutokleienykh ram z kleienoi derevyny. // *Chernihivskiy naukoviy chasopys.* (2012) № 1 (3). –S. 92–99.
30. **Pohoreliak A.P., Romaniuk V.V., Chornoloz V.S., Pohoreliak O.A.** *Konstruktsii z derevyny i plastmas.* – Rivne: RDTU, 2001.- 392 s.
31. **Homon S.S.** Konstruktsii iz dereva ta plastmas. Navchalnyi posibnyk. – Rivne: NUVHP, 2016. – 219 s.

APPLICATION OF LAMINATED AND CROSS-LAMINATED TIMBER IN RECONSTRUCTION AND NEW CONSTRUCTION

*Denis MYKHAYLOVSKIY,
Mykola KOMAR,
Tetiana SKLIAROVA
Bogdan BONDARCHUK*

Summary. The article is devoted to the actual problem of restoration of construction objects of Ukraine destroyed as a result of military actions. The issue of manufacturing and effective application of cross-laminated timber panels and other

products made of laminated timber for use in reconstruction, restoration of damaged construction objects and new construction is considered. Why can the availability of the raw material base, its renewability and ease of extraction and processing contribute.

Cross-laminated timber is a relatively new building material based on timber, which is an array of boards laminated in layers in a mutually perpendicular direction. The layers of lumber are laminated together under pressure, forming a virtually monolithic slab.

The production of cross-laminated timber solves one of the important problems, namely the use of small and medium-sized cross-sections of boards to create large arrays, which allows you to significantly save commercial timber.

The main advantages of laminated and cross-laminated timber as building materials are given and the feasibility of their application for buildings and structures of various functional purposes is proven. Examples of modern high-rise buildings constructed using cross-laminated timber panels around the world are presented.

Due to the elimination of some of the defects of whole timber and the preservation of one of the main advantages, namely, low weight with relatively high strength values, laminated and cross-laminated timber can become one of the main materials for the development of new areas and the restoration or reconstruction of damaged ones as a result of military actions, buildings and structures of various purposes.

The low weight of structures made of laminated and cross-laminated timber will reduce the cost of strengthening existing structures and the cost of materials for new foundations in the case of new construction by at least 30% in comparison with houses erected using more traditional methods - these materials.

Keywords: cross-laminated timber; cross-laminated timber panels; pressing method; manufacturing technology; restoration and reconstruction; multi-story buildings; efficiency of application.

Стаття надійшла до редакції 25.09.24.