

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-103-1-113-119

УДК 69.07

**Савицький М. В., Шехоркіна С. Є., Бердников М. Р.**

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

(вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, 49600, Україна, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), [svetlana.svt.28@gmail.com](mailto:svetlana.svt.28@gmail.com),  
[taismrs96@gmail.com](mailto:taismrs96@gmail.com), [orcid.org/0000-0003-4515-2457](https://orcid.org/0000-0003-4515-2457), [orcid.org/0000-0002-7799-2250](https://orcid.org/0000-0002-7799-2250),  
[orcid.org/0000-0001-9210-5536](https://orcid.org/0000-0001-9210-5536))

## **РОЗВИТОК ДЕРЕВ'ЯНОГО ДОМОБУДІВНИЦТВА: ІСТОРІЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬ, НОВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ДЕРЕВИНИ, МОЖЛИВОСТІ І ОБМЕЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ**

Деревина, матеріали та вироби на її основі використовуються по всьому світу протягом тисячоліття. Сучасне будівництво багатоповерхових будівель з дерева, повністю або частково, свідчить про зростаючий інтерес до цього напрямку. Деревина є одним з небагатьох натуральних природних екологічних будівельних матеріалів, завдяки чому будівництво з деревини є безпечним для навколишнього середовища. Хоча це натуральний продукт, але на його сушку та обробку витрачається багато енергії, та це значно менше, ніж на виробництво цементу і металу. Більша частина енергії може поступати з біомаси самого дерева, але для цього потрібні інвестиції в рослинництво, що не завжди можливо у наш час. Аналіз стосовно розвитку сучасного багатоповерхового будівництва з деревини. Розглянуто приклади зарубіжного багатоповерхового дерев'яного домобудівництва, а також основні конструкції, які використовуються в даний момент; проаналізовано їх переваги і недоліки. Матеріал, що наведено нижче, можна застосовувати для теоретичних знань стосовно багатоповерхових будівель з деревини.

**Ключові слова:** багатоповерхові будівлі з дерева, дерев'яні конструкції, деревина.

**Вступ.** В останні роки дерев'яне багатоповерхове житлове будівництво стає не менш популярним, ніж індивідуальні проекти малоповерхових дерев'яних будинків. Зростання популярності пов'язане з тим, що на даний момент головним питанням в будівельній галузі є вирішення проблем пов'язаних з екологією. Оскільки за кордоном проводиться безліч досліджень і експериментів, а також йде активний розвиток нових технологій, дерев'яне будівництво там має особливий попит за рахунок впровадження сучасних матеріалів.

Завдяки цьому, частка дерев'яних будинків в Німеччині становить до 20%, в Фінляндії - 35-40% усього будівельного ринку. Згідно з дослідженням компанії Research Techart [1], в США і Канаді понад 80% приватних будинків будуються з дерева, в Японії частка дерев'яних будинків становить близько 40% від всіх споруджуваних житлових будинків. За рахунок безлічі програм з розвитку «зеленого» будівництва, однією з яких є «Дерев'яна Європа» під егідою Європейського союзу, планується збільшення частки малоповерхового дерев'яного житла [1].

**Приклади багатоповерхових дерев'яних будівель та матеріалів із деревини.** Першою багатоповерховою будівлею із деревини в Північній Америці став «Центр дерев'яного інноваційного проектування» у Ванкувері (рис. 1). Висота будівлі - 29,5 м, загальна площа - близько 5000 м<sup>2</sup> [2]. Процес будівництва тривав 1,5 року (2013-2014 рр.). Загальний бюджет склав близько 17,7 млн € [3].

Завдяки тому, що розвиток будівництва в Європі прогресує в напрямку розвитку дерев'яної промисловості, саме там знаходиться велика частина дерев'яних офісних будівель. Прикладом є 8-поверхова будівля, що знаходиться у Дорнбірні, Австрія. Назва: LIFECYCLE TOWER ONE (eight-story pilot project of CREE (Creative Renewable Energy & Efficiency) (рис. 2). Була введена в експлуатацію в 2012 році. Процес будівництва повністю зі збірних елементів при забезпеченні високого стандарту якості. Будівля оснащена технологіями пасивного будинку, що знижує енергоспоживання [4].



Рис. 1. «Центр дерев'яного інноваційного проектування», Ванкувер, Канада

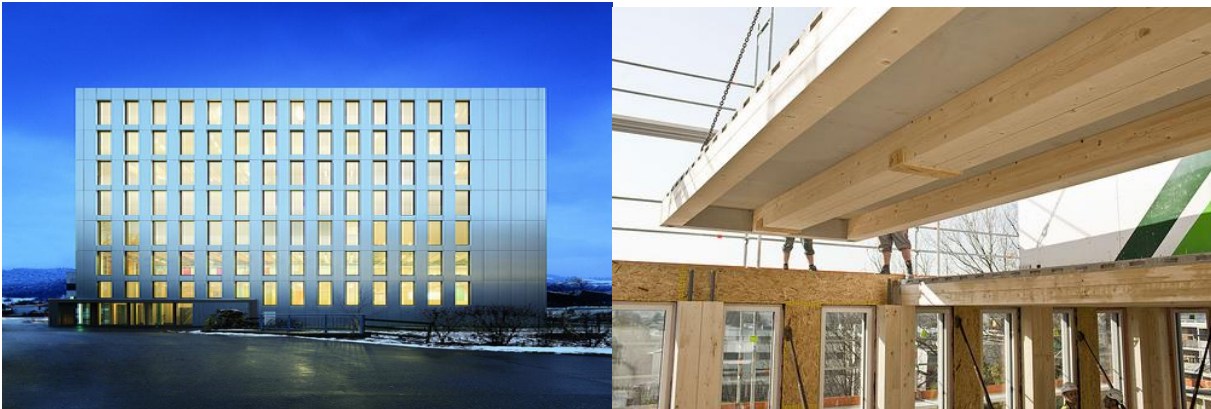


Рис. 2. LIFECYCLE TOWER ONE, Дорнбірн, Австрія

Одна з найвищих в світі дерев'яних будівель знаходиться в норвезькому місті Берген (рис. 3). Висота будівлі – 51 м, містить 64 квартири, її здали в експлуатацію в 2015 році. Клеєний брус перерізом  $1\text{м} \times 1\text{м}$  використовується для несучих конструкцій. Будівля складається з 48 заздалегідь виготовлених дерев'яних модулів – готових зібраних квартир [5].

В даний час, завдяки використанню нових міцних і вогнестійких матеріалів із деревини, прикладів багатоповерхового дерев'яного будівництва стає все більше (рис. 4).

Брус є традиційним будівельним матеріалом – це пиломатеріал з квадратним або прямокутним перетином, який може бути виготовлений з колод або клеєних дощок. Найдешевший варіант для спорудження будинку – цільний брус, а найдорожчий – клеєний. Його ціна пов'язана з тим, що виконані з клеєних дощок бруси, мають багато переваг, наприклад, такий матеріал не розтріскується і не схильний до усадки, має кращі характеристики тепло- і шумоізоляції [7].

Бамбук вважається одним з перспективних матеріалів в дерев'яному житловому будівництві: має високу міцність, зростає у кілька разів швидше, ніж дерево. Одним із приводів інтересу до даного матеріалу є багатовікові традиції будівництва з бамбука в східних країнах, де його використовують як в обробленому, так і в природному вигляді [8].

В середині 90-х років минулого століття Австрійська асоціація дерев'яної промисловості провела наукові дослідження, які привели до розвитку нової технології модифікації



деревини, яка отримала назву «CLT-технологія». На початку нинішнього століття будівництво за новими технологіями вже значно збільшилася.



Рис. 3. Treet Bergen, Берген, Норвегія



Рис. 4. Приклади дерев'яних будівель Європи: 1- Bridport house, Лондон, Великобританія, 8 поверхів; 2 - Шестиповерховий будинок Strandparken, Стокгольм, Швеція. Добудовано в 2015 році; 3 - Дерев'яний семиповерховий будинок, Wargamerstrasse, Відень, Австрія; 4 - Дерев'яний будинок maison de l inde, Париж, Франція, 7 поверхів; 5 - Восьмиповерховий дерев'яний будинок в Мілані, Італія. Побудований в 2013 році; 6 - Восьмиповерховий будинок Holz8, Бад Айблінг, Німеччина - найвища дерев'яна житлова будівля Німеччини (25 м) [6].

CLT (Cross Laminated Timber) (рис. 5) - «багатошарова панель з цільної деревини», зазвичай складається з 3-8 шарів. Висушені в печі дошки спочатку скріплюють один з одним, вони утворюють безперервні дошки довжиною до 12,192 м. Тонкі шари дерева, розташовані поперек один одного під прямим кутом, з'єднані вогнетривким клеєм для створення більш міцного і вогнестійкого переплетення. Ламелі, товщиною від 10 до 45 мм склеюють між собою під тиском в  $0.6 \text{ Н/мм}^2$ .



Рис. 5. CLT (Cross Laminated Timber)

Переваги: пожежна безпека, стабільність геометричних розмірів, невелика маса (в порівнянні з брусом), висока опірність статичним навантаженням, можливість виготовлення панелей різних габаритів (вони залежать від характеристики використовуваного обладнання та умов транспортування), висока екологічність.

Недоліки: висока вартість панелей через складність виробництва; в регіонах з низькою температурою необхідно додаткове утеплення стін [9].

Фізико-механічні характеристики [10] :

1. Вологість панелей, 10-12%;
2. Питома теплоємність,  $1.6 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ ;
3. Стійкість до проникності паром, 20-50;
4. Шумоізоляція,  $R > 60 \text{ дБ}$ ;
5. Клас міцності, C24;
6. Теплопровідність,  $0.1 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ ;
7. Міцність на вигин,  $10 \text{ Н/мм}^2$ ;
8. Міцність на стиск вздовж волокон, 13-15 МПа;
9. Міцність на стиск поперек волокон, 1,8 МПа;
10. Модуль зсуву,  $50 \text{ Н/мм}^2$ ;
11. Розрахункове навантаження на стіну,  $60 \text{ кН/м}^2$ , на перекриття,  $5 \text{ кН/м}^2$ ;
12. Пожежостійкість, s2, dO, D;

МНМ (Massiv-Holz-Mauer) (рис. 6) – «масивна дерев'яна стіна». Це технологія, коли ламелі зрощуються між собою. Перевага такої технології в тому, що стіна може бути товщиною до 35 см. МНМ-стіна тепліше, ніж CLT або клеєний брус, за рахунок того, що кожен ламель має вибірку («гребінець»), яка формує повітряні камери всередині стіни .

Переваги: висока якість, стабільність форми, підвищена сейсмостійкість, висока швидкість виготовлення панелей завдяки автоматизації виробництва, швидкість монтажу, захист від впливу шкідливих електромагнітних випромінювань: монолітна конструкція може елімінувати до 95% електромагнітних радіохвиль.

Недоліки: для зведення будинку з МНМ-панелей необхідна спеціальна будівельна техніка [11].

Фізико-механічні характеристики [12]:



1. шумоізоляція - до 48 дБ (залежить від товщини полотна);
2. класи пожежної безпеки - К1 (45), К0 (4), К0 (15);
3. теплопровідність -  $0.093 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$ ;
4. середній термін експлуатації - 150 років.



Рис. 6. МНМ (*Massiv-Holz-Mauer*)

LVL (*Laminated Veneer Lumber*) (рис. 7) - «пиломатеріал з листового шпону»: конструкційна балка зі шпону, яка запікається під впливом тиску і впливом мікрохвильового випромінювання, в результаті виходить композитний матеріал з унікальними властивостями.



Рис. 1.7 - LVL (*Laminated Veneer Lumber*)

Переваги: міцність на розтягнення і вигин уздовж волокон в два рази перевищує показники інших пиломатеріалів; не підтримує горіння - тліє і поступово згасає; вологостійкий; має точні геометричні розміри; не деформується через перепади температур і вологості; високі показники теплоізоляції.

Недоліки: низька екологічність через занадто велику кількість клею, висока вартість (через високу вартість виробництва ціна в 1,5-2 рази вище, ніж з непрофільованої колоди) [13].

Фізико-механічні характеристики [14]:

1. Опір уздовж волокон на вигин, 22,5 - 27,5 МПа;

2. Опірність на розтягнення, 16,5 - 22,5 МПа;
3. Клас вогнестійкості «Е»;
4. Щільність, 480 кг/м<sup>3</sup>;
5. Вологість, 8-12 %;
6. Шорсткість,  $\leq 320$  мкм;
7. Зносостійкість 4;
8. Швидкість обвуглювання, 0,7 мм/хвилину;
9. Клас по виділення шкідливих речовин (формальдегід), «Е1».

Завдяки різноскерованості волокон деревина створює акустичний ефект. Клейовий шов між ламелями формується на молекулярному рівні і абсолютно нешкідливий.

**Висновки.** Світова практика показує, що дерев'яне будівництво має ряд переваг. Воно є більш екологічним в порівнянні з будівництвом з бетону і сталі, тому що при виробництві бетонних і сталевих конструкцій в атмосферу викидається величезна кількість вуглекислого газу. Будівництво з деревини більш швидке і економічне. Сучасні технології виготовлення дерев'яних конструкцій дозволяють знизити ризик появи усадки, підвищити їх вогнестійкість.

Переваги дерев'яних конструкцій:

- час будівництва скорочується до 25 % в порівнянні з каркасом із сталі або бетону;
- робота, яка необхідна для встановлення перекриття, зменшена до 25% в порівнянні з аналогічним бетонним будівництвом;
- зменшення викидів вуглекислого газу при виготовленні та установці конструкцій;
- зменшення загальної ваги будівлі до 65% в порівнянні з бетонною альтернативою;
- зменшення ваги будівлі супроводжується зменшенням затрат на фундамент і зменшенням сейсмічного навантаження;
- доведена огнестійкість, відповідна номінальним вимогам для більшості типових будівель;
- присутність у будівництві дерева та інших натуральних матеріалів знижує рівень стресу у мешканців будівлі;
- покращення якості повітря в будівлі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Building material preferences with a focus on wood in urban housing: durability and environmental impacts *Can. J. For. Res.* 2015. С. 1617-1627.
2. *Is wood construction sustainable?* URL: <https://buildwithstrength.com/sustainability/>.
3. *Michael Green: why we should build wooden skyscrapers?* URL: <https://www.ted.com/talks/michael-green-why-we-should-build-wooden-skyscrapers?language=ru>.
4. Мурашева В. Деревянные многоэтажки растут в глазах общественности. URL: <http://estp-blog.ru/rubrics/rid-18911/>.
5. *Treet, Bergen.* URL: <https://www.skyscraper-center.com/building/treet/16540>.
6. Артем Лукичев: примеры многоэтажных зданий из древесины. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4100>.
7. Степанов Б.А. *Материаловедение для профессий, связанных с обработкой дерева: Учебник.* М.: Профобриздат, 2001. 328 с.

#### REFERENCES:

1. Building material preferences with a focus on wood in urban housing: durability and environmental impacts *Can. J. For. Res.* 2015. С. 1617-1627.
2. *Is wood construction sustainable?* URL: <https://buildwithstrength.com/sustainability/>.
3. *Michael Green: why we should build wooden skyscrapers?* URL: <https://www.ted.com/talks/michael-green-why-we-should-build-wooden-skyscrapers?language=ru>.
4. *Murasheva V. Wooden high-rise buildings are growing in the eyes of the public.* URL: <http://estp-blog.ru/rubrics/rid-18911/>.
5. *Treet, Bergen.* URL: <https://www.skyscraper-center.com/building/treet/16540>.
6. *Artem Lukichev: examples of multi-storey timber buildings.* URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4100>.
7. *Stepanov B.A. Materials Science for Woodworking Professions: Textbook.* M.: Profobrizdat, 2001. 328 p.

8. Бамбуковая архитектура. URL: <http://www.berlogos.ru/article/bambukovaya-arhitektura/>.
9. Anonymous Stora Enso CLT Technical brochure. Stora Enso Division Wood Products. URL: <https://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/CLT-by-Stora-Enso-Technical-manual-EN.pdf>.
10. ISO/DTR 16696-1 Timber structures – Cross laminated timber. Part 1: Component performance and production requirements. 2019.
11. The MHM construction material. URL: <https://www.massivholzmauer.de/en/building-material-mhm.html>.
12. Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH, Hagen, 2014. URL: <https://www.massivholzmauer.de/de/startseite.html>.
13. Basics of Removing a Load-Bearing Wall, written by Lee Wallender. URL: <https://www.thespruce.com/removing-a-load-bearing-wall-1821964>.
14. EN 13986:2004+A1:2015 Wood-based panels for use in construction - Characteristics, evaluation of conformity and marking. 2015.
8. Bamboo architecture. URL: <http://www.berlogos.ru/article/bambukovaya-arhitektura/>.
9. Anonymous Stora Enso CLT Technical brochure. Stora Enso Division Wood Products. URL: <https://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/CLT-by-Stora-Enso-Technical-manual-EN.pdf>.
10. ISO/DTR 16696-1 Timber structures – Cross laminated timber. Part 1: Component performance and production requirements. 2019.
11. The MHM construction material. URL: <https://www.massivholzmauer.de/en/building-material-mhm.html>.
12. Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH, Hagen, 2014. URL: <https://www.massivholzmauer.de/de/startseite.html>.
13. Basics of Removing a Load-Bearing Wall, written by Lee Wallender. URL: <https://www.thespruce.com/removing-a-load-bearing-wall-1821964>.
14. EN 13986:2004+A1:2015 Wood-based panels for use in construction - Characteristics, evaluation of conformity and marking. 2015.

Savytskyi M.V., Shekhorkina S.E., Berdnykov M.R. DEVELOPMENT OF TIMBER HOUSE-BUILDING: HISTORY OF MULTI-STOREY TIMBER BUILDINGS, NEW MATERIALS BASED ON TIMBER, POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF USING. Wood, materials and products based on it have been used around the world for millennia. Modern construction of multi-storey wooden buildings, in whole or in part, indicates a growing interest in this area. Wood is one of the few natural environmentally friendly building materials, making wood construction safe for the environment. Although it is a natural product, it takes a lot of energy to dry and process, and it is much less than the production of cement and metal. Most of the energy can come from the biomass of the tree itself, but this requires investment in crop production, which is not always possible in our time.

**Keywords:** multi-storey wooden buildings, wooden structures, wood.

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-103-1-119-126

УДК 65.05+628.23

Старкова О.В., Бондаренко Д.О., Литвиненко Є.М., Мерлак О.В.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, Харків, Україна; e-mail: [starkova@kstuca.kharkov.ua](mailto:starkova@kstuca.kharkov.ua); [orcid.org/0000-0002-9034-8830](https://orcid.org/0000-0002-9034-8830), [orcid.org/0000-0002-2276-586X](https://orcid.org/0000-0002-2276-586X), [orcid.org/0000-0002-1873-1042](https://orcid.org/0000-0002-1873-1042), [orcid.org/0000-0001-7795-3780](https://orcid.org/0000-0001-7795-3780))

## ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ВИБОРУ МЕТОДУ ВІДНОВЛЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

Дослідження спрямоване на вирішення проблеми підвищення ефективності управління стратегічно значущими підприємствами держави, якими є підприємства та організації, що займаються експлуатацією об'єктів підземної інженерної інфраструктури. Авторами запропоновано автоматизовану підсистему вибору методу відновлення підземних інженерних мереж, в основу якої покладено алгоритм, що порівнює параметри ділянки з характеристиками методу. Для такого вибору обрано існуючі та заздалегідь описані замовником методи відновлення. Аналогічних автоматизованих систем для вирішення подібних задач на вітчизняному ринку не існує. Основні принципи, методологічний та програмний інструментарій обґрунтованого вибору методу відновлення підземних інженерних комунікацій, запропоновані авторами раніше, склали основу для програмного модуля вибору раціональних схем відновлення підземних інженерних комунікацій. Авторами описано функціональну модель комплексу задач, що представлена у вигляді UML діаграми використання, проведено аналіз предметної області, який дозволив описати вхідні та вихідні дані для роботи системи. На основі проведеного аналізу предметної області виконано об'єктно-орієнтоване проектування системи та