Міністерство освіти і науки України
Національний лісотехнічний університет України
Інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технології меблів та виробів з деревини

Дипломна робота

Магістр
(освітньо кваліфікаційний рівень)
на тему:
«Опорядження каркасно-панельних дерев'яних CLT конструкцій»

Виконав: студент II курсугрупи ДМТ-63м
Шульга Максим Володимирович
Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Керівник: ас. Яріш О.В.

Рецензент:

Львів -2024

Форма №Н-9.02

Національний лісотехнічний університет України

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технології меблів та виробів з деревини
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр
Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТМВД
_____ проф. Кійко О.А.
"__17__" _____07_____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Шульги Максима Володимировича

1. Тема роботи: **Опорядження каркасно-панельних дерев'яних CLT конструкцій**

керівник роботи: кан. техн. наук ас. Яріш О.В..
затверджені наказом по університету від 12 липня 2024 року, № С-467

2. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до магістерської роботи:

Аналіз стану питання та завдання досліджень. Розглянути опорядження CLT конструкцій в контексті надання матеріалу протипожежних, вологостійких, антигрибкових та захисно-декоративних характеристик. Розширити тему магістерської роботи, розкривши основні питання та перешкоди, які стоять на шляху впровадження та популяризації CLT панелей у висотному будівництві.

Виконати наступні завдання:

- проаналізувати сучасний стан багатоповерхового будівництва з використанням CLT конструкцій в Україні, стан нормативної бази, закордонний досвід застосування CLT конструкцій, розвиток нормативних документів та досліджень в даному напрямку;
- визначити характерні інженерні, екологічні й економічні аспекти та принципи в застосуванні даних конструкцій;
- дослідити методи нанесення та лакофарбові матеріали, які використовуються для опорядження CLT конструкцій.

Методика проведення досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступна частина. Мета роботи, об'єкт та предмет дослідження. Визначення основних проблем і напрямків. Основна частина. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1.Рисунки , графіки досліджень, фото випробувань, схематичні креслення.
2.Презентація магістерської роботи у вигляді слайдів, представлених у програмі "Power-Point".

7. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання_____17 липня 2024 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел	17.07-30.07	Виконав
2.	Теоретичне обґрунтування досліджень	01.08-15.08	Виконав
3.	Складання методики досліджень	16.08-20.08	Виконав
4.	Теоретичні дослідження	21.08-20.11	Виконав
5.	Обробка даних досліджень	16.11-06.12	Виконав
6.	Оформлення рисунків та таблиць	07.12-12.12	Виконав
7.	Написання висновків та пропозицій	11.12-16.12	Виконав
8.	Оформлення пояснювальної записки	10.12-17.12	Виконав
9.	Збір рецензій	18.12-20.12	Виконав

Студент: _____ **Шульга Максим Володимирович**

Керівник: _____ канд. техн. наук **Яріш О.В.**

Зміст

АНОТАЦІЯ

1. Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів..... 7

2. Вступна частина 8

2.1 Актуальність теми..... 8

2.2 Мета роботи, об'єкт та предмет дослідження. 10

2.3 Історичний контекст..... 11

2.4 Стан вивчення теми на теренах нашої країни. 14

2.5 Визначення основних проблем і напрямків..... 16

2.5.1 Вартість 16

2.5.2 Проєктування..... 17

2.5.3 Нормування щодо пожежостійкості..... 17

2.5.4 Конструкційні характеристики..... 17

2.5.5 Громадська думка..... 18

2.5.6 Економічна складова..... 18

3. Основна частина (проблеми) 20

3.1 Обізнаність у сфері 20

3.1.1 Закордонний досвід у проведенні досліджень 20

3.1.2 Питання які найбільше хвилюють респондентів 21

3.2 Модернізація нормативної бази..... 28

3.2.1 Шлях формування кодексу в Північній Америці 28

3.2.2 Державні будівельні норми..... 33

3.3 Пожежна безпека, конструкційна стійкість (довіра до матеріалу), опорядження та захист конструкцій. 34

3.3.1 Визначення терміну «масивна деревина» 34
3.3.2 Принципи забезпечення захисту (опорядження) масивної деревини і конструкцій. 39
3.3.3 Інкапсуляція 44
3.3.4 Обвуглювання 46
3.3.5 Вітчизняні норми забезпечення пожежного захисту. 50
3.3.6 Антипірени, опоряджувальні матеріали, методи захисту 52
3.4 Економічна доцільність 56
3.4.1 Основні аспекти що формують вартість будівлі 56
3.5 Екологічна складова, управління лісовим сектором 60
3.5.1 Сталий розвиток дерев'яного багатоповерхового будівництва 60
3.5.2 Ставлення до лісових ресурсів як виклик на майбутнє 62
4. Висновки та можливі напрямки досліджень. 64
5. Список використаних джерел 66

А Н О Т А Ц І Я

Ця магістерська дипломна робота присвячена дослідженню проблем та перспектив використання каркасно-панельних дерев'яних CLT (Cross-Laminated Timber) конструкцій та їх опорядження, в контексті будівництва багатоповерхових будівель в Україні.

У вступній частині обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт та предмет дослідження, розглянуто історичний контекст розвитку CLT-будівництва та проаналізовано стан вивчення цієї теми в Україні. Визначено основні проблеми та напрямки дослідження, серед яких: вартість будівництва, особливості проєктування, нормування щодо пожежної безпеки, конструкційні характеристики, формування громадської думки та економічна складова.

Основна частина роботи детально аналізує ключові проблеми впровадження CLT-технологій. Розглянуто питання обізнаності у цій сфері, включаючи закордонний досвід проведення досліджень та аналіз питань, що найбільше хвилюють потенційних користувачів. Окрему увагу приділено модернізації нормативної бази, зокрема порівняння шляху формування будівельного кодексу в Північній Америці та діючих державних будівельних норм України. Детально досліджено питання пожежної безпеки та конструкційної стійкості, включаючи визначення терміну «масивна деревина», принципи забезпечення захисту (опорядження) масивної деревини та конструкцій (інкапсуляція, обвуглювання), також огляд антипіренів, опоряджувальних матеріалів та методів захисту.

В роботі також проаналізовано економічну доцільність використання CLT-конструкцій, зокрема основні аспекти, що формують вартість будівлі, та розглянуто екологічну складову, включаючи питання сталого розвитку дерев'яного багатоповерхового будівництва та ставлення до лісових ресурсів.

У висновках підсумовано результати дослідження та сформульовано можливі напрямки подальших досліджень у цій сфері.

1. ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Mass timber (Масивна деревина)

Glued laminated timber (glulam)

Cross-laminated timber (CLT)

Dowel-laminated timber (DLT)

Laminated veneer lumber (LVL)

Parallel-strand lumber (PSL)

LEED

Flame Spread Rating (FSR)

Smoke Development Classification (SDC).

Вуглецевий слід

КД

ПКД

Обвуглювання

Інкапсуляція

Горюча конструкція

Важка дерев’яна конструкція

Негорюча конструкція

REI

R

EI

2. ВСТУПНА ЧАСТИНА

2.1 Актуальність теми

Один із найважливіших аспектів будівель майбутнього полягає у зменшенні споживання енергії на всіх етапах їхнього життя — від будівництва до знесення. За оцінками програми ООН з навколишнього середовища, будівлі споживають приблизно 40% глобальної енергії, 25% води та 40% світових ресурсів, а також відповідають за близько третини викидів парникових газів. Подібні дані підтверджують дослідження Міністерства енергетики США та Європейської комісії.

У Європі це призвело до розробки кількох екологічних політик, зокрема Директиви про енергетичну ефективність будівель (EPBD) та Директиви про енергоефективність (LEED). Європейська комісія прогнозує, що ці заходи допоможуть зменшити попит на енергію для опалення та охолодження на 12% до 2030 року та на 17% до 2050 року.

Стратегії, спрямовані на зменшення потреб у опаленні та охолодженні, фокусуються не лише на підвищенні ефективності приладів і змінах у способі життя, а й на покращенні теплоізоляційних властивостей огороджувальних конструкцій. Цей підхід може значно підвищити ефективність з малим часом окупності. Аналіз показує, що в 2035 році близько 75% виробленої енергії буде отримуватись з викопного палива, що підкреслює важливість інвестицій в енергоефективність будівельного сектору, оскільки приблизно чотири п’ятих його потенціалу залишалися невикористаними у 2012 році.

Використання ефективних ізоляційних матеріалів також важливе для зменшення впливу міського шуму, адже близько 65% європейців піддаються впливу шуму, що негативно впливає на здоров'я. Однак використання натуральних або перероблених матеріалів в цьому контексті поки що не є поширеним. Вони можуть викликати проблеми з навколишнім середовищем через споживання невідновлюваних ресурсів та утилізацію відходів, зокрема пластикових.

Запровадження концепції «стійкості» в будівництві поступово веде до створення ізоляційних виробів з натуральних і перероблених матеріалів, багато з яких уже доступні на ринку, тоді як інші ще перебувають на стадії розробки. Ці рішення можуть бути особливо важливими для країн, що розвиваються, які стикаються з проблемами утилізації через наявність великої кількості будівельних і промислових відходів.

Проте зусилля щодо зменшення впливу будівельного сектора на навколишнє середовище повинні фокусуватися не лише на поліпшенні теплоізоляційних властивостей, а й на оптимізації енергоспоживання на міському рівні.

У цих умовах зростання вимог до екологічності та енергоефективності відкриває нові можливості для розвитку багатоповерхового будівництва з використанням MASS TIMBER (*надалі.* масивної деревини). Використання конструкцій з масивної деревини також сприяє зменшенню викидів CO2, що є важливим в контексті глобальних змін клімату та зобов'язань країн, зокрема й нашої, щодо скорочення вуглецевого сліду.

Для тих, хто тільки знайомиться з темою будівельних конструкцій, важливо зрозуміти, чому це дослідження є принципово важливим у сучасному будівельному середовищі. Протягом понад століття середньоповерхові та високі будівлі по всьому світу зводилися переважно з бетону та сталі для досягнення великих висот. Ці матеріали були і залишаються основними для будівництва всіх типів будівель.

Але чому зараз потрібна альтернатива бетону і сталі для середніх і високих будівель? Відповідь проста — зміна клімату. Бетон і сталь мають великий вуглецевий слід і є енергоємними матеріалами для виробництва. Останні 20 років показали великий вплив будівельної індустрії на парникові гази, що сприяють зміні клімату. Тільки виробництво бетону становить близько 5% світових викидів вуглекислого газу, основного парникового газу, що в п’ять разів більше, ніж у всій авіаційній галузі. Це підкреслює необхідність переосмислення базових матеріалів, з яких ми будуємо.

2.2 Мета роботи, об’єкт та предмет дослідження.

Мета полягає в поширенні інноваційних ідей, зокрема використання масивної деревини на прикладі CLT (ПКД) у багатоповерховому будівництві, які спершу виступають експериментальними рішеннями, але з часом можуть бути більш конкурентоспроможними та доступними для ширшого кола проєктувальників і будівельників. Це також включає визначення напрямів для подальших досліджень, стандартизації та розвитку, спрямованих на зменшення вуглецевого сліду та мінімізацію впливу на навколишнє середовище.

Дослідження також спрямоване на створення додаткової основи для розробки нормативної бази та підвищення рівня обізнаності фахівців у сфері проектування, будівництва, спеціалістів з пожежної безпеки, ну і врешті для громадськості як для кінцевого споживача виробів (будівель) з масивної деревини.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні ***завдання:***

аналіз сучасного стану багатоповерхового будівництва з використанням CLT конструкцій в Україні, стану нормативної бази, потенціалу сировинної та виробничої бази;

вивчення закордонного досвіду застосування CLT конструкцій, розвитку нормативних документів та досліджень в даному напрямку;

визначення характерних інженерних, екологічних та економічних аспектів і принципів в проектуванні;

Об’єкт дослідження – проблеми і питання які стоять на шляху розвитку та популяризації багатоповерхових житлових та громадських будівель з масивної деревини на прикладі CLT панелей (ПКД).

Предмет дослідження – вплив фізичних, екологічних, інженерних, чинників та характеристик конструкцій з масивної деревини на сприйняття та обізнаність серед фахівців та громадськості. Вплив елементів та видів опорядження CLT панелей та конструкцій на експлуатаційні характеристики як елементів так і будівельних систем в цілому.

2.3 Історичний контекст

Високі дерев'яні будівлі — це не нова концепція.

Висотне дерев'яне будівництво має давню історію. Ще 1400 років тому в Японії зводили дерев’яні пагоди висотою до 19 поверхів, які досі стоять у сейсмонебезпечних районах із вологим кліматом. У різних країнах також існують приклади дерев'яних висотних будівель, зокрема у Ванкувері, де понад століття зберігалися 7-10-поверхові споруди з важкої деревини. У 2008 році проєкт Stadhaus у Лондоні (рис2.1) став важливим кроком у розвитку масового дерев’яного будівництва, стимулюючи подальші інновації, зокрема створення проєктів будівель висотою до 30 поверхів.

Дев’ятиповерховий житловий комплекс **Murray Grove** що містить 29 квартир розташований в Хакні, повністю зведений з дерева, став найвищим дерев’яним житловим будинком у світі.

Всі панелі були попередньо виготовлені з вирізами для вікон та дверей. Це дозволило значно скоротити термін монтажу: усю конструкцію зібрали за дев’ять тижнів.

Будівля створена на основі унікальної поперечно-ламінованої конструкційної системи, розробленої компанією KLH в Австрії. Архітектор Ендрю Во тісно співпрацював з KLH для інтеграції цієї технології без компромісів у дизайні. Масивні дерев’яні панелі утворюють конструкцію, що

складається з несучих дерев’яних стін, включаючи осередники сходів і ліфтів, а також дерев’яних плит перекриття.

Рис. 2.2

Вежа Murray Grove демонструє значний внесок у екологію: її конструкція здатна заощаджувати понад 181 тонну вуглецю. Крім того, відмова від залізобетонного каркасу дозволила уникнути додаткових 125 тонн викидів вуглецю в атмосферу. У сумі це еквівалентно 21 року викидів подібної будівлі або 210 років за умови використання 10% відновлюваної енергії.

Центр інновації та дизайну деревини.

Проект, розроблений Michael Green Architecture (MGA) і побудований PCL Construction, є важливою віхою в розвитку висотного дерев'яного будівництва. Центр інноваційного дизайну деревини (WIDC), що складається з восьми поверхів (6 поверхів , мезонін і пентхаус), висотою 29,5 м, на даний момент є найвищою повністю дерев'яною будівлею в світі. Цей рекорд незабаром буде побитий іншими великими дерев'яними проектами, що зараз перебувають на стадії розробки.

У нижніх трьох поверхах розташовані приміщення для Університету Північної Британської Колумбії, зокрема для програми магістратури з інтегрованого дизайну деревини. Верхні поверхи займають офіси державних установ та організацій, пов'язаних з деревообробною промисловістю.

Центр сприяє популяризації деревини як екологічно чистого та красивого будівельного матеріалу, який має великий потенціал для сталого розвитку. Будівля була спроектована компанією Equilibrium Consulting разом з MGA і належить провінції Британська Колумбія.

Проект став значним кроком у просуванні концепції Tall Wood в Північній Америці. Метою MGA було продемонструвати економічні переваги і технології повторного застосування для будівництва висотних дерев'яних будівель, які можуть стати новими стандартами для забудовників, архітекторів і інженерів. Деревина з екологічно керованих лісів є швидко відновлюваною альтернативою традиційним будівельним матеріалам і сприяє зниженню енергоспоживання та поглинанню вуглецю.

Рис. 2.3

2.4 Стан вивчення теми на теренах нашої країни.

В Україні традиційними матеріалами для багатоповерхового будівництва є бетон, цегла та сталь. Залізобетонні конструкції широко використовуються завдяки своїй міцності, довговічності та вогнестійкості. Цегляні будівлі, хоч і менш популярні в сучасному багатоповерховому будівництві, все ще використовуються завдяки своїй хорошій теплоізоляції та естетичним якостям.

Сучасне багатоповерхове будівництво в Україні стикається з низкою проблем і викликів. По-перше, високі витрати на будівельні матеріали та роботи, а також велика трудомісткість процесів на будівельних майданчиках підвищують загальні витрати і можуть знижувати якість виконаних робіт. По-друге, використання традиційних матеріалів, таких як бетон і цегла, призводить до значних викидів CO2, що негативно впливає на навколишнє середовище. Інші виклики включають обмежений доступ до новітніх технологій і матеріалів, нестачу кваліфікованих спеціалістів та бюрократичні перепони при впровадженні нових методів будівництва.

Каркасне дерев’яне будівництво в Україні в основному обмежується індивідуальними садибами, тимчасовими спорудами та рідко застосовується для просторових конструкцій. Проте є приклади використання «масивної деревини» у громадських будівлях, зазвичай представлені як експериментальні чи тимчасові проекти.

Одним із таких прикладів є центр протезування та ортезування у Львові. Одноповерхова будівля площею 1 000 кв. м. включає центр виготовлення протезів, аудиторію для навчання та досліджень, кімнати для примірки та випробування протезів пацієнтами, а також внутрішній дворик для відпочинку. Будівля розрахована на 30 робочих місць, і щорічно в центрі виготовлятимуть близько 1 200 протезів. Зведення та запуск цього центру стали важливими подіями в нинішній час.

Рис. 2.4

Ще одним проектом є новий корпус центру реабілітації «Незламні», розроблений студією Shigeru Ban Architects. Нова будівля дозволить збільшити кількість пацієнтів, які зможуть одночасно проходити лікування. У будівництві планується використання багатошарових клеєних дерев’яних панелей (перехресно-ламінована деревина), конструкція була спроектована у співпраці зі швейцарською інженерною студією Германа Блюмера, що дозволяє обійтися без металевих конструкцій. Корпус матиме вісім поверхів — два підземних та шість надземних, у формі прямокутного блоку з гратчастим фасадом та дерев’яним козирком на вході. Всередині будівлі буде атріум, навколо якого розмістять зону прийому та дерев’яні колони.

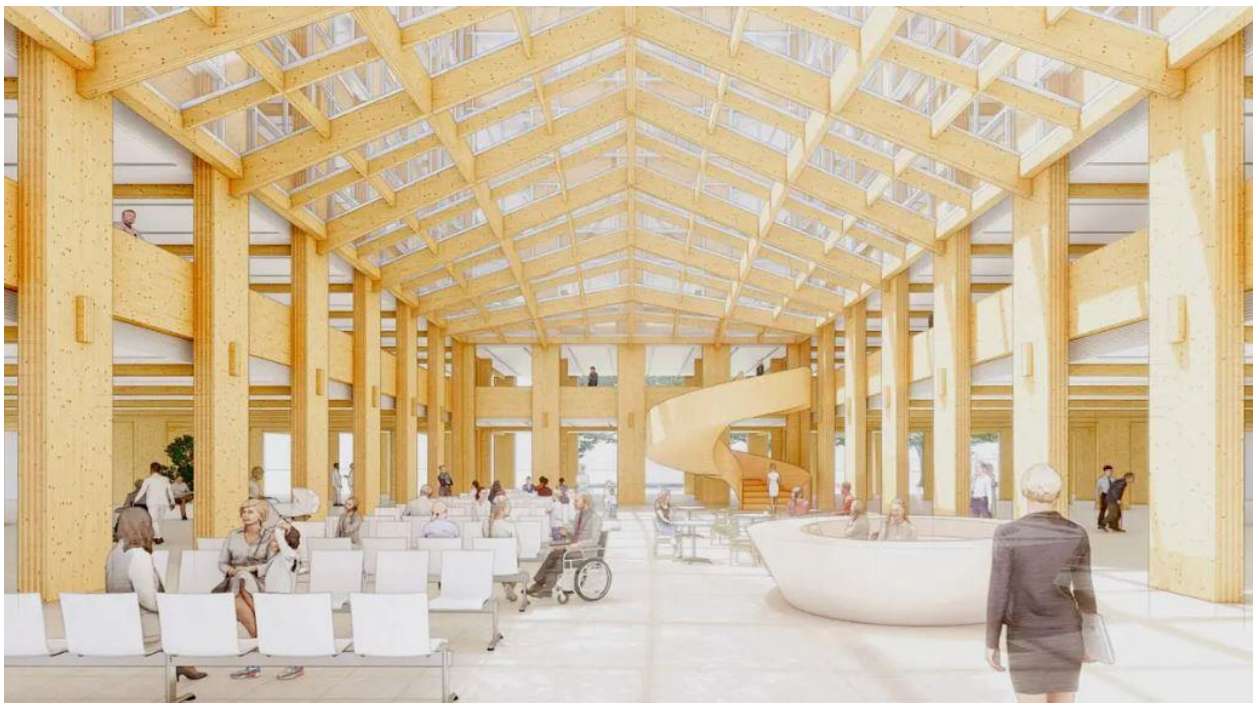

Рис. 2.5

2.5 Визначення основних проблем і напрямків

Ця робота має ціль продемонструвати, як використання масивної деревини з новими структурними підходами суттєво відрізняється від традиційних методів будівництва при зведенні середньоповерхових і висотних будівель (до 30 поверхів). На досвіді інших країн, якомога детальніше спробуємо з'ясувати, як конструкції з масивної деревини можуть відповідати проектним вимогам та вимогам щодо пожежної безпеки і життєздатності в умовах конкуренції на ринку і які виклики стояли і продовжуть на шляху реалізацій подібних проектів.

Аналізуючи дослідження західних колег були визначені наступні загальні упередження щодо будівництва висотних будівель з деревини — як в професійній галузі, так і в громадському сприйнятті.

2.5.1 Вартість

Деревина може бути дорожчою за бетон, особливо коли розглядаються великі обсяги для високих будівель.

Висотні дерев’яні будівлі можуть вимагати складнішої та більш детальної роботи з проектування та виготовлення.

Для забезпечення належної вогнестійкості дерев'яні конструкції можуть потребувати додаткових витрат на вогнезахисні покриття та матеріали.

Недостатня конкуренція на ринку деревини може призвести до високих цін та нестабільності в постачанні.

Хто нестиме витрати та ризики, пов'язані з впровадженням нових технологій і матеріалів.

2.5.2 Проєктування

Висотні дерев'яні конструкції можуть обмежувати гнучкість у проектуванні порівняно з бетонними.

Оскільки деревина має меншу міцність на вигин і на стиск порівняно з бетоном, для досягнення необхідної стабільності та вогнестійкості стіни висотних дерев'яних будівель можуть бути товщими.

Товстіші дерев'яні стіни можуть збільшити загальну площу підлоги, що може знизити ефективність використання площі.

2.5.3 Нормування щодо пожежостійкості

У порівнянні з бетонними конструкціями, деревина має обмежену вогнестійкість.

Деревина горюча, і навіть якщо її обробити вогнестійкими матеріалами, це не забезпечує таку ж стійкість до вогню, як бетон.

Для пожежників і рятувальників, які повинні працювати в умовах пожежі, дерев'яні конструкції можуть бути більш небезпечними через швидке поширення вогню.

2.5.4 Конструкційні характеристики

Дерево має меншу міцність на стиск та вигин порівняно з бетонними або сталевими конструкціями.

Висотні дерев'яні будівлі можуть бути менш стійкими до землетрусів.

Висотні дерев'яні будівлі можуть бути вразливими до руйнувань огороджувальних конструкцій, що може призвести до "синдрому негерметичності" в умовах землетрусів.

Дерев'яні конструкції також можуть бути нестійкими до вітрових навантажень, що може викликати значні прогини або коливання вищих поверхів будівлі.

2.5.5 Громадська думка

Деревина стискається, ламається.

Деревина гниє.

Деревина горить.

Неекологічність через виділення токсичних речовин з клеїв конструкцій.

2.5.6 Економічна складова

Дерев'яні будівлі піддаються більшому ризику під час будівництва через вплив вологи та пожеж.

Страхування будівель з дерев'яних конструкцій вищі.

Дерево не може конкурувати з сталеливарною та бетонною промисловістю.

Недостатній запас деревини та вплив на лісову промисловість також є важливими факторами, зокрема при керуванні лісовим сектором.

Серед безлічі питань та викликів, метою цієї роботи є виокремити основні труднощі на шляху впровадження висотного будівництва з масивної деревини (зокрема CLT), а також проаналізувати досвід країн, де це розвинено на високому рівні. Крім того, важливим аспектом є підвищення культури застосування деревини в будівництві. Тож зупинимось на основних аспектах і

розглянемо їх в даній роботі, і спробуємо сформулювати кейси для подолання цих бар’єрів, отже це:

- Недостатня обізнаність серед фахівців і громадськості
- Недосконаліть нормативної бази
- Пожежна і конструктивна безпека
- Економічна доцільність
- Екологічна складова

3. ОСНОВНА ЧАСТИНА (ПРОБЛЕМИ)

3.1 Обізнаність у сфері

3.1.1 Закордонний досвід у проведенні досліджень

Технологія CLT, хоча і є відносно новою, почала свій розвиток в інших країнах, зокрема в США, де вона не була так поширена, як у Європі, звідки, власне, й розпочалася її історія. Науковці проводили дослідження як в Європі так і Північній Америці, серед фахівців прагнучи дізнатися, наскільки їм відомий CLT, які переваги вони бачать у цьому матеріалі та які перешкоди заважають його використанню в будівництві. Опитування показали, що успіх будівництва з перехресно-клеєної деревини (ПКД) залежить від рівня обізнаності архітекторів про переваги цього матеріалу. Хоча CLT має багато позитивних характеристик, таких як екологічність і міцність, його відносно висока вартість, проблеми з відповідністю будівельним нормам і обмежений доступ до матеріалу стримують його широке застосування. Результати опитування свідчать про те, що чим більше архітектори дізнаються про CLT, тим більше готові використовувати його у своїх проектах. Таким чином, ці дослідження є важливою інформацією для оцінки потенціалу успішного впровадження CLT в Україні.

Дослідження, проведене серед європейських інженерів, мало на меті оцінити рівень їхньої обізнаності про CLT, визначити основні бар’єри для її впровадження та з’ясувати ключові напрями для подальших досліджень. У ньому взяли участь 93 інженери та дослідники, переважно з європейської мережі CLT. Результати показали, що рівень обізнаності про CLT серед забудовників, керівників будівництва, інженерів і архітекторів залишається низьким. Головними бар’єрами для впровадження є проблеми з адаптацією до будівельних норм і недостатня технічна інформація.

Розробка сучасної CLT (крос-ламінованої деревини) розпочалася на початку 1990-х років за ініціативи швейцарського уряду, який прагнув знайти нові ринки для побічної продукції лісопильного виробництва. Цей процес об’єднав

зусилля промисловості та наукових кіл, що сприяло створенню та популяризації CLT як будівельного матеріалу.

До 2012 року в Європі реалізували понад 100 проєктів із використанням CLT, а також активізувалися численні наукові дослідження, проведені у європейських інституціях. На міжнародному рівні CLT також викликала великий інтерес: наприклад, на спільній Всесвітній конференції з розробки деревини та лісопродукції в Квебеку у 2014 році було проведено 8 тематичних сесій і представлено понад 56 презентацій, присвячених дослідженням CLT.

Завдяки своїй універсальності та екологічним перевагам, сьогодні CLT активно застосовується по всьому світу, а дослідження щодо її вдосконалення проводяться на глобальному рівні.

Мета дослідження

Це дослідження виявило основні дослідницькі потреби для просування та зростання CLT, як це сприймають експерти з лісотехніки в Європі. Для досягнення цієї мети було проведено опитування європейських експертів у галузі деревної інженерії та CLT, щоб дізнатися про їхню обізнаність, передбачувані перешкоди для впровадження та погляди на дослідження, необхідні для подальшого розвитку впровадження CLT на ринку.

Методи дослідження

Враховуючи великий потенціал для розширення використання виробів з деревини в європейській будівельній промисловості, було проведено веб-цільове опитування, щоб отримати думку європейських експертів CLT. Дотримувались індивідуальних методів проектування *Діллмана* для розробки та впровадження опитування.

3.1.2 Питання які найбільше хвилюють респондентів

У таблиці 3.1 наведено рід діяльності респондентів. Більшість із них вказали як професію «дослідник» (68,6%), потім «інженер» (51,0%) та «вихователь» (49,0%) відповідно. Багато респондентів повідомили про більше ніж одну

професію, причому найпоширенішими комбінаціями були інженер і дослідник (37,3%) і педагог і дослідник (31,4%). Нарешті, 12 респондентів (23,5%) вказали, що є інженером, дослідником та педагогом. Що стосується географічного розподілу респондентів, то респонденти не були сконцентровані географічно і були широко розподілені по 25 європейським країнам. Проте найбільше відповідей надійшло з Іспанії (10 відповідей, або 19,6% відповідей), Швеції (5, або 9,8%) та Італії (4, або 7,8%).

Таблиця 3.1 Рід діяльності респондентів

Occupation	Count	Percent
Researcher	35	68.6%
Engineer	26	51.0%
Educator	25	49.0%
Consultant	7	13.7%
Architect	4	7.8%
Other	2	3.9%

* Multiple responses were possible

Рівень обізнаності

Респондентів запитували про їх бачення рівня обізнаності про CLT серед власників будівель, підрядників, керівників будівництва, інженерів та архітекторів. Результати наведені на рис. 3.1 На думку учасників, низький рівень обізнаності керівників будівництва, підрядників та власників/ініціаторів. Насправді 91,5%, 95,9% і 98,0% респондентів, відповідно, оцінюють рівень обізнаності цих спеціалістів як «низький» або «дуже низький». Ці результати досить дивні, оскільки CLT використовується в Європі більше 20 років і широко висвітлюється в спеціалізованих журналах і в новинах. Проте обізнаність була оцінена вищою для інженерів та архітекторів: 32,0% та 28,0% респондентів оцінили рівень обізнаності цих професіоналів як «високий» або «дуже високий» відповідно.

Респондентам була надана можливість додати професійну категорію та оцінити рівень обізнаності серед членів доданої категорії. Лише три учасники запропонували додаткові категорії, зокрема «дослідження» (дуже високий

рівень обізнаності), «широка громадськість» (дуже низька обізнаність) і «будівельники дерев'яних конструкцій» (висока обізнаність).

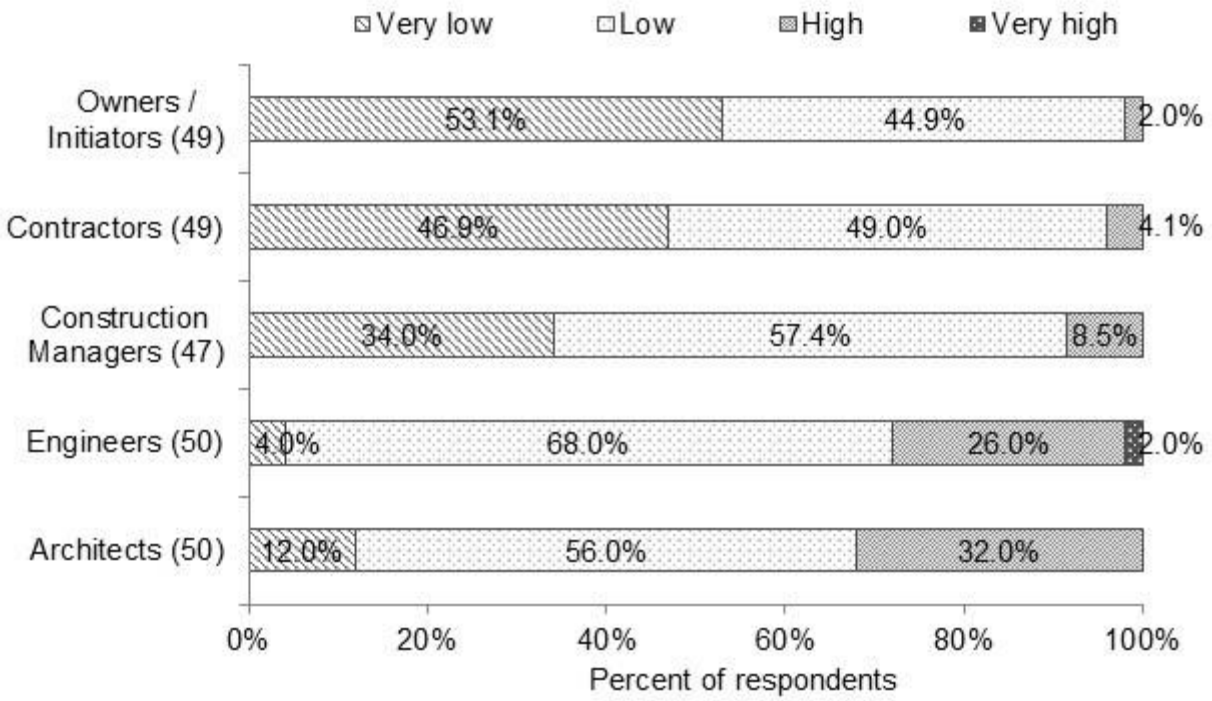

Рис. 3.1 Сприйманий рівень обізнаності серед різних професій

Відчутні бар'єри для прийняття CLT

У третьому питанні опитування респондентам було запропоновано оцінити список потенційних перешкод для впровадження CLT в Європі. Результати можна побачити на рис. 3.2 Перешкодами для впровадження CLT в Європі, які сприймали респонденти, були «сумісність із будівельними нормами»; що 51,0% респондентів вважали «великою перешкодою», за якою йдуть «доступність технічної інформації», «неправильне уявлення про деревину або CLT» і «вартість» (38,8%, 32,7% і 29,2% респондентів відповідно). «Доступність на ринку» та «обсяг деревини, необхідний для CLT» вважалися потенційними перешкодами (58,3% та 45,8% оцінили ці фактори як «можуть бути перешкодою» відповідно). Нарешті, 60,9% респондентів зазначили, що характеристики CLT як будівельного матеріалу «зовсім не є перешкодою».

Ці результати можна порівняти з результатами останніх досліджень у Сполучених Штатах, де було проведено загальнонаціональне опитування

архітекторів (Laguarda-Mallo and Espinoza 2015, 2014). Американські архітектори збіглися з європейськими інженерами в тому, що сумісність будівельних норм є великою перешкодою (у дослідженні в США трохи менше 90% респондентів вважали сумісність будівельних норм великою або потенційною перешкодою). Результати були подібними щодо вартості та доступності технічної інформації. Однак уявлення про доступність CLT відрізнялися: 94% і 67% архітекторів США та європейських інженерів, відповідно, вважали доступність панелей великою або потенційною перешкодою. Це більш виражене занепокоєння щодо доступності CLT у США не є дивним, оскільки матеріал ще не доступний у США. Насправді, на момент опитувань був лише один виробник панелей (Smartlam), і було створено лише кілька проектів з імпортованим CLT.

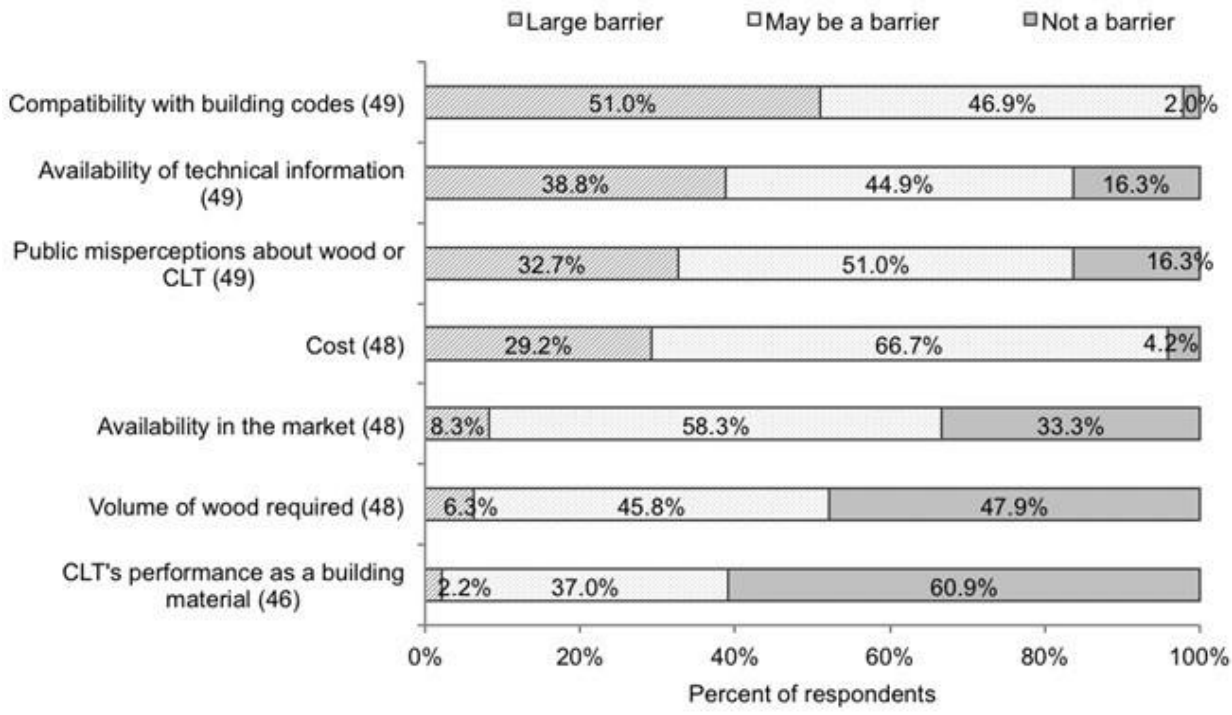

Рис. 3.2 Перешкоди для сприйняття

Респондентам була надана можливість вказати перешкоди, яких немає в списку, у категорії «інше». Семеро учасників внесли пропозиції, серед яких: боязнь недоліків деревини як матеріалу (пошкодження від вогню, гниття,

пошкодження комахами), теплотехнічні характеристики, відсутність досвіду проектування будівель з CLT, висока вартість (для житлових будинків), вогнестійкість (у високих будівлях), та недостатня поінформованість громадськості. Усі згадані бар'єри вважалися високими.

Дослідницькі потреби

Четверте запитання в цьому опитуванні стосувалося дослідницьких потреб, пов'язаних з CLT. Учасникам було представлено список із шести потенційних тем дослідження та попросили розставити ці теми в порядку важливості. Результати цього запитання підсумовано на рис. 3.3 Для полегшення інтерпретації відповіді були згруповані у три варіанти: перше та друге місце було згруповано у категорію «високого пріоритету», третє та четверте у категорію «середнього пріоритету», а пункти п'яте і шосте місця були згруповані в категорію «низького пріоритету». Трохи більше 90% респондентів зазначили, що «структурна ефективність і зв'язки» були найважливішими потребами дослідження. З усіх респондентів 76,5%, 64,7% і 45,1% відповідно вважали «вологість», «дослідження ринку/клієнта» та «акустичні характеристики» середнім або високим пріоритетом дослідження. Цікаво, що 96,1% респондентів вказали, що «екологічна ефективність» є «середнім» або «низьким» пріоритетом дослідження. Це не очікувалося, враховуючи, що екологічні аспекти CLT неодноразово згадуються як одна з найбільших переваг продажу. Можна припустити, що для європейців, де екологічні переваги будівництва з деревини активно пропагувалися протягом останніх 20 або більше років, респонденти не відчували потреби докладати більше зусиль у цій сфері. Іншим несподіваним результатом є те, що структурна продуктивність була предметом, визначеним як область найбільшої потреби в дослідженні, тоді як та сама тема була оцінена як найменш важлива перешкода для більш широкого впровадження. Одним із потенційних пояснень цього очевидного протиріччя є досвід роботи більшості респондентів у галузі будівництва.

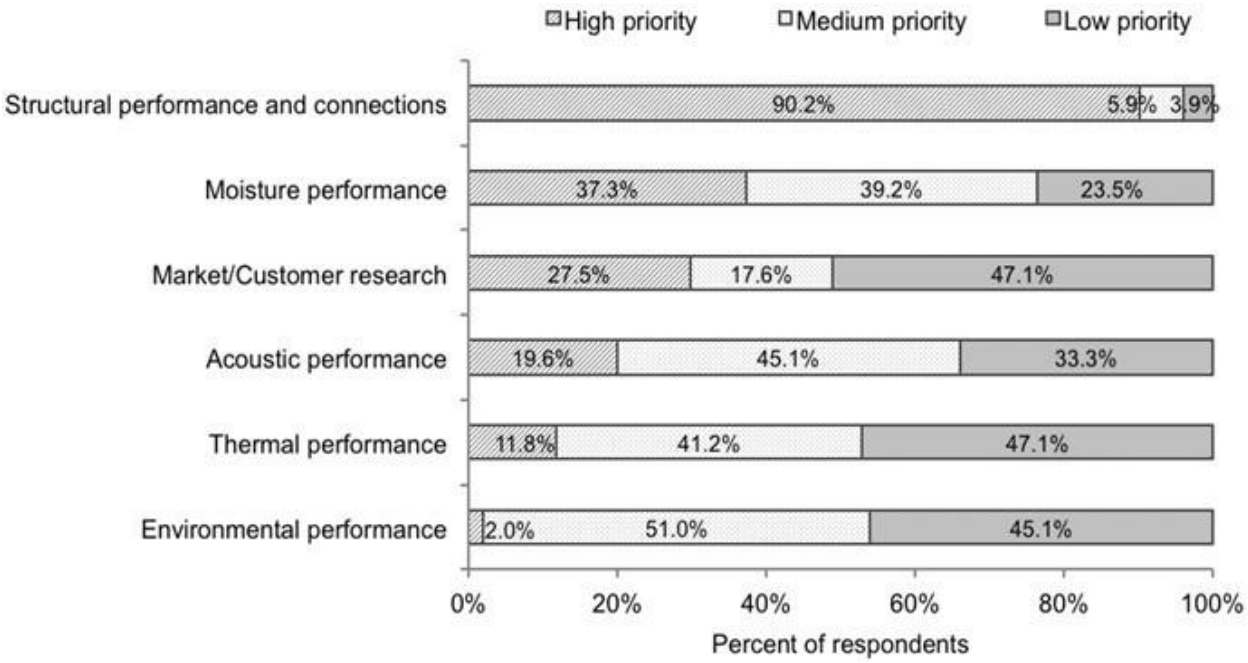

Рис. 3.3 Ранжування дослідницьких потреб. 1-е та 2-е місце: високий пріоритет; 3-й і 4-й: середній пріоритет; і 5-й і 6-й: низький пріоритет

Як і у випадку з попередніми запитаннями, учасники мали можливість додати дослідницькі потреби, які вони вважають важливими. Загалом теми дослідження запропонували 20 учасників. Кілька тем згадувалися більше одного разу та зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 Теми дослідження, запропоновані респондентами

Research Topic	Frequency
Seismic performance	6
Connections	6
Design optimization	4
Raw material (wood) issues	3
Fire resistance/safety	3
Manufacturing issues	2
Others	4

Найпоширенішими темами, які потребують дослідження, запропоновані респондентами у відкритих запитаннях, були сейсмічні характеристики, конструктивні особливості та проектування. Питання щодо сировини включали вплив напрямку волокон на спільні характеристики та використання альтернативних і місцевих видів для CLT. Серед виробничих питань були:

оптимізація різання панелей CLT з ЧПК, швидкість перфорації з'єднань і модульне виготовлення. «Інші» включали розробку будівельних систем, використання панелей CLT як балок, використання CLT для висотних будівель і довговічність.

Висновки

Незважаючи на те, що виробництво та будівництво все ще зосереджено в Європі, інтерес зростає в інших частинах світу, включаючи Австралію, Нову Зеландію, Японію та Північну Америку. Подібним чином, дослідницька діяльність щодо структурного проектування, властивостей і тестування CLT швидко зросла. У цьому дослідженні європейські експерти з лісового сектору, цивільного будівництва та досліджень висловили свої думки про:

рівень обізнаності про CLT у будівельній спільноті в Європі,

свої погляди на найбільш нагальні дослідницькі потреби для CLT та також про передбачувані перешкоди для впровадження CLT в Європі.

Респонденти вважають низьким рівень поінформованості про CLT в європейській будівельній галузі, особливо серед інженерів та архітекторів. Ці дві групи були оцінені як такі, що мають низький або дуже низький рівень обізнаності (респонденти віднесли до цих двох груп відповідно 72 і 68%). Обізнаність власників, підрядників і керівників будівельних робіт була ще нижчою.

Основними перешкодами для впровадження CLT, на думку учасників, були сумісність будівельних норм (51,0% вважали це великою перешкодою для впровадження), доступність технічної інформації (38,8%), неправильне уявлення громадськості про деревину (32,7%) та вартість (29,2%)). Наявність CLT та обсяг деревини, необхідної для її будівництва, сприймали як потенційні перешкоди 58,3% та 45,8% респондентів відповідно. Нарешті, 60,9% інженерів не вважали якість CLT як будівельного матеріалу перешкодою.

Згідно з учасниками опитування, найважливішими потребами в дослідженні були структурні характеристики та з'єднання CLT (90,2% вважали це «високим пріоритетом»), за якими йшли показники вологості (37,3%) і дослідження ринку (27,5%). Теплові (11,8%) та екологічні показники (2,0%) CLT, здається, не є першочерговою потребою дослідження для європейських інженерів з деревини.

Результати цього дослідження стосуються лише учасників через прийняту стратегію неімовірнісної вибірки. Тому не можна робити узагальнення для всієї європейської професійної спільноти CLT. Подальші дослідження включають розширення географічного охоплення на Північну Америку та інші регіони по всьому світу, а також поглиблений аналіз дослідницьких потреб, які європейські експерти вважають найбільш невідкладними.

3.2 Модернізація нормативної бази

3.2.1 Шлях формування кодексу в Північній Америці

Один із недоліків поточної системи класифікації будівництва, що використовуються в канадських будівельних нормах, полягає в тому, що термін «горюча конструкція» є загальним. Він застосовується до різних категорій будівництва, для опису конструкцій, виготовлених з горючих або дерев'яних матеріалів (наприклад, легкі дерев'яні каркасні конструкції, інженерні пиломатеріали, важкі дерев'яні конструкції або інші масивні дерев'яні системи). Важка дерев'яна конструкція визначається окремо та має мінімальні розмірні критерії, щоб досягти «45-хвилинного класу вогнестійкості». Однак ці нормативні вимоги зазвичай обмежують використання масивної деревини у будівлях з горючими конструкціями, якщо не використовівати підходи «альтернативних рішень».

У Посібнику користувача NBC 1995 року зазначено, що продукти з деревини, як правило, використовуються для малоповерхових житлових та комерційних будівель. Історія пожежних втрат показує, що будівлі з горючих

матеріалів більш вразливі до вогню, ніж негорючі матеріали, які не підтримують горіння і не розповсюджують його. Існують три основні типи конструкцій:

Горюча конструкція – має низьку вогнестійкість без додаткового захисту.

Важка дерев'яна конструкція – горюча, але має певну стійкість до руйнування під час пожежі.

Негорюча конструкція – хоча негорючі матеріали не горять, вони можуть потребувати захисту, оскільки сталь втрачає свою несучу здатність при високих температурах.

Основна різниця між горючими і негорючими конструкціями полягає в тому, що негорючі матеріали не підтримують горіння і не стають джерелом горіння. Правильний захист негорючого структурного каркаса від теплових впливів пожежі дозволяє йому зберігати свою цілісність під час пожежі, забезпечуючи безпеку для мешканців та пожежників. Проте слід враховувати, що горючі компоненти в негорючих конструкціях можуть сприяти поширенню вогню.

Важливо зазначити, що масивні дерев'яні системи, зокрема ті, що описуються в цьому звіті, не враховуються в поточних вимогах національних або провінційних будівельних норм. Масивні дерев'яні системи є унікальним типом конструкцій, зокрема масивних дерев'яних панелей, які не відповідають традиційним визначенням будівельних норм і систем класифікацій. Хоча масивні дерев'яні панелі виготовляються з горючих матеріалів, вони є конструкціями, що здатні витримувати вплив вогню, як у незахищеному вигляді, так і за наявності захисту, наприклад, термомембранами, такими як гіпсокартон.

Метою багатьох досліджень з точки зору будівельних норм є подолання бар'єрів між горючими та негорючими матеріалами у класифікаціях будівельних норм і доведення того, що високоякісну будівлю можна ефективно та економічно побудувати з масивних дерев'яних матеріалів не порушуючи основні принципи Кодексу, таких як пожежна безпека,

структурна безпека, відстані від оточуючих будівель (характеристики оболонки) та інші вимоги щодо здоров'я й доступності. З точки зору протипожежного захисту та безпеки життя основною метою досліджень є демонстрація того, що будівельні матеріали та структурні елементи, які включають масивні дерев'яні системи, забезпечують такий самий рівень ефективності та безпеки під час можливих сценаріїв пожеж (включаючи вогнестійкість вузлів і протипожежного розділення).

З точки зору будівельних норм, основною проблемою є вимога, що житлові будівлі висотою понад 6 поверхів (мова про легкі каркасні будинки), які перевищують обмеження площі забудови, повинні бути побудовані з негорючих конструкцій. Традиційно, з точки зору органу, що має юрисдикцію, будівлі висотою 12 або навіть 20 поверхів з горючими конструкціями суттєво порушують основні принципи Кодексу. Тому такі проєкти потребують підтримки з боку Департаменту ліцензій та інспекцій COV, Які розглядають пропозиції щодо альтернативних рішень, заснованих на продуктивності.

На початку 2011 року Національна дослідницька рада Канади, Канадська рада з деревини та FP Innovations створили консультаційну групу для обговорення змін у будівельних кодексах, необхідних для дозволу на будівництво вищих дерев’яних будівель. До групи увійшли дослідники, проектувальники, пожежні експерти та представники інститутів будівельних конструкцій. У березні 2011 року в Оттаві учасники дійшли висновку про необхідність змін до кодексів через появу на ринку нових матеріалів, зокрема поперечно-ламінованої деревини (CLT), яку почали впроваджувати місцеві компанії у 2010 році.

Проектувальники, пожежні експерти та дослідники відзначили, що поведінка систем з масивної деревини, таких як CLT, суттєво відрізняється від поведінки каркасів з легкої деревини, які наразі домінують на ринку багатоповерхових дерев'яних конструкцій у Канаді. Було відмічено, що структурна поведінка масивної деревини характеризується значно більшою міцністю, жорсткістю та чудовою стабільністю розмірів. Експерти з питань

пожежної безпеки пояснили ефект обвуглювання, який відрізняє масивну деревину від легких дерев'яних систем, оскільки тверда деревина горить значно повільніше.

Норми висотності та території забудови

Значна частина норм щодо висоти та площі будівель у сучасних будівельних нормах базується на історичних посиланнях та інформації, яка, можливо, була «втрачена в перекладі» і не є настільки критичною для пожежної безпеки будівель, як це було раніше ,так би мовити історична тяглість. Наприклад, висота будівель для горючих конструкцій часто пов'язувалась з максимальною висотою, яку могла досягти пожежна драбина, або здатністю пожежних тушити будівлю відповідно до тиску потоку води в шлангах. З появою автоматичного спринклерного захисту в сучасних будівлях обмеження висоти будівель вже не є настільки критичним.

Висота будівель для горючих конструкцій була обмежена до 2-3 поверхів для більшості класифікацій розміщення до 1990-х років, потім національні та провінційні будівельні норми були змінені, щоб дозволити 4-поверхові дерев’яні конструкції для житлових та офісних приміщень. Цю фундаментальну зміну було внесено, визнаючи переваги автоматичних спринклерних систем для контролю пожеж у пожежних відсіках будівель, а також для захисту шляхів евакуації. Подібні міркування були використані при розробці зміни 2009 року в провінції Британська Колумбія, що дозволила 6-поверхове житлове будівництво з дерев’яним каркасом.

В контексті проектування висотних дерев’яних будівель, пропонувалося зменшити площу будівлі (приблизно 500 м^2) щоб бути «автономною» (йдеться про пілотний проєкт). Вежа буде просторово відокремлена від суміжних об’єктів, що знижує ризик поширення вогню.

Однак Масивні дерев’яні системи успішно застосовуються для великих будівель у Європі, таких як офісні, торгові та складські приміщення. Це свідчить про те, що такі конструкції не слід обмежувати за площею, висотою чи класифікацією, якщо забезпечено прийнятний рівень експлуатаційних

характеристик відповідно до проєктних умов, включно з належним захистом прилеглих об'єктів від пожеж. Такий підхід дозволяє максимально ефективно використовувати площу забудови, зберігаючи безпеку та функціональність будівлі.

У посібнику користувача NBC 1995 зазначено: «Висотні будівлі мають певну групу критеріїв, які відрізняють її від нижчих будівель:

Забезпечити безпечну евакуацію мешканців зкожного поверху будівлі, підтримуючи цілісність зайнятих конструкцій під час пожежі.

Підтримувати належні умови шляхів евакуації або зон яких вони залишаються, очікуючи допомоги для евакуації.

Підтримувати належні умови в ліфтах (пожежних)— для евакуації постраждалих або людей з обмеженими можливостями.

Ці критерії мають на меті створити безпечні умови для мешканців, які можуть знаходитись на високих поверхах, та для пожежників, що надають допомогу під час евакуації.

Сучасні будівлі, досягають високих стандартів безпеки завдяки встановленню автоматичних спринклерних систем. Це забезпечує швидкео виявлення, активації та придушення пожежі на ранніх стадіях, що дозволяє контролювати ситуацію та зменшити утворення диму, який може вплинути на мешканців суміжних «незайнятих» відсіків будівлі.

Оскільки евакуація з висотної будівлі займає значний час, мешканці повинні бути захищені від впливу диму, поки вони не покинуть будівлю або поки пожежа не буде ліквідована. Високі будівлі мають специфічні вимоги до характеристик димовиділення поверхонь, таких як стіни, стелі та підлоги, регулюючи їх максимальну димність. Ці обмеження застосовуються, якщо будівля не оснащена спринклерами.

Таким чином, у будівлях із спринклерними системами поширення полум’я та характеристики утворення диму пом’якшуються завдяки здатності спринклерних систем швидко виявляти, контролювати та придушувати

пожежу, що запобігає значному горінню поверхневих матеріалів і зайняття в пожежному відсіку.

Міжнародний погляд на регулювання висоти будівель

По всьому світу є численні приклади завершених, реалізованих чи запроектованих будівель із масивними дерев'яними конструкціями. Більшість з цих проектів пов'язані з технологією виробництва в країнах ЄС (Австрія, Німеччина, Італія, Швеція, Великобританія). Одним з найбільш відомих прикладів є проект Stadhaus/Murray Grove у Лондоні, який представляє 9-поверхову дерев'яну будівлю (вищу за 18 м), що має бетонний подіум на першому поверсі та 8 поверхів з панелей CLT. Ці панелі облицьовані гіпсокартоном і використовуються для горизонтальних і вертикальних структурних систем, включаючи вертикальні шахти.

Цікаво відзначити, що панелі CLT, навіть без гіпсокартонної оболонки, здатні досягти необхідного рівня вогнестійкості (90 хвилин), що вимагається місцевими будівельними нормами. Гіпсокартон в проекті був встановлений в основному з маркетингових міркувань. Водночас проект Stadhaus досягнув необхідного рівня безпеки без встановлення автоматичних спринклерних систем на поверхах, що є суттєвим відмінністю від канадських норм, де для будівель такої висоти зазвичай вимагається повне покриття водою.

Інші проекти високих будівель з використанням масивних дерев'яних або комбінованих дерев'яних/бетонних/сталевих конструкцій наразі розробляються в таких країнах, як Австрія, Норвегія, Австралія, а також у Канаді.

3.2.2 Державні будівельні норми

Українська нормативна база не має норм щодо проектування окремо залізобетонних , металевих чи то дерев’яних будівель. Проте існують вимоги щодо конструкцій , їхньої міцності, стійкості, пожежної безпеки.

В Україні існує певна практика, якщо з якихось причин не вдається виконувати ті чи інші норми чи вимоги, такі питання вирішуються науково технічною радою при «Мінрегінбуді», коли при неможливості виконання певних вимог виконуються компенсаційні заходи, але кожного разу це тривала і витратна процедура.

Для розвитку і популяризації CLT технологій необхідні подальші дослідження, розробка пілотних проектів, тестування систем, винаходів експериментальне впровадження проектів і відповідно розробка методичних рекомендацій, за необхідності нормативнихдокументів чи внесення змін до існуючих.

3.3 Пожежна безпека, конструкційна стійкість (довіра до матеріалу), опорядження та захист конструкцій.

3.3.1 Визначення терміну «масивна деревина»

Масивна деревина — це назва для різних типів інженерної деревини, які можуть використовуватись як конструкційні будівельні матеріали.

Масивна деревина відрізняється від традиційних пиломатеріалів для каркасних конструкцій завдяки використанню великих дерев'яних панелей, виготовлених зі шарів деревини, що склеюються разом. Ці панелі можуть досягати розмірів до 20 м на 2,4 м.

Ці продукти мають значні переваги порівняно з легким каркасним будівництвом, зокрема в аспектах вогнезахисту, акустичних характеристик, структурної міцності, стабільності матеріалу та ефективності конструкції. Освітлення громадськості про різницю між дерев'яними шпильками та масовою деревиною є важливим кроком для популяризації цих технологій на ринку.

Розроблені для комерційного використання в Європі в кінці 1980-х років, ці матеріали швидко набирають популярності як альтернатива вуглецеємким

бетону та сталі, оскільки, на відміну від звичайної деревини, можуть використовуватись для будівництва високих будівель.

Масивна деревина також дозволяє здійснювати швидшу, чистішу збірку на майданчику та є легшою за традиційні будівельні матеріали.

Продукти з масивної деревини складаються з шарів деревини, з'єднаних разом для утворення міцних панелей або балок. Ці матеріали зазвичай виготовляються на фабриках і інженерно налаштовуються відповідно до точних специфікацій.

Деревина — це відновлювальний матеріал, здатний утримувати великі кількості CO2, оскільки вуглець, який дерева поглинають з атмосфери протягом свого життя, зберігається в деревині.

У результаті цей матеріал все частіше використовується для зменшення вуглецевого сліду будівель, за умови, що деревина збирається сталим способом. Це передбачає заміну вирубаних лісів новими деревами, які повинні рости достатньо довго, щоб відновити втрачену біомасу.

Glued laminated timber (glulam)

Клеєний брус, є типом масової деревини, який часто використовується для конструкційних елементів.

Він побудований з шарів деревини, які всі орієнтовані в одному напрямку. Це означає, що великі елементи конструкції можна виготовляти з менших шматків деревини.

Конструктивні елементи можуть бути виготовлені у вигляді прямих відрізків для балок і колон або у вигляді вигнутих частин, які можна використовувати для формування арочних конструкцій. Клеєний брус зазвичай виготовляють з ялиці , модрини , дуба або ялини .

Cross-laminated timber (CLT)

Перехресно-ламінована деревина (ПКД) є найвідомішим і найбільш часто використовуваним типом масивної деревини.

Цей матеріал, який часто називають суперфанерою, являє собою панель, виготовлену шляхом склеювання шарів деревини під прямим кутом один до одного. Це надає їй зовнішній вигляд, подібний до фанери , але з набагато товщими шарами .

Завдяки розташуванню шарів конструктивні панелі CLT мають структурну жорсткість у двох напрямках. Панелі, які розрізають до потрібного розміру перед складанням на місці, можна використовувати для створення структурних стін, а також підлог у багатоповерхових будинках.

CLT зазвичай виготовляється з модрини, ялини або сосни .

Dowel-laminated timber (DLT)

Ламінована деревина, також відома як DowelLam або DLT, є типом масивної деревини, виготовленої повністю з деревини. Панелі DLT виготовлені з шарів хвойної деревини, які з'єднані дюбелями (шкантами) з деревини листяних порід.

Панелі використовуються подібно до CLT і часто використовуються для будівництва підлог і настилів даху. Прихильники DLT стверджують, що його виробництво швидше ,дешевше і екологічніше ніж CLT, оскільки немає необхідності в склеюванні.

111 East Grand (на рис.3.4) від Neumann Monson Architects була першою багатоповерховою офісною будівлею в Північній Америці, де використовували панелі DLT, які поєднувалися з колонами з клеєного бруса.

Рис. 3.4

Laminated veneer lumber (LVL)

Клеєний пиломатеріал (LVL) — це різновид масивної деревини, виготовленої з тонких шарів, або шпону.

Шпон, створений шляхом тонкого нарізання деревини під дією тепла та тиску, орієнтований в одному напрямку, подібно до клеєного бруса. Це означає, що матеріал часто використовується для виготовлення балок і колон, подібно до клеєного бруса.

Британський меблевий бренд Vitsœ використав LVL для створення своєї штаб-квартири та виробничих потужностей в англійському місті Роял-Лімінгтон-Спа (на рис. 3.5). Компанія стверджувала, що цей заклад був першим у Великій Британії, який мав каркас із LVL.

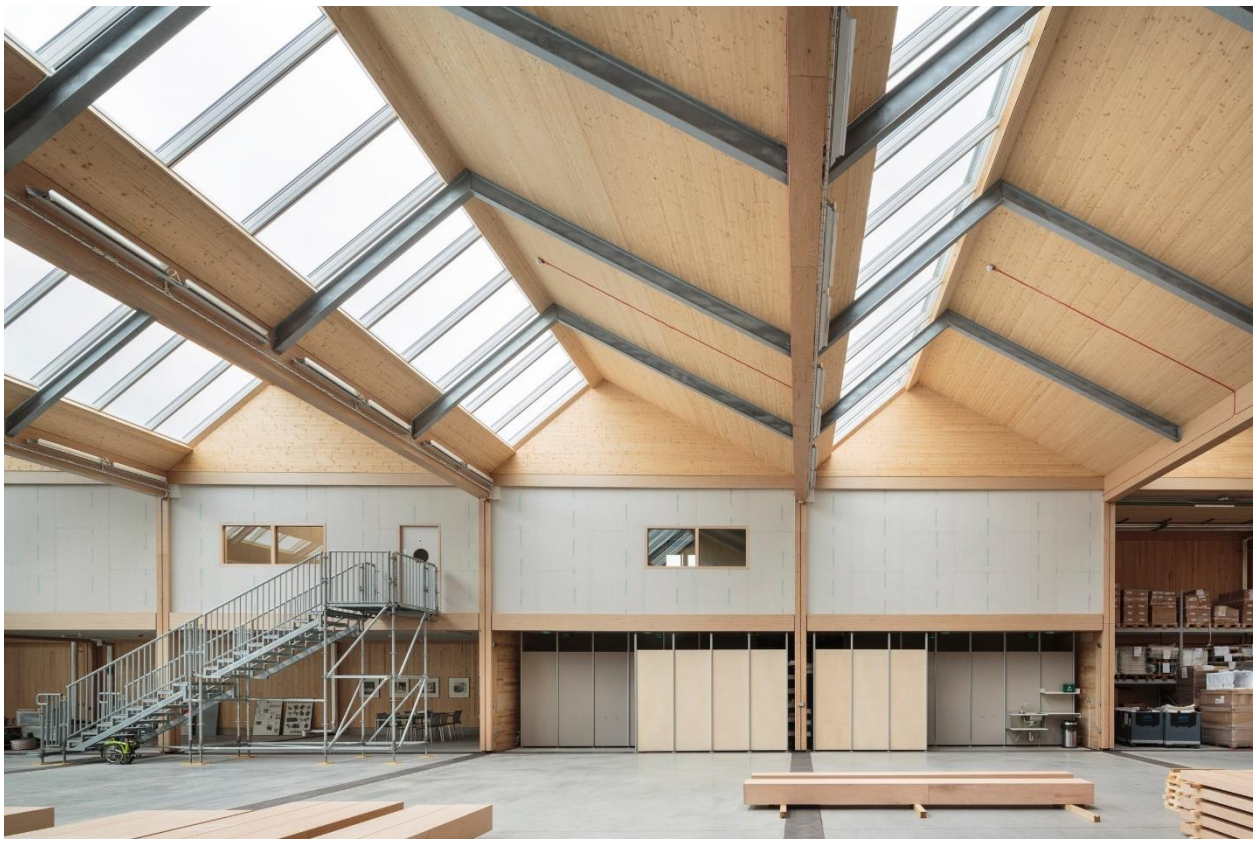

Рис. 3.5

Parallel-strand lumber (PSL)

Як випливає з назви, паралельно-стругова деревина (PSL) — це тип масивної деревини, виготовленої з паралельних волокон деревини, з'єднаних клеєм.

Довгі тонкі волокна деревини склеюються під високим тиском для створення високоміцного матеріалу, який зазвичай використовується для балок або колон з великим прольотом, які повинні нести велику вагу. Деревина, яка використовується для створення PSL, включає ялицю, сосну та болиголов.

Gray Organschi Architecture та Єльський центр екосистем в архітектурі використали PSL для створення автономного крихітного будинку за підтримки ООН. Конструкція складається з паралельних брусових стовпів, балок з ламінованого бруса та перехресно ламінованих дерев'яних стін.

3.3.2 Принципи забезпечення захисту (опорядження) масивної деревини і конструкцій.

Розглянемо рекомендації і підходи у забезпеченні пожежної безпеки на прикладі Технічного посібника з проектування та будівництва високих дерев’яних будівель у Канаді, друге видання 2022р. (Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada - SP-543E-2022)

Масивні дерев’яні будівлі суттєво відрізняються від каркасних завдяки підвищеній вогнестійкості, обумовленій властивостями твердих дерев’яних панелей, які можуть протистояти вогню без додаткових захисних мембран. Правильно спроєктовані масивні дерев'яні конструкції не створюють прихованих горючих порожнин, що є проблемою для легких каркасних систем.

Окрім типових «активних» систем протипожежного захисту, таких як спринклерний захист, наявність пожежного ліфта, аварійного генератора, системи пожежної сигналізації та захисту аварійних електричних мереж, існують два ключових «пасивних» підходи для забезпечення необхідного рівня протипожежного захисту дерев’яних будівель.

Як елементи захисту будівель також розглядається важливість функціональних і нормативних вимог для запобігання поширенню пожежі та забезпечення захисту будівлі й людей. Ці вимоги визначають ступінь вогнестійкості будівельних матеріалів, з'єднань та конструктивних елементів, необхідних для протипожежного захисту. Вони також спрямовані на запобігання обвалу конструкцій, що може становити загрозу для мешканців.

У текстах методичних рекомендацій наведено вимоги до негорючих конструкцій залежно від типу приміщень, їх розміру, розташування та призначення. Основна мета цих вимог — забезпечити безпеку людей, надавши їм час для евакуації та початку гасіння пожежі до можливого обвалу конструкцій. Дослідження підтверджує, що висотні будівлі з дерев'яними

конструкціями можуть відповідати вимогам вогнестійкості та пожежної безпеки, визначеним функціональними та нормативними стандартами.

Для забезпечення пожежних вимог розглядаються два методи оцінки протипожежних характеристик дерев'яних конструкцій. "обвуглювання" та "інкапсуляція" використовуються для забезпечення вогнестійкості дерев'яних панелей.

"Обвуглювання"- передбачає застосування дерев'яних панелей без будь-яких захистів всередині будівлі, під час якого дерево перетворюється на шар вугілля, що забезпечує затримку проникнення тепла. Однак цей підхід потребує подальших досліджень і розробок, перш ніж його можна буде використовувати на високих будівлях.

"Інкапсуляція"- передбачає покриття панелей звичайними мембранними матеріалами, такими як гіпсокартон, для забезпечення вогнестійкості. У короткостроковій перспективі використання систем з відкритих дерев'яних конструкцій буде обмеженим, а більшість систем будуть інкапсульовані або захищені вогнестійкими матеріалами.

Каркасні конструкції з легких деревини швидко піддаються руйнуванню під час пожежі, тому їх захищають вогнестійкою мембраною, наприклад, гіпсокартоном.

Конструкції з важкої деревини мають більшу вогнестійкість, оскільки вони формують шар вугілля, що затримує проникнення тепла. Важливо враховувати швидкість обвуглювання дерев'яних елементів, щоб забезпечити їх достатню вогнестійкість.

Ступінь вогнестійкості великогабаритних дерев'яних елементів визначається на основі мінімальної товщини та залишкової товщини деревини, що піддається обвуглюванню. Цей метод дозволяє створювати дерев’яні будівлі з унікальним дизайном, хоча може вимагати суворіших вимог і погоджень регулюючих органів.

Будівництво з масивної деревини має значні протипожежні переваги, оскільки деревина здатна витримувати навантаження навіть під час пожежі. Проте критично важливо уникати утворення прихованих горючих просторів під дерев’яними панелями перекриттів. Це можна вирішити шляхом гіпсокартонного облицювання або встановлення автоматичних спринклерних систем.

Структурна конструкція і здатність обвуглювання важкої деревини

Відомо, що масивні дерев'яні елементи, пошкоджені вогнем, зберігають структурну міцність у необвугленому залишковому перерізі, тоді як обвуглена частина вважається непридатною для несення навантажень. На основі цього принципу важкі дерев'яні конструкції можуть проектуватися із так званим «жертовним» шаром, який виконує функцію вогнезахисного бар’єра.

Рис. 3.6

Товщина цього шару визначається, враховуючи випробувані швидкості обвуглювання, що дозволяє забезпечити необхідний рівень вогнестійкості,

запобігти обвалу конструкцій і надати достатньо часу для евакуації мешканців. Якщо жертовний шар повністю згорить, але залишкова деревина здатна витримати навантаження, конструкція відповідатиме вимогам пожежної безпеки та структурної стабільності.

Зазначається, що вогнестійкість масивних дерев’яних конструкцій із мінімально визначеними розмірами є еквівалентною або навіть кращою, ніж у конструкцій із заявленою 1-годинною вогнестійкістю. Дослідження також показують, що при температурі займання деревини (~350°C) конструкційна сталь починає втрачати міцність, а при критичній температурі 550°C її міцність знижується до 60% від початкового значення, зі зростаючим ослабленням при подальшому нагріванні.

Таким чином, зроблено висновок, що масивні дерев'яні бруси та інші важкі дерев'яні елементи можуть демонструвати аналогічну або навіть вищу ефективність порівняно з конструкційною сталлю в умовах пожежі.

Оцінка вогнестійкості та зонування

Вогнестійкість — це здатність будівельної конструкції або матеріалу протистояти впливу тепла та вогню протягом певного часу за стандартних умов випробування. Для несучих конструкцій важливо, щоб вони могли зберігати свою здатність витримувати навантаження без руйнування або надмірного прогину. У випадку не несучих конструкцій вогнестійкість визначається їхньою здатністю непоширення вогню, зберігати цілісність і залишатися самонесучими.

Забезпечення вогнестійкості конструкцій дозволяє стримувати поширення пожежі, що дає мешканцям час для евакуації, а пожежникам — можливість ефективно боротися з вогнем та локалізовувати осередки пожежі.

Випробування масивних дерев'яних конструкцій є ключовим для отримання технічних даних і впевненості в застосуванні цієї технології. До отримання таких даних можуть бути використані аналітичні методи, зокрема розрахунок швидкості обвуглювання в поєднанні з динамічним структурним аналізом під час пожежі та комп'ютеризоване моделювання.

Швидкість обвуглювання дерев’яних елементів залежить від типу деревини, її щільності, використаних клеїв, конструктивних навантажень та характеристик вогню.

Дерев'яні елементи піддаються обвуглюванню з вимірюваною швидкістю 0,65 мм/хв (для CLT і LSL) і 0,635 мм/хв (для клеєних елементів). Додаткова «зона піролізу» вважається такою, що забезпечує незначний опір навантаженню - вона приймається 7 мм, 10 мм і 16 мм для клеєних, підлогових і стінових панелей відповідно.

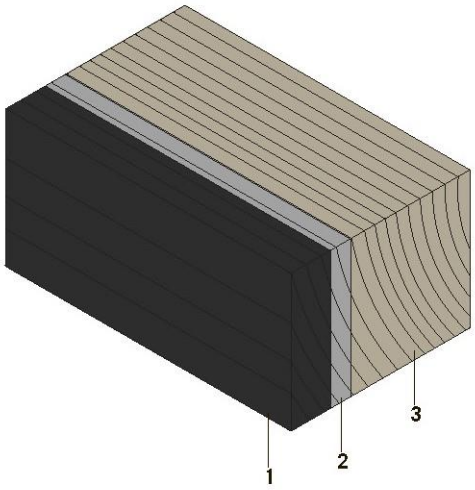

Рис. 3.7

1-жертовний шар

2- зона піролізу

3- несуча деревина

Проєктуваня висотних будівель з деревини також передбачає поділ будівлі на **малі житлові «пожежні відсіки»,** що обмежують поширення вогню. У кожному відсіку буде встановлено автоматичні спринклерні системи швидкого реагування, що значно знижує ймовірність розвитку пожежі за межами відсіку. Такий підхід відповідає вимогам Кодексу, і спрямований на обмеження пошкоджень і ризиків для мешканців шляхом локалізації пожежі.

Протипожежний захист відсіків та контроль поширення диму

Вогнестійкі вузли ефективно стримують тепло та полум’я між відсіками, але не враховують поширення диму та токсичних газів. Оскільки важка деревина залишається горючим матеріалом, під час пожежі виділятимуться дим та тепло. Особливу небезпеку становлять евакуаційні коридори та шахти, де дим

і токсичні гази можуть загрожувати безпеці мешканців. Тому ці зони захищаються негорючими матеріалами, як-от гіпсокартоном, відповідно до вимог будівельних норм.

Поширення полум’я та диму регулюється коефіцієнтами **Flame Spread Rating (FSR)** та **Smoke Development Classification (SDC)**. Ці показники стосуються внутрішньої обробки, що включає підлоги, стіни, стелі та елементи декору (наприклад, облицювання, двері, світильники). Внутрішні оздоблювальні матеріали часто мають тонку поверхню, яка може становити підвищену пожежну небезпеку.

Масивні дерев'яні конструкції відрізняються меншою схильністю до поверхневого горіння через їхню товщину та щільність. Для висотних будівель із автоматичними спринклерними системами, як зазначено в Кодексі, допускаються пом’якшені вимоги щодо FSR та SDC. Відкриті дерев’яні поверхні не потребують додаткової вогнезахисної обробки, оскільки спринклери забезпечують ефективний захист.

Важливо відзначити, що масивна деревина не підтримує поверхневе горіння так інтенсивно, як тонкі оздоблювальні матеріали. Завдяки цьому масивні дерев’яні панелі є безпечнішими у пожежному відношенні навіть без додаткової хімічної обробки.

3.3.3 Інкапсуляція

Підхід до забезпечення пожежної ефективності масивних дерев'яних вузлів полягає в застосуванні методів герметизації, подібних до стандартних методів будівництва для пожежобезпечних підлог, дахів та стін як у горючих, так і в негорючих будівлях. Цей метод є реальним і відповідає вимогам Кодексу для дизайнерів, будівельників і контролюючих органів. Він передбачає захист масивних дерев'яних елементів двома шарами вогнестійкого гіпсокартону в кожному відсіку та по всій будівлі (Рис 3.6).

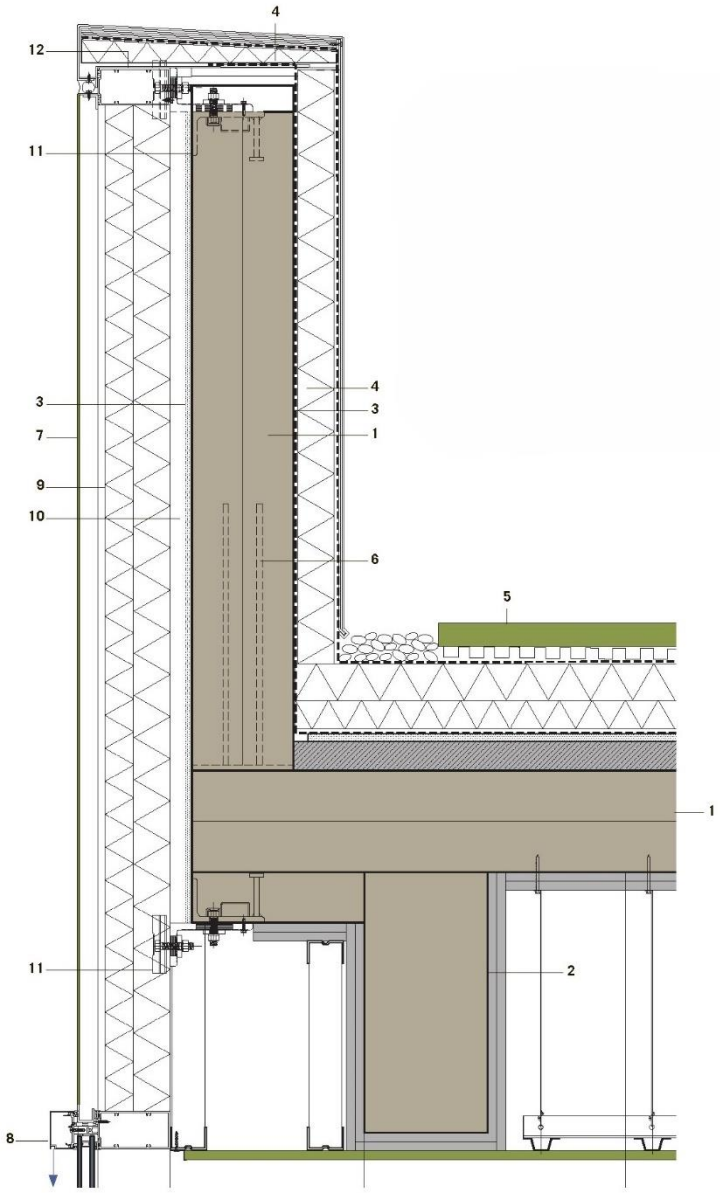

Рис. 3.8

Підхід інкапсуляції включає встановлення двох шарів гіпсокартону взаємо-поперечного монтажу товщиною 16 мм безпосередньо на поверхні дерев'яних конструкцій із використанням надійних кріплень (наприклад, гвинтів), що забезпечують стійкість до зносу та висмикування під час пожежі. Очікується, що такі конструкції підлог і стін досягатимуть необхідного рівня вогнестійкості протягом 2 годин.

Як і у випадку з типовою гіпсокартонною обробкою, шари плит будуть з'єднуватися в шаховому порядку, забезпечуючи надійний безперервний тепловий захист для дерев'яних основ. Серед основних переваг цього підходу — відсутність горючих пустот або прихованих просторів у масиві дерев'яних конструкцій завдяки покриттю всіх поверхонь гіпсокартоном в стельових просторах, шахтах тощо.

Гіпсокартонні поверхні також можуть виконувати роль внутрішнього оздоблення для приміщень (зокрема для підвісних стель без перепадів і облицювання стін). Важливо, щоб власники будівель мали чіткі інструкції, щоб уникнути зміни або пошкодження оздоблення стель/стін у приміщеннях.

У зонах з підвісними стелями (відповідно до проектних рішень), де є простір для електричних, механічних та сантехнічних мереж, слід уникати отворів або

проходів у вогнестійкій масивній дерев'яній системі. У таких зонах горизонтальна дерев'яна панель буде захищена мембраною з гіпсокартону або оснащена спринклерним захистом.

Такі підходи до вогнестійкої масивної деревини застосовуються до всіх внутрішніх і зовнішніх несучих конструкцій будівлі, включаючи підлогу, несучі стіни, колони, балки, що несуть навантаження.

Використання підходу інкапсуляції для оцінки вогнестійкості масової деревини передбачає захист з'єднувальних елементів всередині захищених вузлів або деревних матеріалів. Однак, коли з'єднувальні елементи є відкритими або вразливими до впливу вогню, що може вплинути на їх критичну несучу здатність, для таких елементів потрібен додатковий вогнезахист. Це може бути досягнуто за допомогою спінюючихся покриттів або інших вогнезахисних матеріалів.

Для будь-якого з підходів до захисту масивної деревини (обвуглювання або інкапсуляція) пропонується покращена конструкція спринклерної системи. Це забезпечить надійну систему автоматичного пожежогасіння в будівлі.

А вдосконалення цих системи для будівлі спрямовані на забезпечення повноти та високої надійності автоматичного пожежогасіння в усій будівлі. Це мінімізує потенційний вплив пожежі на масивні дерев'яні системи завдяки ефективному охолодженню та перевагам автоматичного спринклерного захисту.

3.3.4 Обвуглювання

Проектний підхід до забезпечення пожежної безпеки та вогнестійкості дерев'яних конструкцій — це аналіз "швидкості спалювання" або «обвуглювання». За допомогою цього методу масивні дерев'яні панелі можуть бути використані як частково або повністю відкриті елементи в проектуванні будівлі. Методологія розрахунку включає визначення швидкості обвуглювання та подальшого зниження структурної ємності для визначення

необхідної глибини/товщини деревини для досягнення потрібного рівня вогнестійкості.

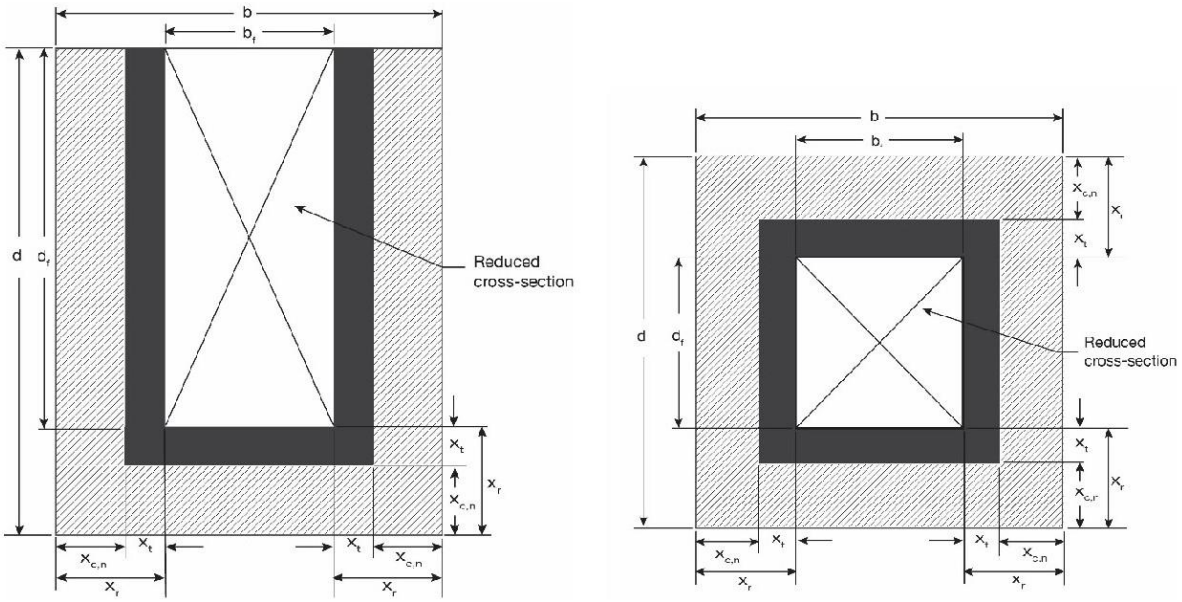

Рис. 3.9

Хоч цей метод і сприяє популяризації виразного дерев'яного дизайну в високих дерев'яних будівлях , проте має окремо узгоджуватись з органами пожежного нагляду та вимагати більш детальних перевірок з боку органів сертифікації через його "розрахунковий" характер, що включає методи детального розрахунку, моделювання пожежі та інші фактори.

Житлові будинки висотою понад 18 м класифікуються в Канаді як "висотні будівлі" відповідно до вимог Кодексу, що вимагає забезпечення мінімум 2 годин вогнестійкості для підлогових та несучих стінових вузлів, а також **повного спринклерного захисту**.

Кодекс, як зазначено у цьому звіті та використаний для розробки альтернативних рішень, визначає основні цілі: "обмеження тяжкості наслідків пожежі" для захисту осіб у будівлі та "пожежний захист будівлі". Ці ключові критерії ефективності мають бути основою для розвитку та вдосконалення традиційної класифікації матеріалів Кодексу, що розрізняє горючі й негорючі конструкції. Замість цього, Кодекс має переходити до сучасного підходу, що

враховує всі базові матеріали конструкції (бетон, сталь, дерево тощо) на рівних умовах.

Основні принципи протипожежного захисту та безпеки для житлового будинку висотою понад 18 м можна визначити наступним чином:

- Всі вузли підлоги та несучі елементи повинні мати вогнестійкість мінімум 2 години.
- Будівля має бути спроектована для обмеження інтенсивності та наслідків пожежі чи вибухів.
- Проектування будівлі повинно мінімізувати ймовірність травмування людей внаслідок пожежі за межами місця її виникнення.
- Потрібно обмежити ймовірність пошкодження будівлі внаслідок пожежі за межами її початкової зони.
- Забезпечити безпеку мешканців шляхом підтримання стійкості займаних площ під час надзвичайних ситуацій та організації швидкої евакуації.
- Підтримувати безпечні умови на шляхах евакуації і в приміщеннях, де мешканці можуть перебувати під час евакуації.
- Забезпечити належні умови в ліфтах для транспортування пожежників і техніки, а також для евакуації поранених чи осіб з обмеженими можливостями.

Цей тип «об’єктивної» мови може служити основою для подальших пропозицій щодо змін до Кодексу Національного дослідницького центру Канади, щоб дозволити використання різних матеріалів у проектах, зокрема можливе застосування масових дерев'яних конструкцій для висотних будівель.

Важливо зазначити, що висотний житловий будинок можна спроектувати та побудувати відповідно до вимог Національного будівельного кодексу Канади, на основі принципу «забезпечення вимог (результату)», незалежно від того, чи використовується бетон, сталь чи масивна деревина.

Водночас зазначається, що необхідно провести додаткові дослідження для перевірки потенціалу масових дерев'яних конструкцій як кінцевого рішення для сталого розвитку проектування.

Для незахищених дерев’яних панелей, що використовуються в конструкціях з обвуглюванням, існує ризик часткового згоряння в протипожежному відсіку, що може призвести до великої кількості диму, загрожуючи мешканцям під час евакуації. Це стосується житлових приміщень, де відкриті дерев’яні елементи можуть спричинити поширення пожежі.

Для покращення виявлення пожежі можна використовувати детектори диму в кожному житловому приміщенні, які виконуватимуть подвійну функцію: спочатку вони будуть сигналізувати про пожежу лише в межах приміщення, а потім, через 5 хвилин, активувати сигнал тривоги на загальній панелі пожежної сигналізації будівлі. Ці детектори також можуть ініціювати сигнал для пожежної частини, щоб відповідно реагувати на ситуацію.

Такі детектори, що належать до «адресного» типу, дозволяють точно визначити місце початку пожежі, що допомагає пожежникам дістатися до місця загоряння як найшвидше.

Аналіз коду

З точки зору будівельних норм, основна увага приділяється визначенню та забезпеченню еквівалентного рівня вогнестійкості для висотних дерев’яних будівель, побудованих за технологією масивної деревини, порівняно з типовими багатоквартирними будинками з залізобетонною конструкцією. Зазначається, що підхід масових дерев’яних систем може бути застосований також до інших висотних будівель, таких як офісні та змішані будівлі з різними функціями (житловими, робочими, торговими).

Різноманітне функціональне призначення будівель не змінить принципових технічних підходів до відповідності будівельним нормам, але передбачатиме інтеграцію додаткових заходів протипожежного захисту та безпеки, що враховують конкретні ризики для кожного типу приміщення.

3.3.5 Вітчизняні норми забезпечення пожежного захисту.

Головна задача протипожежного захисту полягає у забезпеченні відповідності технічних рішень вимогам будівельних норм. Окрім цього, важливими аспектами є візуальні параметри, довговічність, екологічна безпека та вплив матеріалів на здоров'я. У випадку дерев'яних конструкцій основною причиною втрати несучої здатності під час пожежі є зменшення поперечного перерізу через обвуглювання деревини.

Основним нормативним документом, який регламентує зведення висотних будівель, є ДБН В.2.2-15:2019. У пункті 8.2 цього документа наведена таблиця 3, згідно з якою поверховість будівель залежить від ступеня їх вогнестійкості. Для будівель вище 5 поверхів необхідно забезпечити I, II або III ступінь вогнестійкості.

Визначення ступеня вогнестійкості регламентується ДБН В.1.1-7:2016. У таблиці 1 пункту 5.3 зазначено, що клас вогнестійкості основних несучих конструкцій визначає ступінь вогнестійкості будівель і споруд. Таким чином, досягнення відповідного класу вогнестійкості основних несучих елементів є ключем до забезпечення необхідного ступеня вогнестійкості для висотного будівництва.

Наприклад, для будівель III ступеня вогнестійкості основні несучі конструкції мають відповідати таким класам вогнестійкості:

Несучі стіни та стіни сходових кліток – REI 120,

Колони – R 120,

Міжповерхові перекриття – REI 45.

Окрім цього, вимоги регламентують використання будівельних конструкцій з певними характеристиками за межею поширення вогню. Для вертикальних елементів (колони, стіни) у будівлях III ступеня вогнестійкості необхідно застосовувати конструкції групи М0. Класифікація матеріалів за поширенням вогню визначається згідно з додатком Д ДБН В.1.1-7:2016.

Наведені вимоги підкреслюють актуальність розробки державних норм для проєктування висотних будівель із клеєної деревини (КД) та панелей із перехресно-клеєної деревини (ПКД). Такі норми мають враховувати національні традиції проєктування, кліматичні умови, сировинну базу деревини та особливості конструктивних рішень. Це дозволить забезпечити відповідність сучасним вимогам безпеки та сприяти ширшому впровадженню дерев’яних конструкцій у висотному будівництві.

Результати чисельного аналізу наведеного у науковій статті [1] свідчать, що забезпечення вогнестійкості 120 хвилин для колони з клеєної деревини є досяжним шляхом збільшення її поперечного перерізу приблизно на 25%. Такий підхід підтверджує можливість дотримання вимог вогнестійкості без необхідності суттєвих змін у конструктивних рішеннях.

Аналогічні дослідження для інших елементів, таких як стіни з панелей із поперечно-клеєної деревини або балки з клеєної деревини, демонструють, що забезпечення необхідної вогнестійкості також досягається збільшенням перерізу. У найгірших сценаріях впливу вогню збільшення поперечного перерізу становить до 25%.

Враховуючи конструктивні особливості дерев'яних елементів, а також той факт, що аналіз проводився для чотирибічного впливу вогню (рідкісний і екстремальний сценарій), подібне збільшення перерізу не є критичним і відповідає допустимим межам коефіцієнтів надійності.

Отже аналітичний аналіз, проведений за методикою, наведеною в ДСТУ-Н-П Б В.2.6-157, підтвердив можливість забезпечення вогнестійкості 120 хв для вертикальних несучих конструкцій із цільної та клеєної деревини. Це свідчить про реальність зведення будівель III, II та I ступеня вогнестійкості, що, у свою чергу, відкриває перспективи для будівництва споруд висотою понад 5 поверхів.

Доведення вогнестійкості таких конструкцій демонструє їхню відповідність сучасним нормативним вимогам і підкреслює потенціал деревини як матеріалу для середньо- та багатоповерхового будівництва.

Для зведення висотних будівель (5 поверхів і більше) із цільної, клеєної та поперечно-клеєної деревини необхідно забезпечити їх відповідність I, II або III ступеню вогнестійкості. Окрім забезпечення класу вогнестійкості конструкцій, важливо гарантувати відповідність групі конструкційного матеріалу за межею поширення вогню. Це досягається шляхом проведення випробувань відповідно до вимог додатку Д.

Проблеми забезпечення вогнестійкості конструкцій із деревини вирішуються також такими методами: обробка антипіренами, використання спеціальних вогнестійких покриттів (аналогічно до металевих конструкцій), а також облицювання негорючими матеріалами.

3.3.6 Антипірени, опоряджувальні матеріали, методи захисту

Основна проблема впровадження протипожежного захисту дерев'яних конструкцій полягає в тому, щоб запропоновані технічні рішення відповідали будівельним нормам. Важливими аспектами є також естетичні характеристики, довговічність покриттів, вплив на здоров'я та екологічна безпека.

Проблему вогнестійкості масивної, клеєної та поперечно-клеєної деревини (CLT) вирішують за допомогою антипіренів, спеціальних вогнестійких фарб і облицювання негорючими матеріалами.

Захист деревини антипіренами полягає в її обробці хімічними речовинами, які знижують займистість і сповільнюють поширення вогню. Основні принципи цього захисту включають кілька ключових моментів: зниження займистості, створення захисного шару та зменшення поширення вогню.

Антипірени — це хімічні речовини, які уповільнюють горіння або запобігають займання деревини. Вони діють через кілька механізмів:

Утворення захисної негорючої плівки, що перешкоджає доступу кисню.

Поглинання тепла, що знижує температуру матеріалу і запобігає загорянню.

Виділення газів, які витісняють кисень з поверхні деревини та сповільнюють процес горіння.

Розрізняють :

Фосфатні антипірени-містять солі фосфору, які при нагріванні утворюють вогнестійкий шар (наприклад, діамонійфосфат).

Борати: знижують горючість деревини і виконують біозахисну функцію.

Амонійні солі: сприяють виділенню негорючих газів та знижують займистість.

Галогеновмісні антипірени: уповільнюють горіння через хімічну реакцію з вільними радикалами.

Способи нанесення антипіренів:

Поверхневе просочення: нанесення розчинів або лаків на поверхню деревини. Використовується для тимчасового захисту.

Глибоке просочення (імпрегнація): деревина занурюється в антипіреновий розчин під тиском або вакуумом для глибшого проникнення речовини.

Фарбування або покриття: застосування спеціальних фарб чи лаків з антипіренами, що утворюють захисний шар.

Деякі антипірени мають низьку стійкість до вологи, що знижує їх ефективність, особливо при використанні на зовнішніх конструкціях. З часом ефективність антипіренів може зменшуватися під впливом зовнішніх факторів, таких як волога та ультрафіолетове випромінювання, тому важливо періодично оновлювати захисне покриття. Крім того, деякі антипірени можуть змінювати зовнішній вигляд деревини, змінюючи її колір або текстуру, а також бути токсичними при неправильному використанні.

Проте варто зазначити і **переваги** антипіренів. Вони значно підвищують стійкість деревини до займання, забезпечують захист від поширення вогню і можуть виконувати додаткові функції, такі як захист від комах або грибків, що робить їх багатофункціональним рішенням для захисту дерев'яних конструкцій.

Вибір антипіренів та методів їхнього застосування регламентується національними та міжнародними стандартами пожежної безпеки.

Однак існують наразі і вогнезахистні фарби і лаки для деревини, які окрім захистних властивостей зберігають природній вигляд конструкцій CLT чи надають бажаних забарвлень.

Одними з таких є фарби і лаки фірми ADLER.

Так до прикладу композиція з двох типів покриттів може забезпечити необхідні властивості конструкцій CLT :

Pyrolan Expand Base L

Прозора протипожежна ґрунтовка, що спучується (спінюється) при горінні, для покращення вогнестійкості згідно EN 13501-1 для деревини та деревних матеріалів усередині приміщень. Продукт характеризується універсальністю нанесення, природним виглядом, дуже гарною текучістю та гарною стійкістю до злипання. У разі пожежі створюється теплоізоляційний шар, який затримує поширення вогню та знижує виділення димових газів.

Pyrolan Expand Top

Безбарвний, тонкошаровий та дихаючий захисний лак для внутрішніх робіт. Підвищує якість поверхні та механічну стійкість Pyrolan Expand Base L (5392) та D (5393) та забезпечує дуже природний вигляд завдяки прозорому та матовому покриттю. Висока повітропроникність – здоровий мікроклімат у приміщенні.

У 2022 році були здійснені випробування на вогнестійкість пенелей CLT, зокрема оброблені вогнестійкими фарбами фірми Adler (Pyrolan Expand Base L). Згідно яких були зроблені висновки: межа поширення вогню ,згідно ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об’єктів будівництва» Додаток «Д» класифікується як **М0**.

Існують також ряд ЛФМ та розробок які можуть забезпечувати відповідні вимоги, проте ще не сертифіковані в Україні до прикладу:

Вогнезахисні фарби та лаки ANTIFIRE сертифіковані відповідно до DIN 4102 B1 та EN 13501-1 (b, s1, d0) і тому відповідають усім сучасним німецьким та європейським стандартам.

ANTIFIRE AV2K-WB - це водорозчинний, прозорий, безгалогенний вогнезахисний лак 2K. Під впливом тепла покриття утворює теплоізоляційний шар піни, зменшуючи подальше горіння та ризик спалаху.

А дослідники Геттінгенського університету разом із швейцарською компанією **Archroma** розробили інноваційний спосіб обробки деревини, який значно покращує її фізичні властивості та розширює можливості використання у будівництві.

- **Підвищення властивостей місцевих порід деревини**:

Обробка клітинних стінок деревини конденсаційними смолами під вакуумом робить матеріал схожим за своїми властивостями на тропічну деревину. Цей процес забезпечує:

- **Стабільність розмірів**,
- **Водонепроникність**,
- **Стійкість до грибків, що руйнують деревину**.

  Завдяки цій технології деревина стає нетоксичною та придатною для створення настилів, меблів, фасадів, підлог і садових виробів.

- **Пожежобезпечність**:

Поєднання модифікації деревини зі смолами та обробки екологічними антипіренами забезпечує довготривалу вогнестійкість навіть за умов зовнішнього використання.

Так сучасні розробки і подальші інновації відкривають більші можливості у використанні масивної деревини не приховуючи під шаром гіпсокартону її дизайнерські якості.

3.4 Економічна доцільність

3.4.1 Основні аспекти що формують вартість будівлі

Одним із докінця нез'ясованих і хвилюючих для забудовників і кінцевих споживачів аспектів є кінцева вартість.

У світі вже зведено чимало висотних дерев'яних будівель, масивні дерев'яні будівлі все ще вважаються інноваційними. Хоча досвід і накопичення даних про ці конструкції може сприяти зменшенню багатьох невизначеностей, які раніше сприймалися як ризики, варто враховувати локальні особливості ціноутворення, вартості матеріалів та обладнання, бюрократичні складові та місцеві умови оплати праці.

Одразу можна зазначити про вищу вартість продукції з ПКД , проте слід зібрати всі фактори і чинники які можуть впливати на кінцеву вартість, а для прорахунку кошторисів і порівняння із релевантними об'єктами необхідно розробляти деталізовані пілотні проєкти. Розглянемо основні напрямки в яких можна шукати привабливість і доцільність конструкцій з ПКД. Отже окреслимо основні фактори що можуть впливати на вартість будівництва з масивної деревини, не розглядаючи такі аспекти як витрати на фінансування , кредити, страхування (що не так розвинуто як в країнах Західної Європи та Північної Америки).

Проєктування

Цей етап для висотної дерев'яної будівлі може тривати довше, ніж для бетонної чи сталевої конструкції,і оскільки потребує залучення кваліфікованих фахівців і відповідно здорожчання на цьому етапі. Проте це частково компенсує економію під час зведення.

Потреби в робочій силі

Збірні масивні дерев'яні елементи значно менш трудомісткі у використанні порівняно з іншими конструктивними системами, оскільки під час зведення потребують менше робочої сили. Наприклад, будівля Brock Commons в Британській Колумбії була зведена командою лише з 10 осіб , тоді як для

аналогічної монолітної бетонної конструкції зазвичай потрібна бригада з близько 40 робітників. Скорочення робочої сили для зведення збірних дерев'яних елементів допомагає зменшити загальну вартість проєкту.

Рис. 3.10

Транспортування матеріалів

Швидкість зведення масивних дерев'яних конструкцій змінює підхід до обробки матеріалів на місці. У традиційному будівництві сировину доставляють на майданчик, де вона потребує зон укладання та подвійної обробки. Натомість масивні дерев'яні елементи готові до монтажу одразу з вантажівки: один кран може підняти деталь і встановити її на місце.

Виробники лісоматеріалів зазвичай використовують принцип своєчасної доставки, завантажуючи матеріали в потрібній послідовності для зручності монтажу. Співпраця з виробником також дає можливість гнучкого планування процесу, що особливо корисно за умов обмеженого простору на майданчику або обмежень у часі доставки.

Щодо *фундаментів*: висотні дерев'яні будівлі створюють менше навантаження на ґрунт, що дозволяє використовувати простіші або менш витратні типи фундаментів порівняно з бетонними будівлями.

Численні переваги, пов'язані з будівництвом висотних дерев'яних будівель, можуть значно вплинути на терміни реалізації проєкту. Наприклад, зведення 12-поверхової будівлі на ділянці з поганим ґрунтом може зайняти лише 4 місяці, що значно швидше, ніж у випадку бетонних конструкцій. Для девелопера це забезпечує суттєві економічні переваги, покращуючи фінансові показники проєкту.

На рисунку 3.11 демонструється потенційна економія часу у графіку будівництва дерев'яних будівель з ПКД у порівнянні з бетонними конструкціями (WoodWorks Wood Products Council, 2019).

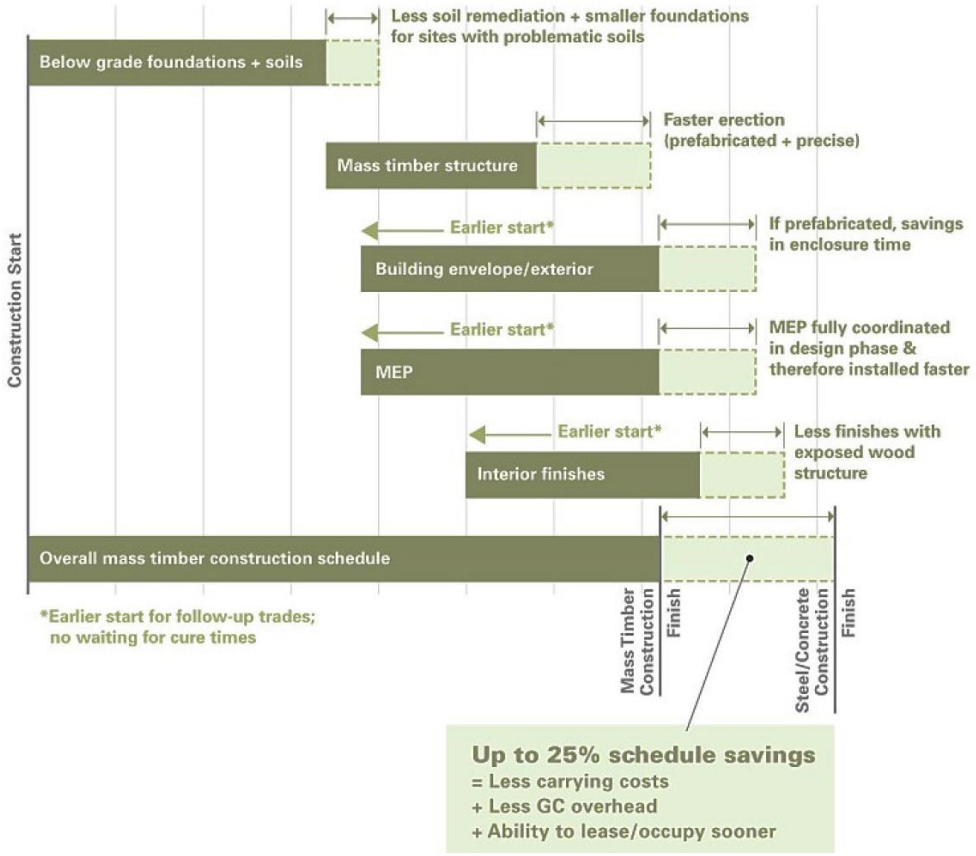

Рис. 3.11

Висотні дерев'яні будівлі мають значну перевагу наприкінці експлуатаційного терміну порівняно з бетонними чи сталевими аналогами. Демонтаж звичайних висотних конструкцій потребує значних енерговитрат,

як для повторного використання матеріалів, так і для знесення, тоді як масивну деревину часто можна повторно використовувати у первісному вигляді.

Демонтаж бетонних або сталевих будівель зазвичай призводить до пошкодження матеріалів, що ускладнює їх повторне використання. Натомість масивні дерев'яні конструкції складаються зі збірних елементів, які легше розбирати. Хоча сьогоднішній день сучасних висотних дерев'яних будівель ще не демонтували, можна очікувати такі переваги:

Деталі можна зберегти в цілому стані, що полегшує їх повторне використання.

Вартість врятованої масивної деревини буде вищою, ніж зруйнованого бетону чи сталі.

Масивну деревину можна повторно застосовувати для різних потреб, що відкриває нові ринки для цього ресурсу.

Отже точна оцінка вартості проекту висотної дерев'яної будівлі є критично важливою для забезпечення його життєздатності. Однак недостатній досвід учасників будівельної галузі у роботі з масивною деревиною часто спричиняє завищення початкового бюджету. Брак інформації або необхідних знань призводить до включення додаткових витрат. Це часто створює враження, що проект висотної дерев'яної будівлі є фінансово нежиттєздатним, і змушує відмовлятися від нього ще на ранніх етапах планування.

Використання масової деревини має значний економічний потенціал. При правильній ідентифікації та врахуванні цих переваг висотні дерев'яні будівлі можуть стати економічно конкурентоспроможними з традиційними альтернативами. Економія може бути досягнута завдяки скороченню тривалості будівництва, зменшенню кількості працівників на об'єкті та зниженню потреби в обладнанні, що позитивно впливає на загальну вартість проекту.

Попри те, що вартість масової деревини наразі вища за вартість бетону чи сталі, зі збільшенням виробничих потужностей можна було б очікувати на її

зниження. Глобальний рух за скорочення вуглецевого сліду будівель сприятиме подальшому зменшенню розриву між вартістю дерев'яного та традиційного будівництва, особисто ставлюся скептично до такого твердження в контексті вітчизняного сектору, проте згодом такі тенденції будуть лише посилюватись .Наприклад, зміни в муніципальних підходах до оцінки вуглецевого сліду, як це відбувається у Ванкувері, створюють стимули для використання масивної деревини. Завдяки меншому навантаженню на ґрунт з'являється більше придатних для будівництва ділянок, а швидші темпи будівництва забезпечують швидший прибуток і повернення інвестицій.

Крім того, зростаюча обізнаність про переваги екологічно-дружніх конструкцій дозволяє продавати висотні дерев'яні будівлі як об'єкти, що сприяють зниженню стресу для мешканців або підвищенню продуктивності бізнес-орендарів. Ці фактори відкривають можливості для правильного оцінювання додаткової вартості таких будівель.

3.5 Екологічна складова, управління лісовим сектором

3.5.1 Сталий розвиток дерев'яного багатоповерхового будівництва

Сталий лісовий менеджмент

Зростання попиту на деревину внаслідок реалізації висотних проектів з використанням ПКД спричинить необхідність забезпечення постійного постачання лісових ресурсів. Тут важливим аспектом є розуміння різниці між несанкціонованою вирубкою лісів і сталим управлінням лісами, що досить болюча тема в рамках нашої держави.

Знищення лісів полягає в їх перетворенні на інші земельні використання, такі як сільське господарство чи урбанізація. Сталий збір врожаю передбачає регулярне видалення дерев з їх подальшим відновленням і диверсифікацією видів. Ліс при цьому залишається лісом, що є важливим аспектом сталого управління лісами, яке необхідне для підтримки екологічних та економічних

аргументів, зокрема поглинання вуглецю в системах масового дерев'яного будівництва.

Ефективність використання ресурсів

У дослідженні 2019 року Міжнародна експертна група ООН з питань ресурсів визначила, що викидів парникових газів (ПГ) від матеріального циклу житлових будинків у країнах Великої сімки та Китаї можна скоротити на 80% до 2050 року. Цього можна досягти завдяки стратегіям, таким як збільшення щільності забудови, проєктування з мінімальним використанням матеріалів і покращення переробки будівельних матеріалів (UNIRP, 2019).

Коли йдеться про ресурсо-ефективність, може здатися, що на масивні дерев'яні конструкції йде більше деревини, ніж традиційні легкі каркасні стіни або підлоги. Однак важливо враховувати обрані показники оцінки ефективності використання ресурсів.

Наприклад, ефективність можна вимірювати:

Кількістю матеріалу на квадратний метр площі будівлі.

Кількістю матеріалу на одного мешканця.

До прикладу у Канаді показник використання деревини в односімейних будинках становить приблизно **13 м³/мешканця**, тоді як у багатоквартирних дерев'яних каркасних будівлях — **8 м³/мешканця**.

Для масивних дерев'яних будівель показники споживання деревини коливаються в межах **7–18 м³/мешканця**. Ці цифри є порівнянними зі споживанням деревини для багатоквартирних житлових будинків, збудованих за традиційною технологією в Канаді. Таким чином, використання масивної деревини забезпечує подібну ефективність на душу населення, водночас пропонуючи численні додаткові переваги.

Довговічність висотних дерев’яних конструкцій, як і будь-яких інших будівель, залежить від якості будівельних матеріалів, способу їх з’єднання, деталізації, умов експлуатації, належного захисту від несприятливих впливів та обслуговування.

Проєктувальники мають враховувати властивості деревини, зокрема:

Вміст вологи та вплив вологості.

Вплив ультрафіолетового світла.

Усадку, повзучість і природний рух матеріалу.

Ці фактори можуть впливати на довговічність конструкції. Якщо їх врахувати на ранніх етапах проєктування та забезпечити належне технічне обслуговування, дерев’яні будівлі можуть служити **120 років і більше**. Історичний досвід підтверджує довговічність дерев'яних конструкцій. У Канаді багато середньовисотних дерев’яних будівель, збудованих до 1950 року, використовуються й досі.

Дослідження показали, що середній термін служби знесених комерційних, інституційних і житлових будівель у Міннеаполісі залежно від основних конструкційних матеріалів: дерева, бетону, сталі та гібридних матеріалів. З’ясувалося, що половина дерев’яних житлових будівель на момент знесення прослужили щонайменше **75 років**, тоді як більше половини бетонних будівель було знесено протягом **30–50 років** експлуатації. Це свідчить про те, що "дерев’яні конструкційні системи цілком здатні відповідати очікуванням щодо довговічності" (O'Connor, 2004).

Частіше причинами знесення були реконструкція територій, відсутність технічного обслуговування або невідповідність будівель їхньому призначенню, а не їхній фізичний стан. Це підкреслює потенціал дерев’яних будівель мати довший середній термін служби, особливо якщо вони спроєктовані з урахуванням змінних потреб мешканців.

3.5.2 Ставлення до лісових ресурсів як виклик на майбутнє

Зростання попиту на деревину, викликане будівництвом середньо-поверхових та висотних дерев'яних будівель, ставить серйозні питання щодо достатності світових лісових ресурсів для підтримки цієї ініціативи. Для

відповіді на ці питання необхідно зрозуміти різницю між вирубкою лісів і сталим лісокористуванням.

Вирубка лісів — це процес перетворення лісових територій на нелісові, наприклад, для сільськогосподарських потреб або урбанізації. Стале лісокористування, навпаки, передбачає видалення дерев з обов’язковим пересадженням і підтримкою видового різноманіття, що є важливою складовою планування; таким чином, ліс залишається лісом. Для підтримки економічних аргументів та зменшення вуглецевого сліду, які використовуються для масивних дерев'яних будівель, необхідно, щоб ліси управлялися відповідально.

Щоб збільшення використання деревини та будівництво висотних дерев’яних будівель були екологічно обґрунтованими, слід суворо дотримуватись принципів сталого управління лісовим господарством. Контроль лісів має здійснюватися під наглядом державних органів, забезпечуючи належне та стійке відновлення лісових ресурсів.

Крім того, важливо усвідомлювати, що якщо в кінці життєвого циклу будівлі її дерев'яна конструкція не буде перетворена на інші види використання, ми лише відкладемо зміну клімату, а не зупинимо її, вивільняючи накопичений вуглець в атмосферу через розкладання або спалювання. Перетворення композитної деревини на інші види використання в кінці життєвого циклу будівлі є ключовим елементом регенеративного підходу до сталого розвитку.

4. ВИСНОВКИ ТА МОЖЛИВІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Екологічні питання на нашій планеті та їх вирішення потребують щодалі інноваційніших підходів, зокрема у секторі будівельних технологій. Один із шляхів забезпечення сталості це використання екологічних матеріалів з екологічним підходом. Проте основна частка суспільства не завжди швидко реагує на подібні виклики, тому місія донесення важливості тих чи інши посилів належить фахівцям, дослідникам та науковцям.

В ході даної роботи проаналізовано ряд питань, що стосуються будівництва висотних будівель з деревини, та визначено ключові виклики і перешкоди, пов'язані з їх впровадженням. На підставі цього виявлено основні напрями, які потребують подальшого розвитку для забезпечення сталого та ефективного використання деревини як конструктивного матеріалу.

1. **Вдосконалення нормативної бази**.

Існуюча українська законодавча база потребує розроблення окремого документа, що стосуватиметься проєктування висотних будівель з масивної деревини, таких як CLT-панелі. Необхідно створити методичні рекомендації або доповнення до ДБН, що враховуватимуть особливості пожежної безпеки, конструктивної стійкості та екологічної відповідності подібних конструкцій. Потрібно також запровадити «принцип забезпечення результату», аналогічний Національному будівельному кодексу Канади.

2. **Забезпечення пожежної безпеки**.

Використання автоматичних спринклерних систем, зонування на малі «пожежні відсіки» та обробка деревини вогнестійкими матеріалами підтвердили свою ефективність у випробуваннях. Необхідно розробити спеціалізовані нормативні вимоги для будівель висотою понад 26,5 м, включно з рекомендаціями щодо евакуаційних шляхів та протипожежного захисту.

3. **Популяризація дерев'яних конструкцій**.

Виявлено, що низький рівень обізнаності серед громадськості та фахівців стримує широке застосування дерев'яних будівель. Отже слід посилити

інформаційну політику, організовувати публічні заходи, конкурси та дослідницькі проєкти, що сприяють популяризації дерев'яних висотних будівель.

4. **Сталий розвиток лісового господарства**.

Для запобігання негативному впливу на екосистеми **необхідно** дотримуватися принципів сталого управління лісами, запровадивши суворий контроль за відновленням лісових ресурсів, що має здійснюватися під державним наглядом.

5. **Економічна доцільність**.

Екологічна деревина може стати конкурентоспроможною альтернативою традиційним матеріалам за умови коректної ідентифікації її переваг. А проведені дослідження**,** про те що деревина сприяє зниженню стресу, підвищенню продуктивності мешканців, що відкриває нові можливості для економічного обґрунтування її використання.

Ці напрями є основою для подальших дій і досліджень, спрямованих на інтеграцію дерев'яних конструкцій у сучасне будівництво з урахуванням екологічних, економічних та нормативних аспектів.

5. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лекції та матеріали навчального курсу кафедри ТМВД 1-2 семестрів
2. Наукова стаття «ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ВИСОТНИХ БУДИНКІВ З ДЕРЕВИНИ» *Денис МИХАЙЛОВСЬКИЙ, Тетяна СКЛЯРОВА,* Київський національний університет будівництва і архітектури
3. ДСТУ EN 16351:2020 «ДЕРЕВ' ЯНІ КОНСТРУКЦІІ ПОПЕРЕЧНО КЛЕЄНА ДЕРЕВИНА ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ»
4. ДСТУ ISO 17959:2018 Покриття для підлоги з масивної деревини. Загальні вимоги (ISO 17959:2014, IDT)
5. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев`яні конструкції. Основні положення
6. ДСТУ Б В.2.6-208:2015 Захист дерев`яних будівельних конструкцій від корозії. Класифікація агресивних середовищ
7. ДСТУ ГОСТ 30704:2007 Захисні засоби для деревини. Методи контролювання якості (ГОСТ 30704-2001, IDT)
8. Наукові статті щодо забезпечення вогнезахисту антипіренами:
9. Андрієнко В.М., Бут В.П., Жартовський В.М., Жартовський С.В., Маладика І.Г., Цапко Ю.В. Вогнезахист деревини та виробів з неї: Навчальний посібник, – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України, 2009.
10. Жартовський С.В., Соколенко К.І., Рихліцький Д.І. Композиційний просочувальний засіб для вогнезахисту деревини і тканин // Науковий вісник УкрНДІ ПБ. – К. 2010. – №2(22). – С.30-37.
11. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2006.
12. Gagnon, S., & Pirvu, C. (Eds.). (2011). "CLT Handbook: Cross-Laminated Timber." FPInnovations.
13. Harte, A. M. (Ed.). (2017). "Structural Timber Design to Eurocode 5." Wiley-Blackwell.
14. Mohammad, M., & Gagnon, S. (2012). "Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada." FPInnovations.

15. Schickhofer, G., & Bogensperger, T. (Eds.). (2010). "Cross Laminated Timber (CLT): Engineered Wood Product for Structural Applications." Graz University of Technology.
16. Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2017). "A Review of Unconventional Sustainable Building Insulation Materials." Sustainable Materials and Technologies, 11, 1-12.
17. Green, M., & Karsh, J. (2012). "The Case for Tall Wood Buildings." mgb ARCHITECTURE + DESIGN.
18. Mallo, M. F. L., & Espinoza, O. (2016). "Awareness, Perceptions and Willingness to Adopt Cross-Laminated Timber by the Architecture Community in the United States." Journal of Cleaner Production.
19. Brandner, R., Dietsch, P., & Franke, S. (Eds.). (2021). "CLT in Europe: From Pioneering to Mainstream." Springer.

Ресурси онлайн

20. https://www.woodworks.org/learn/mass-timber-clt/
21. https://web.fpinnovations.ca/wood-products/
22. https://fwpa.com.au/about-fwpa/
23. https://clt-rezult.com/
24. https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/cross-laminated-timber-status-and-research-needs-in-europe/