

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження теплотехнічних властивостей клеєдерев'яних
багатошарових панелей.

Виконав: студент 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності

192. Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Студент

(підпис)

Завадський І. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран Д. Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мещерякова О. М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Ясний В. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Кошалко С.А.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)
студенту Завадському Ігору Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження теплотехнічних властивостей клеєдерев'яних багатошарових панелей.

Керівник роботи Баран Денис Ярославович. к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » 04 2025 року № 4/7-287

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Завадський І. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Баран Д. Я.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ВИДИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ДЕРЕВ'ЯНОМУ ЖИТЛОВОМУ БУДІВНИЦТВІ	7
1.1 Клеєний брус.....	7
1.2 SIP панелі	10
1.3 CLT панелі	12
1.4 Утеплювачі.....	15
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ CLT-ПАНЕЛЕЙ У БАГАТОПОВЕРХОВОМУ БУДІВНИЦТВІ	20
2.1 Зарубіжний досвід Дім Е3 (2008) у Берліні.....	20
2.2 Житловий комплекс Limnologen.....	22
2.3 Лондонський Stadthaus.....	24
2.4 Bridport House (Лондон).....	26
2.5 Комплекс Via Cenni.....	29
2.6 14-поверховий житловий будинок Treet	32
2.7 Квартал Wood City.....	35
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	40
3.1 COMSOL Multiphysics - чисельне моделювання теплотехнічних характеристик	40
3.2 Результати чисельних досліджень.....	42
3.2.1 Температурні характеристики	42
3.3 Вологісні характеристики	45
3.3.1 Розрахунки кутового з'єднання зовнішньої огорожувальної конструкції ...	48
3.4 Висновки з розділу 3	49
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	51
4.1 Охорона праці	51
4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці	52

4.1.2 Огородження території	54
4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику	54
4.1.4 Організація безпечних умов праці земляних робіт.....	55
4.1.5 Організація безпечних умов праці бетонних робіт.....	56
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	58
4.2.1 Законодавча база України	58
4.2.2 Стійкість будівлі від ударної хвилі	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	63
БІБЛІОГРАФІЯ.....	64

ВСТУП

Сучасне будівництво активно орієнтується на екологічність, енергоефективність та індустріалізацію, що зумовлює зростаючий інтерес до застосування інноваційних дерев'яних конструкцій у житловому секторі. Одним із найбільш перспективних матеріалів є багатошарові клеєні дерев'яні панелі, зокрема CLT (Cross-Laminated Timber), які демонструють високі техніко-експлуатаційні характеристики та придатність для зведення багатоповерхових будівель.

Представлена робота комплексно розкриває переваги сучасних дерев'яних систем, зокрема CLT, в контексті високої енергозбереження та енергоефективності, що робить їх перспективними для застосування у майбутньому міському середовищі.

Мета роботи: дослідження теплотехнічних властивостей клеєних дерев'яних панелей в залежності від конструктивних параметрів.

Об'єкт досліджень – багатошарові клеєні дерев'яні панелі.

Предмет дослідження – теплотехнічні властивості клеєних дерев'яних панелей в залежності від виду утеплювача.

Для вирішення поставленої мети дослідження визначено такі **завдання**:

- провести аналіз сучасних дерев'яних будівельних матеріалів для зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будинків;
- провести скінченно-елементний розрахунок теплотехнічних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій із багатошарових клеєних дерев'яних панелей;
- проаналізувати отримані результати.

Методи дослідження –скінченно-елементне моделювання.

Галузю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель.

Наукова новизна отриманих результатів: отримала подальший розвиток методика чисельних досліджень з розрахунку теплотехнічних властивостей

клеєних дерев'яних панелей.

Практичне значення отриманих результатів: виконані автором дослідження можуть бути актуальними під час проєктування нових та реконструкції існуючих будівель.

Апробація результатів магістерської роботи виконана роботи виконана на VIII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 24-25 квітня 2025 року.).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: SIP панелі, CLT панелі, утеплювач, теплопередача, опір.

РОЗДІЛ 1

ВИДИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ДЕРЕВ'ЯНОМУ ЖИТЛОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

1.1 Клеєний брус

В даний час деревина є найбільш нешкідливим будівельним матеріалом. Даний факт, безсумнівно, впливає на високий попит будинків, побудованих з дерева. Однак, деревині притаманні такі недоліки, як кручення, розтріскування і біологічна нестійкість.

Для того щоб знизити ймовірність появи цих недоліків, які тією чи іншою мірою можуть проявитися впродовж терміну експлуатації, розробляють нові технології, такі як, наприклад, клеєний брус.

Клеєний брус займає відносно великий відсоток ринку дерев'яного домобудівництва[11].

Даний будівельний матеріал - це технологічний пиломатеріал, який складається з дощок (ламелей), склеєних між собою, і після профілювання є стабільним дерев'яним брусом, з поліпшеними характеристиками порівняно зі звичайним брусом.



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд клеєного бруса

Щоб зрозуміти, у чому особливість клеєного бруса, потрібно коротко розглянути, як роблять цей вид матеріалу. Хвойні породи деревини найбільш популярні для виготовлення клеєного бруса. Найбільш доступними і простими в

обробці є сосна і ялина, до того ж вони найбільш стійкі до впливу навколишнього середовища. Клеєний брус з листяних порід також трапляється, проте його вартість істотно вища [12].

Найбільш популярними породами є:

- Кедр. За рахунок вмісту ефірних олій у приміщенні, побудованому з кедра, створюється унікальний мікроклімат, водночас цей матеріал міцний і має знезаражувальний ефект. Основний мінус цього матеріалу - висока ціна;

- Ялина. Міцність ялини трохи менша, ніж у сосни, проте ялина володіє хорошими звукоізоляційними якостями і м'яким жовтим кольором. Вартість клеєного бруса з ялини можна порівняти з сосновим брусом.

- Сосна. Цей вид деревини міцний, доступний, у нього низька вартість і красива фактура. Найбільший відсоток клеєного бруса на ринку займає клеєний брус із сосни. Основні недоліки - присутність смоляних кишень і сучків. У той же час, завдяки специфіці виготовлення клеєного бруса, сучки і смоляні кишень можна вирізати і використовувати тільки якісні частини соснової деревини;

- Модрина. Даний вид деревини надзвичайно міцний і стійкий до зовнішніх впливів. Має гарний зовнішній вигляд. Через високу ціну з модрини роблять тільки зовнішні частини клеєного бруса. Основні мінуси пов'язані з підвищеною смолистістю, що ускладнює обробку і негативно впливає на міцність склеювання, низька повітропроникність, вища ціна порівняно з іншою деревиною;

- Дуб. Міцний і надійний вид деревини. Відрізняється високою складністю обробки і високою вартістю деревини, що не дає змоги поставити виробництво клеєного бруса на потік. Можливе виробництво клеєного бруса з дуба під замовлення. Через високу вартість дуба з нього виготовляють зовнішні ламелі клеєного бруса. Працюють з дубом тільки великі виробники на спеціальному обладнанні.

Для формування лицьового боку клеєного бруса використовують деревину найміцніших порід, причому найтвердішу частину деревного стовбура - ядро. Деревина з ядра дерева найменш схильна до розтріскування і скручування, ніж серцевина, яка, як найм'якша частина деревини, віддалена від краю і поміщена між

лицьовими ламелями. Це, так званий, фінський стандарт. У практиці вітчизняного виробництва не всі виробники витримують таку вимогу, тому не завжди властивості клеєного бруса відповідають заявленим [12].

До плюсів клеєного бруса можна віднести таке:

- клеєний брус є безсумнівно красивим дерев'яним будівельним матеріалом, зокрема через високоякісну обробку ламелів;
- це екологічно чистий матеріал. Можна заперечити, що наявність клею не дозволяє віднести клеєний брус до екологічно чистих матеріалів. Однак клей, що використовується, підлягає обов'язковій сертифікації, а для будівництва використовуються тільки клейові склади, що задовольняють вимогам з безпеки;
- клеєний брус слабо схильний до розтріскування, цьому сприяють три основні моменти. Перший - ламелі клеєного бруса висушуються по всьому об'єму. Другий - клей надає ламелям міцності. По-третє - ймовірність наскрізного розтріскування відсутня як така;
- клеєний брус не веде незалежно від умов експлуатації;
- при малій вазі клеєний брус має високу несучу здатність;
- клеєний брус дає змогу створювати складні форми, зокрема вигини, можливе зведення довгих стін без перестінків і зрощування будівельного матеріалу;
- в одному проєкті можна поєднувати стіни різної товщини;
- усадка становить лише 0,4-1,5% за весь період експлуатації будівлі;
- пора року і погодні умови не відіграють ролі під час складання будинку з клеєного бруса;
- можливість одразу ж заселитися в побудований будинок або приступити до його оздоблення;
- клеєний брус має підвищені теплоізоляційні показники.

Перелічимо мінуси клеєного бруса:

- більш висока вартість порівняно з профільованим брусом, висушеним у камері та іншими дерев'яними будівельними матеріалами;

- у разі порушення технології виробництва, є ненульова ймовірність розшарування ламелей, що позначиться на характеристиках клеєного бруса;
- ризик купити контрафакт.

Будівлям із клеєного бруса необхідний регулярний догляд, проте така вимога висувається до всіх будинків із дерева.

1.2 SIP панелі

СПП-панель - структурна ізольована панель, монолітна конструкція, що складається з плит OSB і шару проміжного шару утеплювача. Використовується в будівництві приватних будинків і гаражів за каркасною технологією. Відноситься до безпечних і екологічних видів матеріалів [13].

СПП-панелі є зручним матеріалом з чудовими характеристиками і тривалим терміном експлуатації, що дає змогу зводити споруди в найкоротші терміни.



Рисунок 1.2 - Конструкція із СПП-панелей

Основні переваги будівель, побудованих із СІП-панелей, пов'язані з конструктивними особливостями цього будівельного матеріалу.

Основним елементом цього матеріалу є OSB-плити. Ці плити складаються з вузьких і довгих трісок, які укладаються в кілька шарів і спресовуються так, щоб з усіх боків плити вони розташовувалися перпендикулярно один одному. Завдяки подібній технології збільшується гнучкість плит, що відрізняє цей матеріал від звичайної деревини. Здебільшого використовують тріски сосни та осики. У відсотковому співвідношенні, плити складаються на 97% з деревини, і на решту 3% - зі сполучних компонентів. OSB -плити обробляються водовідштовхувальним розчином, що забезпечує захист від проникнення вологи і гниття [14-18].

До складу панелей також входить пінополістирол, який при легкій вазі має відносно низьку теплопровідність. Під час виробництва утеплювача в полістиролову масу додається газ. Використання вуглекислого газу дає змогу підвищити пожежостійкість конструкцій. Якщо порівнювати зі стіною з класичної цегли в 2 метри, то лист такого виробу товщиною одинадцять сантиметрів здатний забезпечити такий самий рівень теплоізоляції.

Можна виділити такі переваги конструкцій із СІП-панелей:

- помітна економія витрат на опалення будинку;
- збільшення корисної площі приміщень через малу товщину стін;
- прискорене будівництво будинку. Дешевший фундамент порівняно з класичними матеріалами. Наприклад, гвинтовий фундамент;
- СІП-панелі не дають усадки, таким чином можливе цілорічне будівництво;
- технологія складання досить проста;
- конструкція легка і міцна.

Недоліки

- СІП-панелі мають високу ціну;
- необхідна припливно-витяжна вентиляція огорожувальних конструкцій;
- низька несуча здатність стін.

Також до недоліків часто відносять:

- висока горючість огорожувальних конструкцій;
- виділення при шкідливих речовинах під час горіння. Під час плавлення виділяється стирол зі специфічним солодким запахом. За високої концентрації він небезпечний для людини. З іншого боку, запах стиролу стає нестерпним уже за концентрації понад 200 ppm, що є сигналом до термінової евакуації;
- цей матеріал можуть псувати гризуни.

Таким чином, СІП-панелі, як і інші будівельні матеріали, мають плюси і мінуси. Проте, зведений згідно з технологією будинок із СІП-панелей може служити повноцінним цілорічним житлом.

1.3 CLT панелі

CLT-панелі - це дерев'яні багат шарові перехресно клеєні панелі. Під час виготовлення вони склеюються і спресовуються. Ряди ламелей укладаються хрест-навхрест відносно одна одної. Вертикальні ламелі забезпечують несучу здатність, а горизонтальні - жорсткість у поздовжній площині.

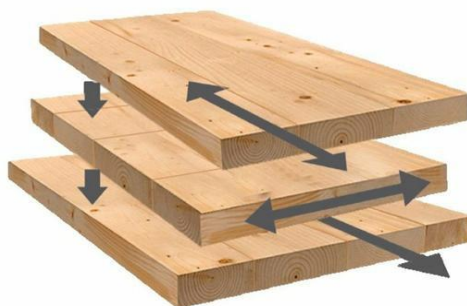


Рисунок 1.3 - Схема компонування CLT-панелі

Побоювання потенційних замовників пов'язані насамперед із тим, що новий матеріал ще не пройшов перевірку часом і невідомо, як він поводитиметься після багатьох років. Але і CLT-панелі, і технологію їх монтажу тільки з натяжкою можна вважати новими. Дерево - найдавніший будівельний матеріал, недоліки якого і

способи їх нівелювання відомі всім. Сама ж конструкція піддавалася найсерйознішим випробуванням і на міцність, і на пожежну безпеку, і навіть на сейсмостійкість. Крім того, першим будівлям, побудованим за цією технологією в Західній Європі, вже близько 30 років, і поки що нарікань щодо їхньої експлуатації немає.

Найсерйознішими проблемами є досить висока вартість матеріалу і необхідність застосування потужної та габаритної техніки для будівництва.

CLT-панелі мають фізичні параметри (щільність, міцність, вогнестійкість тощо), які дають змогу використовувати їх для будівництва багатопверхових житлових будинків, водночас вони мають низку переваг, якщо порівнювати їх із класичними матеріалами - металом, бетоном і цеглою [4]. На кінець 2021 року найвищий дерев'яний будинок побудований у Норвегії, у ньому 18 поверхів і 85 метрів. Далі йде етап стругання і шліфування для отримання ідеально гладкої поверхні. Якщо панелі будуть використовуватися для монтажу стін, їх можуть обробляти шаром ОСП. Потім відповідно до плану будівлі прорізуються віконні, дверні прорізи, канали для прокладання комунікацій. Цю процедуру виконують на верстатах з ЧПУ, що забезпечує високу точність обробки. Характеристики CLT-панелей наведено в таблиці 1.3. Процес виробництва однієї заготовки триває від 15 до 60 хвилин. У результаті виходять панелі шириною від 60 до 400 см і довжиною до 24 м. Вони складаються з 3-12 шарів і можуть мати товщину від 6 до 35 см.

Процес будівництва. Готові елементи майбутньої будівлі транспортують на ділянку, а потім збирають, подібно до дитячого конструктора. У будівельників є план будинку, за яким проводиться встановлення і монтаж кожної пронумерованої панелі. Конструкція збирається на заздалегідь підготовлений фундамент [19-21].

У процесі будівництва бере участь невелика бригада, яка використовує лише підйомний кран і простий електроінструмент. На встановлення однієї панелі в середньому потрібно близько 20 хвилин. Будинок для однієї сім'ї будівельники збирають приблизно за 8 годин.

Після цього можна одразу приступати до внутрішнього і зовнішнього оздоблення. При цьому стіни не потрібно штукатурити, оскільки вони після

механічної обробки на виробництві набувають ідеально рівної поверхні. Для всіх комунікацій уже підготовлено необхідні траси, місця для встановлення щитків, ревізійних вікон тощо. Тому будинок буде готовий до здачі за лічені дні.

Таблиця 1.3 - Характеристики CLT-панелей

Показники	Значення показників					
Кількість шарів ламелів	3		5		7	8
	ТТ	ТL	ТТ	ТL	ТL	ТL
Товщина панелей, мм	57, 72, 94, 120	57, 60, 78, 90, 95, 108, 120	95, 125, 128, 158, 200	117, 125, 140, 146, 162, 182, 200, 202, 226	208, 230, 260, 280	248, 300, 320
Рекомендована (з метою оптимізації відходів) ширина панелей, мм	2400/2500/2720/2950					
Деформація	У площині панелі деформація нехтувано мала, перпендикулярно площині панелі - 0.24 мм/м на 1% вологості					
Вологість, %	12 ± 2					
Вогнестійкість, мм/хв	0,67 - тільки для зовнішніх шарів, 0,76 - для інших шарів					
Повітропроникність	Тестування для панелей розміром 1000 x 1000 показало, що три- і п'ятишарові повітронепроникні. Тестування готових модулів приміщень завдовжки 8 м, завширшки 4.2 м і заввишки 2.5 м із тришаровими стіновими елементами (приблизний об'єм - 84 м ³) і тришаровими елементами перекриттів, але без ізоляції облицювання фасадів, показало високий рівень повітронепроникності.					
Теплопровідність	0.13, Вт/(м ² К)					
Питома теплоємність	2.0, кДж/(кг К)					

Примітка:

ТТ - верхній шар перпендикулярний напрямку панелі;

ТL - верхній шар паралельний напрямку панелі.

Проте, у цієї будівельної технології велика кількість переваг, що впливає на її постійно зростаючу популярність. Відзначимо плюси будинків із CLT-панелей:

- виготовлені з натурального дерева, завдяки цьому всередині приміщень здоровий мікроклімат;
- матеріал не схильний до усадки. Можна відразу монтувати вікна;
- у стінах відсутні щілини, які потрібно герметизувати;
- під час оздоблення зовні будівлі можна застосовувати навісні фасади;
- можна будувати багатоповерхові будівлі;
- матеріал вирізняється високою пожежостійкістю;
- можливість реалізації будь-якого архітектурного стилю;
- матеріал є екологічним. Застосовується натуральна деревина;
- мінімальна кількість будівельного сміття і відходів;
- будинки з CLT-панелей вирізняються високою сейсмостійкістю.

Будинки можуть витримувати землетруси до 9 балів.

- теплопровідність CLT-панелей $0.13 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$;
- стіни і перекриття мають високе шумопоглинання;
- конструкція важить у 6 разів менше, ніж аналогічна будівля з бетону;
- у міжповерхових перекриттях відсутні динамічні вібрації;
- внутрішній простір приміщень збільшується через меншу товщину стін, порівняно з клеєним брусом і бетоном.

- Серед недоліків можна виділити таке:
- відносно висока вартість;
- необхідність додаткового утеплення в холодному кліматі.

1.4 Утеплювачі

Незалежно від конструкційних матеріалів стін, під час утеплення будівлі важливо виконувати такі правила, сформульовані на рівні норм:

- теплоізоляцію треба надійно захищати від проникнення в неї вологи;

- доступ водяної пари до теплоізоляції має бути максимально обмежений;

- розташування шарів має забезпечувати висихання конструкції і запобігати в ній накопиченню вологи.

До утеплювача дерев'яних стін висуваються такі вимоги:

- паропроникність;
- низький показник теплопровідності, чим він нижчий, тим краще матеріал тримає тепло;

- негорючість. Відомо, що дерево легко запалюється і горить, тому в парі з ним краще використовувати матеріали, які максимально стійкі до вогню;

- низька вага. Що легший матеріал, то простіше його монтувати. Якщо утеплювач занадто важкий, знадобиться міцніший каркас, а це час і зайві витрати.

Для теплоізоляції зазвичай використовують такі матеріали:

- всі мінеральні вати (кам'яна вата, шлаковата, скловата та ековата), вони мають високі показники паропроникності;



Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд мінеральної вати

- тверді полімерні утеплювачі (пінополістирол і пінопласт);

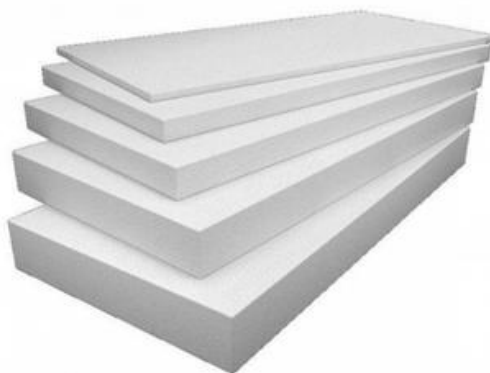


Рисунок 1.5 - Тверді полімерні утеплювачі

Їх використання не заборонено, але свідомо перекривається відведення вологи зі стін будинку. Так, це зручні в монтажі та практичні утеплювачі, але доведеться організувати дуже серйозну систему вентиляції, а це чималі витрати під час облаштування та експлуатації. Доцільно використовувати такі матеріали хіба що для утеплення бетонного цоколя і фундаменту.

- сипучі утеплювачі;



Рисунок 1.6 - Сипучі утеплювачі

Сипучі утеплювачі (вермикулітовий щебінь, керамзитовий гравій, перлітовий щебінь) непогано пропускають повітря і вологу, не бояться високих температур, не цікаві для гризунів, але вони володіють низьким коефіцієнтом теплоізоляції, тож підходять тільки для теплих регіонів, але й там особливої популярності не набули[22-28].

- міжвінцеві утеплювачі



Рисунок 1.7 - Міжвінцевий утеплювач

Цей вид утеплювача використовують, якщо потрібно зберегти зовнішній вигляд будівлі. Одним із таких утеплювачів є льон, він доступний на ринку у вигляді плит, рулонів і матів. Він є відмінним утеплювачем, з великою кількістю корисних властивостей. Цей утеплювач має велику кількість переваг, порівняно з мінеральною ватою або пінопластом.

Можна відзначити такі переваги:

- головний плюс - утеплювача із льону, він екологічний і натуральний. До його складу входять тільки натуральні матеріали, які не чинять негативного впливу на здоров'я людини;
- лляний утеплювач може служити до сімдесяти років. Протягом терміну служби цього матеріалу можна не переживати за мікроклімат у приміщенні. Матеріал стійкий до гниття, впливу ультрафіолету і температурних перепадів;
- лляний утеплювач має низьку теплопровідність, надійно захищає від шуму. Порівняно з мінеральною ватою ефективність цього матеріалу більша приблизно до тридцяти відсотків;
- у приміщенні підтримується оптимальна вологість, у шарі утеплювача не накопичується конденсат, отже, не потрібна додаткова пароізоляція;
- з лляними плитами легко працювати. Вони легко ріжуться і при цьому не кришаться. Як інструменти можна використовувати ручну ножівку, циркулярну або стрічкову пилку. Примітно, що його можна різати навіть крізь упаковку, щоб

процес був ще більш простим і "чистим";

- льон має антисептичні властивості, що протидіє появі та розвитку бактерій і грибку. У лляних плитах не живуть гризуни;

- здатний витримувати вплив високих температур, тобто пожежостійкий;

Ці характеристики дають змогу використовувати лляні плити як під час будівництва виробничих, так і громадських і житлових будівель. Лляний утеплювач використовують як при зовнішньому, так і при внутрішньому утепленні. Лляні плити є чудовим теплоізоляційним матеріалом для стін, перегородок, перекриттів, підлог тощо. Таким чином можна сміливо сказати, що цей матеріал багатофункціональний і універсальний[14-16].

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ CLT-ПАНЕЛЕЙ У БАГАТОПОВЕРХОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

2.1 Зарубіжний досвід Дім Е3 (2008) у Берліні

Будинок під назвою "Е3" (Берлін, Німеччина) - є першим сучасним висотним дерев'яним будинком у Європі. Комфортний семиповерховий будинок заввишки 22 метри побудований у 2008 році. Планування побудовано так, що одна квартира займає повністю один поверх.



Рисунок 2.1 - Будинок із CLT-панелей Е3 у м. Берлін, Німеччина [2]

Необхідність і можливість будівництва з деревини на невеликій вільній території (приблизно 1 тис. кв. м) між наявними будівлями була зумовлена низкою компромісних рішень, ухвалених задля задоволення суперечливих вимог (точкова

забудова, комфортабельні квартири, мале навантаження на навколишнє міське й природне середовище, відповідність сучасним стандартам енергоефективності).

Влада міста планувала житлову забудову невеликого порожнього місця. Будівництво будинку із залізобетону в даному місці було надзвичайно важким і витратним. На той момент технологія будівництва висотних будинків з деревини була не відпрацьована. Каркас багатоповерхового будинку Е3 складається з клеєного бруса (LVL брус), стіни і перекриття було вирішено виконати з деревини Brettstapel.

Цей підхід дуже добре підійшов для локальної забудови, оскільки не створив великих незручностей для городян, які проживають в околицях. Весь процес будівництва зайняв менше року, вимагав невелику кількість техніки, був помітно чистішим і не створював додаткового акустичного навантаження. Будівництво будинку Е3 вимагало закладання відносно легкого фундаменту, що дало змогу знизити навантаження на наявну підземну інженерну інфраструктуру.

На той час у Німеччині було дозволено тільки малоповерхове (не більше 13 метрів висоти) дерев'яне будівництво (що визначалося інженерними та протипожежними нормативами). Було запропоновано альтернативне рішення каркасно-панельний будинок із дерев'яних будівельних матеріалів.

Максимальна безпека була забезпечена компонуванням з окремими сходами та ізольованими поверхами. Загалом, ця будівля - це архітектурний комплекс із цокольного поверху з бетону, 6-ти дерев'яних поверхів і окремих бетонних сходів, які стоять окремо. Кожна квартира має свій окремий вихід на сходи через власний майданчик, що забезпечує вільне пересування сходами навіть у разі пожежі в одній із квартир будівлі. Крім того, каркасно-панельний дерев'яний будинок спланований так, що сусідні приміщення ізолювані від розповсюдження вогню в разі пожежі. Поверхи відокремлені екранами перекриттів без каналів розповсюдження вогню і диму (у класичному випадку це міжповерхові комунікаційні ходи і сходові прольоти). Віконні прорізи сусідніх поверхів розташовані не один над одним, що істотно ускладнює поширення вогню під час пожежі. Деревина перекриттів і стін закрита гіпсокартоном і штукатуркою. У місцях, де поширення вогню практично

неможливе, дерево радує око мешканцям. Видимі дерев'яні поверхні оброблені антипіренами, квартири оснащені сучасною автоматичною системою оповіщення з пожежогасіння.

Каркас будівлі збирався з колон і балок з клеєного бруса перетином 30х30 см за допомогою сталевих "фітингів". Готові панелі (товщина 160 мм) перекриттів і зовнішніх огорожувальних конструкцій монтували поверх за поверхом. Дерев'яні підлоги-перекриття покриті арматурою і залиті бетоном. Конструкція даху виконана подібним чином. Дерев'яні панелі стін закриті гіпсокартоном, утеплювачем і оштукатурені. Незважаючи на великий відсоток скління, застосування деревини та теплоізоляції забезпечили низький рівень теплових втрат.

Загалом, будівля Е3 стала вдалим пробним багатоповерховим будинком, який продемонстрував, що використання деревини в багатоповерховому будівництві є безпечним і вигідним. Нині не залишилося сумнівів у тому, що деревина в сучасних будівельних формах не поступається і навіть перевершує класичні будівельні матеріали для масової забудови [2].

2.2 Житловий комплекс Limnologen

Житловий комплекс Limnologen у м. Векше, Швеція побудований з перехресно-клеєних панелей CLT-панелей. Житловий комплекс Limnologen став точкою повернення для Швеції до будівництва з деревини. Слід зазначити, що учасником у будівництві став місцевий університет [3].

Високий розвиток промисловості та високий соціальний рівень населення міста Векше зумовили застосування в будівництві найсучасніших матеріалів і методів. Повернення до дерев'яного домобудівництва в даному випадку, це результат багатьох процесів і чинників. Зокрема: єднання з навколишнім середовищем, прагнення отримати більший комфорт, розвитку деревообробних підприємств у Крунуберзі. Крунуберг - батьківщина корпорації ІКЕА.



Рисунок 2.2 - Житловий комплекс Limnologen у м. Векше, Швеція [3]

Забудовник організував конкурс, згідно з яким житлові будинки мали бути повністю дерев'яними. Бетонним могли бути тільки перший поверх (через близькість водойми). Для забезпечення захисту деревини від вологи та зниження пожежонебезпеки було запропоновано використовувати шар балконів з великою часткою застеклення. Деревина каркаса будови і обшивки максимально відкрита для очей і при цьому досить добре захищена склом. Сумарна кількість квартир (у кожній від 1 до 5 кімнат) у комплексі 134. Роботи було розпочато 2006 року і завершено 2009-го (проміжний етап, здача перших двох будівель - літо 2008 року).

CLT-панелі та клеєний з ламелей брус використовували для каркаса стін і перекриттів, масив і деревокомпозити - для оздоблення. На будмайданчик поставлялися готові дерев'яні елементи. Будівля зводилася з неймовірною швидкістю - 1 поверх за 4 дні. Для забезпечення захисту деревини монтувався мобільний дощовий тент. Дерев'яні конструкції, що прибувають на будівництво, вкривалися плівкою.

З метою поліпшення акустичних характеристик контакти між елементами конструкції (міжповерхові та міжкімнатні) розділені спеціальними звукоізоляційними прокладками. Під час монтажу підлогових і стінових елементів приміщень застосовували кріплення і герметики, що не проводять звук. Тепло і

звукоізоляція виконана так, що спальні та санвузли ізолювані, тобто забезпечується внутрішньоквартирна шумоізоляція. Деревина стін усередині приміщень закрита ізоляційними панелями і закрита гіпсокартоном. Фасади оздоблені деревиною або поштукатурені (на стороні, що виходить до дороги). Спочатку підлоги балконів мали цементне покриття, яке мало забезпечити захист деревини від вологи. Після перших сезонів експлуатації виявилось, що комбінація деревина-цемент для підлоги балконів рішення не оптимальне (відбувалося розтріскування покриття). З розрахунку на півстолітній цикл експлуатації краще було б покрити підлоги шаром еластичного полімеру, гуми.

У 2009 році проєкт Limnologen отримав архітектурну премію Крунуберга, потім "Великий екологічний приз" 2010 року, 2012-го був номінований на премію Wood Award. Проєкт привернув увагу шведського парламенту, який тепер просуває дерев'яне домобудівництво в національному масштабі [3] .

2.3 Лондонський Stadthaus

У 2009 році в Лондоні, Велика Британія, було вперше побудовано багатоквартирний житловий будинок висотою 30 метрів. Основним будівельним матеріалом при його зведенні була перехресно клеєна деревина (CLT-плити). У Великій Британії не було жодних обмежень на будівництво багатопверхових будинків із дерев'яних будівельних матеріалів. Однак для проєктувальників та інженерів було непростим, але водночас цікавим технічне завдання. Водночас перед замовником стояло завдання вписатися в непросте технічне завдання - побудувати сучасний багатоквартирний будинок у житловому районі, водночас не порушуючи комфорту мешканців навколишніх будинків [4].



Рисунок 2.3 - Будинок із CLT-панелей Stadthaus у м. Лондон, Велика Британія [4]

Розмір будівельного майданчика становив лише 17 на 17 метрів, в оточенні існуючих житлових будинків. Це мав бути енергоефективний, дешевий будинок, що гармоніює з міським середовищем. Було зроблено вибір на користь дерев'яного домобудівництва, як матеріал було обрано CLT-панель.

Проект виявився виграним у всіх відношеннях. Спочатку вища вартість конструкції з перехресної клеєної деревини та супутніх для дерев'яного будівництва матеріалів, компенсувалася високою швидкістю робіт і зменшенням трудовитрат. Так, будинок із залізобетону будувався б 72 тижні, а з CLT-панелей був побудований за 49 тижнів. Вражає, що верхні 8 поверхів збирали четверо робітників, витративши на це 27 робочих днів. Використання готових модулів звело роботи до підйому і монтажу готових елементів, життя городян не було порушено ні шумом, ні будівельним сміттям.

Хоча на адміністративному рівні рішення на користь деревини, як будівельного матеріалу, було ухвалено свідомо (за умови усвідомлення переваг конструкцій із CLT-панелей), афішувати нову технологію перед потенційними покупцями нерухомості та орендарями не стали. Надійність дерев'яних конструкцій та їхня пожежна безпека в період будівництва були далеко не безперечними для громадської думки. Тому Stadthaus, оздоблений ззовні

декоративними та захисними етернітовими фасадними панелями, а зсередини гіпсокартоном і штукатуркою, нічим не відрізняється від сучасного житлового будинку.

Ліфтові та сходові шахти утворюють остов будівлі, навколо якого розташовуються житлові квартири. Навантаження перерозподіляється і між цим остовом, і між "стільниковою" структурою внутрішніх і зовнішніх стін. Усі елементи, включно з ліфтовими і сходовими шахтами, виготовлені з CLT. Під час монтажу нового поверху готові панелі, із заздалегідь проробленими отворами інженерних ліній і комунікацій, зі встановленими вікнами і дверима надбудовують на вже зібраній базі нижчого. Для установки і фіксації панелей застосовуються металеві куточки. Конструкція працює завдяки зв'язності всіх елементів, проте розрахована із запасом міцності, що дає змогу демонтувати будь-який з них для заміни або перепланування.

Перший поверх Stadthaus, виконаний з бетону, CLT-конструкції верхніх поверхів захищають гіпсокартон і штукатурка. Практично всі дерев'яні панелі будівлі вкриті тепло- і звукоізоляційними прошарками. Зовнішнім стінам вони забезпечують мінімальні теплові втрати, а внутрішнім - хорошу шумоізоляцію. Шахти ліфтів побудовані з двох CLT-панелей з пористим ізоляційним шаром кожна [4].

Енергоефективність будови виявилася дуже високою. Із систем вентиляції повертається до 70% тепла, були використані сонячні батареї. Теплові втрати з квадратного метра стіни за перепаду температур в 1 градус становлять лише 0,13 Вт.

2.4 Bridport House (Лондон)

Будівництво комплексу будівель Bridport House було першим етапом програми оновлення муніципального житлового фонду Боро (району) Хакні, Лондон (London, Borough of Hackney). У рамках цієї програми передбачається збільшити кількість житлових будинків більш ніж удвічі (з 4 сотень до 9).

Основним матеріалом для Bridport House було обрано конструкційну деревину - перехресно клеєні панелі (CLT/Cross Laminated Timber) від компанії Stora Enso (www.clt.info). Використання технологій дерев'яного домобудівництва дало змогу порівняно швидко здійснити всі роботи, уникнути незручностей, зазвичай пов'язаних із будівництвом житлових багатоповерхових будинків із залізобетону в зоні наявної забудови [5].



Рисунок 2.4 - Будинок із CLT-панелей Bridport House у м. Лондон, Велика Британія [5]

Одним із вирішальних аргументів на користь деревини (клеєної, технологічної та надійної) була наявність старих підземних інженерних комунікацій, які могли бути пошкоджені під час закладання масивного фундаменту традиційної бетонної багатоповерхівки. При будівництві з легкої деревини потреби в такому фундаменті немає. Це може здатися дивним, але деревина візуально не представлена у вигляді Bridport House. Як більшість проєктів дерев'яного домобудівництва першого десятиліття 2000-х років, комплекс у Гакні "маскується" під звичну для мешканців і міського вигляду техніку будівництва, у цьому конкретному випадку – цеглу [5].

Bridport House складається з 2 блоків, 5- і 8-поверхового. У комплексі 41 квартира різної площі та планування.

Stora Enso спроектувала і виготовила для Bridport House 1100 CLT-панелей

загальним обсягом 1576 куб. м. У перекриттях підлог/стель використовується перехресно-клеєна деревина товщиною 160 мм, даху - 220 мм. Панелі стін виготовлені з CLT товщиною 100, 140 і 160 мм. Типові розміри панелей 16 на 2,95 м. Панелі кріпляться одна до одної за допомогою металевих куточків, гвинтів і болтів. Зовнішні панелі "закутані" шаром тепло- і звукоізоляції (товщина 100 мм, основа - натуральне волокно).

Karakusevic Carson Architects так спроектували конструкцію, що вагу поверхів, що лежать вище, приймають на себе стіни поверхів, що лежать нижче, не безпосередньо через прямий контакт, а через перекриття підлоги. Воно вирівнює і перерозподіляє навантаження, певною мірою механічно ізолюючи поверхи один від одного. Саме це дало змогу досить вільно планувати простори поверхів - внутрішні перегородки не є несучими.

Роботи на майданчику розпочалися в жовтні 2010 року і зайняли 12 тижнів, будинок було здано в 2011 році. За оцінками, при використанні традиційних технологій знадобилося б у 2-3 рази більше часу. Темпи будівництва Bridport House обумовлені двома факторами. З одного боку, сам по собі монтаж готових, заздалегідь добре підігнаних дерев'яних панелей з перехресно-клеєної деревини не вимагає великих витрат часу і сил. З іншого, суха деревина CLT-панелей не повинна піддаватися впливу сирої атмосфери, а роботи велися в осінній час. Тому "швидкість" будівництва була просто необхідна. Щоб ще більше прискорити процес, на будмайданчик поставлялися CLT-панелі з попередньо проробленими комунікаційними / інженерними каналами і нанесеною термоізоляцією. Для захисту від лондонської погоди в міру будівництва дерев'яного панельного корпусу, готові рівні закривалися плівкою. Після монтажу дерев'яну будівлю облицьовували цеглою, що виконує декоративні та захисні функції.

Гібридна конструкція CLT і цегла (при цьому з деревини зібраний і перший поверх, зазвичай бетонний у гібридних конструкціях) - компромісне рішення складного завдання перебудови міського середовища. Хоча будівництво було закінчено менш ніж за рік, обговорення за участю Асоціації жителів Колвілла (Colville Estate Residents Association) тривали понад 10 років. Крім технічних

складнощів, пов'язаних із наявністю підземних комунікацій, потрібно було задовольнити вимоги щодо гармонійного і традиційного для району дизайну, що враховує сучасні стандарти комфорту. У підсумку було спроектовано дерев'яну будівлю з цегляною обшивкою і великими "підвісними" балконами. Кватирки нижнього поверху мають індивідуальні виходи у двір, оформлені як невеликі патіо (ізолювані дворики з садом). Завдяки цьому проєкту, архітектурне бюро Karakusevic Carson Architects виграло конкурс 2009 року і продовжує займатися реконструкцією Хакні.

Крім теплоізоляції з використанням натуральних волокнистих матеріалів заощадження енергії Bridport House забезпечується дво- і тришаровим склінням, дахом, що збирає тепло. Потрібно відзначити і взагалі вищу "енергоефективність" будівель з деревини. Витрачати на опалення мешканці таких будинків будуть менше. Орієнтація вікон і балконів обрана так (напрямок схід-захід), щоб квартири отримували сумарно максимально можливу для їхнього положення в будівлі кількість світла. Дренажна система комплексу має достатню ємність для збору великих обсягів води. Це не тільки знижує ризик підтоплення, а й дає змогу тривалий час використовувати воду для поливу [5].

Вибір деревини як основного конструкційного матеріалу дозволив істотно знизити викиди парникових газів під час виробництва будівельних матеріалів і навіть забезпечив консервацію вуглецю в "стінах" будівлі. Проєкт Bridport House вважається прикладом реалізації "зеленої" міської архітектури майбутнього. Без істотних змін конструкцію, реалізовану в Bridport House, можна "масштабувати" до 10 поверхів (і навіть 10+, як наголошується в презентації проєкту від Stora Enso) [5].

2.5 Комплекс Via Cenni

Проєкт міського дерев'яного домобудівництва Via Cenni (Мілан, Італія) цікавий не тільки використанням конструкційної деревини. У межах міста звели комплекс соціального житла нового типу. Створено цілісне середовище

проживання з розвинуеною інфраструктурою - проживання, побутові сервіси, розваги та заняття спортом, розраховане на молодого міського жителя [6].



Рисунок 2.5 - Будівля з CLT-панелей Via Cenni в м. Мілан, Італія [6]

Комплекс Via Cenni, компанія Stora Enco. Один із найцікавіших і найграндіозніших реалізованих проєктів міського дерев'яного домобудівництва - Via Cenni (Мілан, Італія, завершено 2013 року, www.cennidicambiamento.it). Цікавий він не просто використанням конструкційної деревини. А тим, що будівництво житлових багатоповерхових будинків із цього природного (але переробленого) матеріалу було лише частиною ще сміливішого завдання - зведення в межах міста комплексу соціального житла нового типу. Архітектурне проектування повинно було врахувати низку вимог замовників (це Fondo Abitare Sociale Milan, Italy і Polaris Investment Italia SGR). Концептуально - створити цілісне середовище проживання з розвинуеною інфраструктурою (проживання, побутові сервіси, розваги та заняття спортом, навіть "покроковий" доступ до живої природи), розраховане на молодого міського жителя. Технічно - забезпечити відповідність вищому класу сучасних еко-стандартів і комфорту за порівняно невисокої ціни (варто зазначити, що помітну частину витрат на оренду житла та пільг з його викупу надає місто).

Візуалізація конструкції Via Cenni, Rosseprodi Associati S. R. L. Затверджений до 2009 року проєкт припускав використання замість бетону, цегли і сталі - перехресно-клеєної деревини, CLT панелей для формування самонесучої конструкції будівель. Однак і традиційним будівельним матеріалам знайшлося місце - бетон і метал застосовують у фундаменті, елементах цокольного поверху і сходах (при цьому сходові шахти збирають із CLT панелей). Внутрішнє оздоблення і фасад приховують стіни з конструкційної деревини, забезпечуючи звичне для городянина візуальне середовище. "Дерево", у широкому сенсі рослинність, представлено "живими" екземплярами у сквері, клумбах, зеленому даху.

Під час проєктування комплексу (архітектурне проєктування Rosseprodi Associati S.R.L. / www.rossiprodi.it, інженерні розробки та планування робіт: Borlini&Zanini SA, Andrea Bernasconi, Cristina Zanini Barzaghi, Maria Rosaria Pes) були використані напрацювання, що застосовувалися в будівництві малоповерхових екопоселень і сучасних енергоефективних розумних осель. Тож у Via Cenni поєднуються горизонтальне планування комунікацій таунхаусів із вертикальним міських багатоповерхівок, децентралізація житлових приміщень і загальне управління системами енергозабезпечення та комунікацій.

План комплексу Via Cenni, Rosseprodi Associati S.R.L і сайт проєкту Via Cenni. Будівельні та монтажні роботи виконувалися компаніями: MAK Building GmbH (Австрія), Carron S.p.A (Італія) і Service Legno S.r.l (Італія). Дерев'яна частина комплексу побудована з клеєної деревини - CLT панелей від фінсько-шведської лісопромислової компанії Stora Enso.

Чотири дерев'яні 9-поверхівки (висота 28 метрів) об'єднані спільним цокольним поверхом і галереями, утворюючи єдиний комплекс Via Cenni із зеленим сквером у центрі. Основа кожної вежі з CLT панелей - 13,5х19 м. Загалом у комплексі 124 квартири різної площі: 50, 75, 100 кв. м.

Інтер'єр квартири, сайт проєкту Via Cenni. Для будівництва було використано 6000 куб. м перехресно-клеєної деревини різної товщини і кількості шарів. Останнє - характерна особливість проєкту, яку можна віднести на рахунок "італійського дизайну". Дерев'яні висотки "холодної" Європи монтуються зі стандартних готових

однакових за товщиною панелей. Теплий Італії, для якої важливіші механічні характеристики і радше різноманітність, ніж уніфікація в дизайні, у проєкті Via Cenni знадобилися панелі CLT товщиною від 120 до 230 мм, трьох, п'яти і семишарові. Наймасивніші семишарові 230 мм панелі утворюють горизонтальні перекриття над великими прольотами (до 6,7 м), п'ятишарові 200 мм - меншими (до 5,8 м). Вертикальні стіни нижнього дерев'яного поверху зібрані з CLT панелей 200 мм товщини, а до 9-го поверху товщина панелей поступово (2, 3, 4 поверхи - 180 мм, 5, 6 - 160 мм, 7, 8 - 140 мм) знижується до 120 мм (тришарова). Конструкція веж враховує необхідний запас міцності панельної конструкції в разі часткового пошкодження, пожежі та сейсмічних навантажень.

Комплекс Via Cenni, компанія Stora Enso. Завдяки застосуванню готових дерев'яних модулів CLT Stora Enso вдалося скоротити час будівництва на половину щодо традиційних методів і технологій. А разом з цим, витрати на будівництво та навантаження на міське середовище. Проєкт за енергоефективністю оцінюється як "клас А", тобто найвищий. Економія ресурсів під час його експлуатації становить 70-80% при збереженні звичного рівня комфорту. Забезпечується вона не тільки пасивними засобами (теплоізоляція), а й активними - у системи вентиляції та обігріву включено теплові машини, резервуарами тепла для яких слугують ґрунтові води. Для поливу і технічних потреб комплекс оснащений системами збору дощової води [6].

2.6 14-поверховий житловий будинок Treet

У 2015 році було здано в експлуатацію 14-поверховий житловий будинок Treet ("Дерево") в Бергені (Damsgardsveien 99, Bergen, Norway). Проєкт розроблявся з 2005 року [7].



Рисунок 2.6 - Житловий будинок із CLT-панелей Treet у м. Берген, Норвегія [7]

Квартири-модулі вироблені компанією Koduma. Зі збільшенням розмірів споруди зростають і розміри елементів (деталей) її конструкції. Масштабний ефект - одна з перешкод для використання дерева (деревини) в багатоповерховому будівництві. Отримання цілісних деталей великої довжини і перерізу з натурального дерева для будівництва житлових багатоповерхових будинків або просто неможливе, або обходиться занадто дорого. Однак сучасні технології (клеєна деревина, зокрема виробництво CLT панелей, композитів на основі ацетильованої деревини) дають змогу "виросувати штучні" дерев'яні деталі потрібного розміру та профілю. А те, що ми досі не живемо в дерев'яних багатоповерхівках, скоріше результат технологічної інерції - слідування звичним, стандартним рішенням і небажання впроваджувати нове, порушуючи сформовану індустрію масового будівництва.

Проте будівництво житлових багатоповерхових будинків з дерева ведеться. Так, у 2015 році було здано в експлуатацію 14-поверховий житловий будинок Treet ("Дерево") в Бергені (Damsgardsveien 99, Bergen, Norway). Проект Treet розроблявся з 2005 року за активної участі компанії Bergen і Omegn Building Society (BOB), чиею власністю будівля і є. Проектування та інженерні розробки здійснювали агентство Sweco і конструкторське бюро Artec Arkitekter. Будівля Treet посідає друге місце у світі за висотою (49 м, 14 поверхів). Серед реалізованих проєктів лідирує Brock Commons у Ванкувері, Канада (53 м, 18 поверхів). На

третьому місці стоїть Forte з Мельбурна, Австралія (32 м, 10 поверхів).

Інтер'єр і планування квартири в будинку Treet Місцеві погодні умови (берег Північного моря) вимагали від споруди хорошої стабільності за сильних вітрів, відповідності нормативам пасивного будинку (ефективного теплозахисту загалом), стійкості конструкції та матеріалів до кліматичних чинників (опаді, вологість, вітер). При цьому потрібно було продемонструвати можливість застосування деревини і явно показати це (забезпечити можливість бачити дерев'яну конструкцію та оздоблення). Крім іншого, Treet замислювався, як комфортний житловий комплекс із підземною парковкою, спортивним залом, терасами на верхніх поверхах і виходом до яхтових пірсів.

Для задоволення всіх вимог було обрано проєкт, у якому каркас (власне каркас, шахти сходів і ліфтів) із CLT-деревини (виробник - компанія MERK Timber) зв'язував разом готові житлові модулі з переробленої деревини (виробник - компанія KodumaJa). Для будівництва Treet компанія MERK Timber надала CLT марки LENO розмірами до 16x3 м. Збірку несучих ферм, ліфтових шахт і перекриттів із нього виконувала компанія-партнер MERK Timber - Moelven Limtre [7].

Збірка ферм каркаса будівлі Treet з CLT LENO (MERK Timber), підприємство Moelven Limtre Дерев'яні конструкції порівняно легкі, що дає змогу обходитися не настільки масивними фундаментами, як під час будівництва з каменю або бетону. Однак без додаткового навантаження, самі по собі, вони не можуть забезпечити необхідної стабільності за сильних бічних вітрів. Для збільшення масивності та жорсткості споруди на 5, 10 і 14 поверхах Treet розміщені бетонні рівні.

Під час спорудження будівель з бетону доводиться вирішувати протилежну задачу - з метою зменшення ваги конструкції і навантаження на фундамент і нижні поверхи застосовується попередньо напружений залізобетон. Руйнівні для бетону розтягувальні навантаження компенсуються не додатковою вагою, а впровадженням у масу попередньо (до затвердіння бетону) розтягнутих металевих елементів (арматури). В умовах сильних вітрових навантажень масивність бетонних конструкцій - плюс на їхню користь. Але якщо таких навантажень немає,

легкі дерев'яні конструкції кращі.

Виробництво квартир-модулів на підприємстві компанії Kodumaja Від негоди дерев'яні каркас і житлові блоки Treet захищають засклені балкони (північний і південний боки) і металеве облицювання, під яким прокладено ефективну термоізоляцію (західний і східний боки). Велика площа скління балконів не тільки дає можливість споглядати мешканцям міську і природну панораму (фіорд і пагорби), а й відкриває для спостереження зовні дерев'яний каркас будівлі. Для зовнішнього оздоблення застосовувалися також композитні дерево-полімерні матеріали Tricoya з наповнювачем з ацетильованої деревини.

Вид на Treet Проект Treet цікавий не тільки новизною конструкції та застосуванням деревини для багатоповерхового будівництва. У ньому поєдналися інженерні методи зведення фермових мостових конструкцій і модульних малоповерхових жител. Готові житлові одно- і багатокімнатні модулі Kodumaja виготовлені (на підприємстві в Естонії) з великою точністю не просто для швидкого монтажу конструкції, а й для можливості під'єднання комунікацій (електроживлення, вентиляції та опалення, пожежогасіння та ін.). На місці вони швидко збираються в 4-поверхові збірки, зміцнюються дерев'яним каркасом і навантажуються бетонним рівнем-перекриттям. Зовнішній корпус з балконів і навісних стін з хорошою власною теплоізоляцією утворює кокон, що захищає деревину від негоди і зберігає тепло. Під час проектування робився акцент на стандартні промислові будівельні рішення, а не на унікальні методики. Treet розглядається як пробний проєкт, який дасть змогу впровадити в індустрію такий тип конструкції і спосіб будівництва [7].

2.7 Квартал Wood City

Квартал Wood City в Гельсінкі. Будівельні роботи зі зведення першої житлової будівлі почалися в січні 2017 року. Згідно з поточними планами, Wood City може бути побудований до кінця 2019 року[8].



Рисунок 2.7 - Квартал із CLT-панелей Wood City у м. Гельсінкі, Фінляндія [8]

Міські багатоповерхівки - це бетон і камінь, метал і скло. Здається, у сучасному міському житловому будівництві та міському архітектурному проектуванні місця дереву, як конструкційному матеріалу, немає. Однак розуміння важливості проблем довкілля загалом (необхідність зменшення викидів вуглекислого газу, необхідність його консервації рослинами, поновлюваність природних ресурсів) і впливу оточуючого людину оточення на її життя дають привід по-новому подивитися на деревину (і конструкційну деревину, й оздоблювальну).

Тим більше що сучасна перероблена або правильно, раціонально оброблена деревина не поступається матеріалам для масової забудови. Переконавшись у цьому, наглядові органи дозволяють використовувати дерево для багатоповерхового будівництва, а архітектори-ентузіасти пропонують проекти дерев'яних будівель для комфортного проживання і роботи в міському середовищі.

Стараннями громади, будівельників і архітекторів Гельсінкі в районі Jätkäsaari планують побудувати навіть невеличкий квартал Wood City, що складається з двох житлових восьмиповерхівок, однієї офісної будови, готелю і парковки.

Wood City - це приблизно 27 тисяч квадратних метрів будівель, які будуть побудовані на п'ятачку біля води. Вони сформують затишний комплекс для життя і роботи з огороженим від міської метушні зеленим двором у центрі. Проєкт має продемонструвати кілька реалій та ідей [8].

По-перше, рівень якості фінського дерев'яного будівництва та будівельних матеріалів. По-друге, можливість використання сучасних деревоматеріалів (масив, конструкційна деревина LVL і CLT) у багатопверховому будівництві. По-третє, можливість застосування вже існуючих рішень і технологій для масового, серійного будівництва дерев'яного житла.

Нарешті, одним із найважливіших аспектів проєкту є прагнення показати позитивну роль деревини в середовищі існування. Дерево стане не тільки видимим і відчутним матеріалом у конструкції будівель і житлових приміщень, архітектори використовуватимуть природні рослинні мотиви під час промальовування форм будівель (наприклад, дерев'яний повітряний навіс біля входу в готель Wood City) і в ландшафтному дизайні.

Ініціаторами Wood City виступили міська адміністрація Гельсінкі, будівельна компанія SRV і лісопромислова компанія Stora Enso. Незабаром після того, як у Фінляндії суттєво спростили процедуру отримання дозволу на будівництво житлових будинків із деревини до 8 поверхів (2011 рік), вони заснували архітектурний конкурс для охочих узяти участь у проєкті. Переможцем 2012 року стало архітектурне бюро Anttinen Oiva Arkkitehdit (архітектори Ves Tuomas Oiva і Anna Selina Anttinen). Активну участь у проєктуванні (разом з ініціаторами SRV і Stora Enso) також брав муніципальний забудовник АТТ (Helsinki municipal housing developer АТТ), якому Wood City і належить.

Інтер'єр ділового центру, Wood City, проєкт, візуалізація. Спочатку передбачалося, що будівництво почнеться вже у 2013-2014 р. і завершиться через 2 роки. Однак підготовчі роботи затягнулися, а влада видала дозвіл на будівництво 8-поверхової дерев'яної офісної будівлі та 3-поверхового паркінгу Wood City лише наприкінці літа 2015 року. Будівельні роботи зі зведення першого житлового будинку почалися в січні 2017 року. Згідно з поточними планами, Wood City може

бути побудований до кінця 2019 року [8].

Житлові будівлі Wood City будуватимуть за каркасно-модульною технологією, готель - каркасною. Компанія Stora Enso, виробник продуктів (у тому числі інноваційних) на основі деревини для будівництва та оформлення інтер'єрів, поставить для цього готові до монтажу елементи (тобто заздалегідь виготовлені в заводських приміщеннях) з масиву, CLT- (Cross-Laminated Timber/перехресно-склеєні панелі) та LVL- (Laminated Veneer Lumber/клеєні шаруваті деревоматеріали) деревини. З масиву будуть виготовлені житлові модулі. Каркас і несучі конструкції - з конструкційних CLT і LVL.

Вперше в практиці будівництва багатоповерхових дерев'яних будівель у Фінляндії буде застосована техніка швидкого зведення без спеціального захисту від атмосферних впливів. Такий спосіб будівництва широко застосовується в Європі і передбачає точне планування робіт і швидке зведення каркаса з матеріалів, що перебувають у рівновазі за вологістю з навколишнім середовищем, з подальшим швидким монтажем даху. Відразу після завершення будівництва можливі й оздоблювальні роботи. Високі темпи робіт (приблизно, тиждень на поверх) дадуть змогу скоротити витрати і знизити вартість реалізації проєкту, який все ж дорожчий, ніж ті, що виконуються з традиційними матеріалами для багатоповерхового будівництва.

Околиці території кварталу Wood City під час проведення перегонів Tall Ships Races у 2013 році. Вища вартість реалізації проєкту не повинна сприйматися як необхідна плата за застосування дерева. Проєкт дорожчий, тому що він інноваційний. Потребує розробки та впровадження технологій, альтернативи яким у традиційному багатоповерховому будівництві давно оптимізовані за витратами. З іншого боку, Wood City - будови нового покоління, що задовольняють вищим вимогам щодо комфорту та енергоефективності. А деревина, як матеріал з кращими, ніж у інших матеріалів для масового будівництва, теплоізоляційними показниками, навіть дасть змогу скоротити витрати відносно можливих при застосуванні звичайних будматеріалів для зведення багатоповерхівок.

Wood City у Гельсінкі - перший проєкт забудови дерев'яними

багатоповерховими будинками цілого, нехай і невеликого, кварталу. Поки що багатоповерхове дерев'яне домобудівництво пробивається в індустрії окремими дерев'яними хмарочосами, і прориви ці вдалі. А якщо так, то наступний крок - локальні масові забудови, як-от Wood City, що дають змогу не тільки пробувати дерево, а й знижувати вартість будівництва завдяки масовості та логістиці [8].

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 COMSOL Multiphysics - чисельне моделювання теплотехнічних характеристик

COMSOL Multiphysics - це програмне забезпечення для розрахунків і моделювання величезної кількості інженерних і наукових завдань, що ґрунтуються на диференціальних рівняннях у приватних похідних методом кінцевих елементів. Для проведення чисельного дослідження не потрібно глибокого знання математичної фізики і розуміння методу кінцевих елементів. Ця можливість забезпечується вбудованими фізичними моделями. У пакеті COMSOL Multiphysics виконується автоматична трансформація початкових параметрів у коефіцієнти математичних рівнянь. Взаємодію оператора з фізичною і математичною мовою організовано через графічний інтерфейс користувача (Рисунок 3.1). Крім цього, розробниками надано можливість роботи за допомогою мови скриптів COMSOL Script або за допомогою широко відомого коду MATLAB.

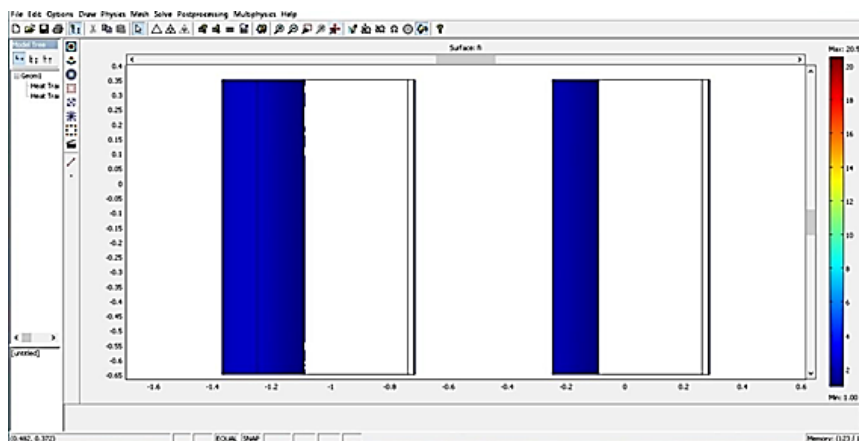


Рисунок 3.1 - Графічний інтерфейс пакета COMSOL MULTIPHYSICS

Метод скінченних елементів, що використовується в пакеті COMSOL, є чисельним методом розв'язання задач прикладної фізики. Метод широко використовується для розв'язання задач механіки деформованого твердого тіла, теплообміну, гідродинаміки та електродинаміки. Цей метод ґрунтується на

наближенні дискретною моделлю безперервної функції, ця модель побудована на множині кусочно-безперервних функцій, визначених на скінченній кількості підобластей, які називаються скінченними елементами.

Робота в пакеті COMSOL Multiphysics поділена на кілька етапів:

1. Побудова геометрії моделі: одновимірна, двовимірна або тривимірна моделі.
2. Вибір фізичної моделі.
3. Вибір розв'язання стаціонарної або нестаціонарної задачі.
4. Завдання фізичних характеристик матеріалів.
5. Внесення початкових умов.
6. Встановлення граничних умов.
7. Візуалізація та аналіз результатів.

Під час чисельного розрахунку теплотехнічних характеристик зовнішньої огорожувальної конструкції, як і написано в пункті 4 показаному вище, задається геометрія досліджуваної моделі. На наступному етапі, задаються початкові та граничні умови згідно з [9,10]:

$$\alpha_{\text{в}} = 8.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C});$$

$$\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}),$$

де $\alpha_{\text{в}}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні зовнішньої огорожувальної конструкції, Вт/ м² °C;

$\alpha_{\text{н}}$ - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні зовнішньої огорожувальної конструкції, Вт/м² °C.

Параметри внутрішнього і зовнішнього середовища представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Параметри для зовнішнього і внутрішнього середовища, що використовуються в розрахунках

№	Параметри	Величина параметрів
1	Температура зовнішнього повітря, t_{ext} , °C	-27

Продовження таблиці 3.1

№	Параметри	Величина параметрів
2	Температура внутрішнього повітря житлових приміщень, t_{int} , °C	+21
3	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стінового огороження, α_{ext} , Вт/(м ² °C)	23
4	Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стінової огорожі, α_{int} , Вт/(м ² °C)	8.7
5	Парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря	1256
6	Парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря	160

Після виконання чисельного розрахунку в програмному комплексі "COMSOL MULTIPHYSICS" обчислимо опір теплопередачі огорожувальної конструкції R , м² °C/Вт. Для цього розрахуємо втрати теплоти через квадратний метр зовнішньої поверхні q , Вт/м². Значення t_{int} і t_{ext} взято з таблиці 3.1. Вираз для R має такий вигляд: $R=(t_{int}-t_{ext})/q= \Delta t/q$. Для розв'язання задачі розподілу полів парціальних тисків у різних варіантах досліджуваних у роботі зовнішніх вогнетривких конструкцій, використовували значення тепло-вологісних парціальних тисків.

3.2 Результати чисельних досліджень

3.2.1 Температурні характеристики

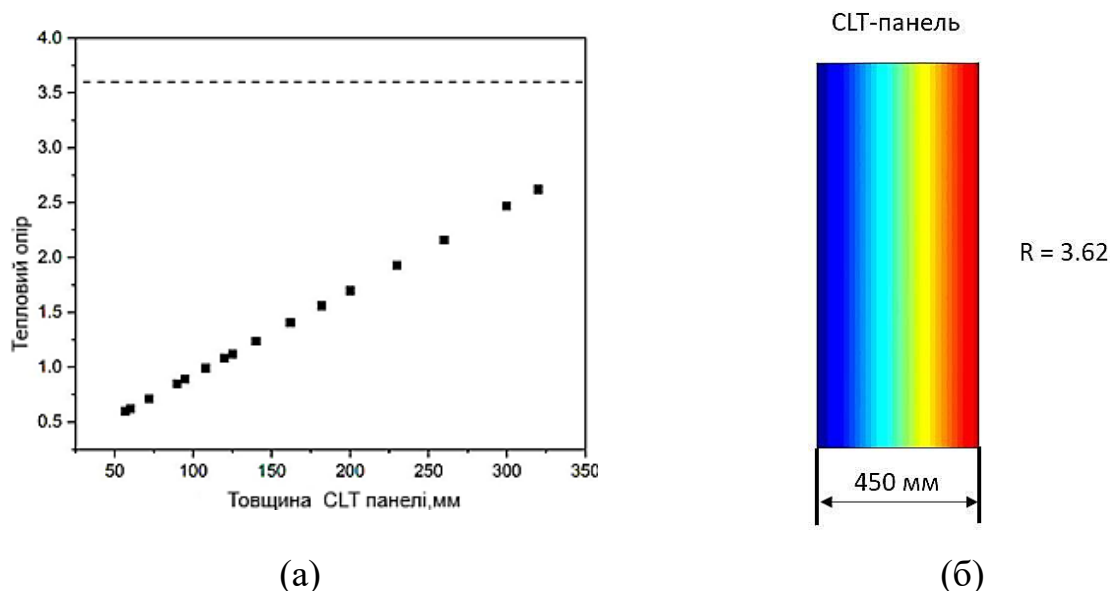
Було розглянуто зовнішню огорожувальну конструкцію, що складається виключно з CLT-панелі, без використання утеплювача. Така конструкція не відповідає нормам щодо опору теплопередачі.

На рисунку 3.2 (а) представлено залежність теплового опору зовнішньої огорожувальної конструкції від товщини комерційно доступних CLT-панелей. Штриховою лінією показано рівень теплового опору, що дорівнює 3.6 м² °C/Вт.

Для того щоб норми за тепловим опором виконувалися, товщина панелі має бути 450 мм, (Рисунок 3.2 б).

Досліджено залежність теплового опору огорожувальної конструкції, що має два шари: міжвінцевий утеплювач (дивіться пункт 1.4) і 3-х шарова CLT-панель. Товщина утеплювача варіювалася від 40 до 160 мм. При цьому товщина

доступних на ринку 3-х шарових CLT-панелей варіюється від 57 до 120 мм. Згідно з отриманими даними, за товщини утеплювача понад 120 мм, можна використовувати CLT-панель будь-якої товщини.



а) залежність теплового опору від товщини CLT-панелі; б) розподіл температурних полів у гіпотетичній clt-панелі товщиною 450 мм.

Рисунок 3.2 - Залежність теплового опору огорожувальної конструкції

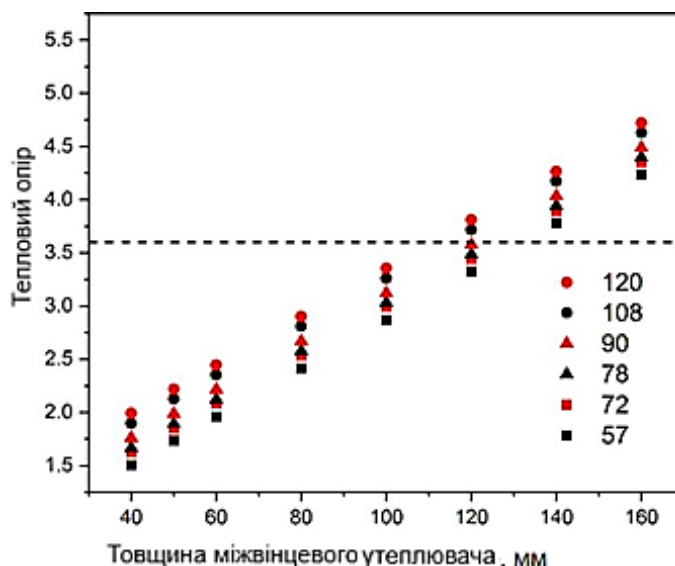
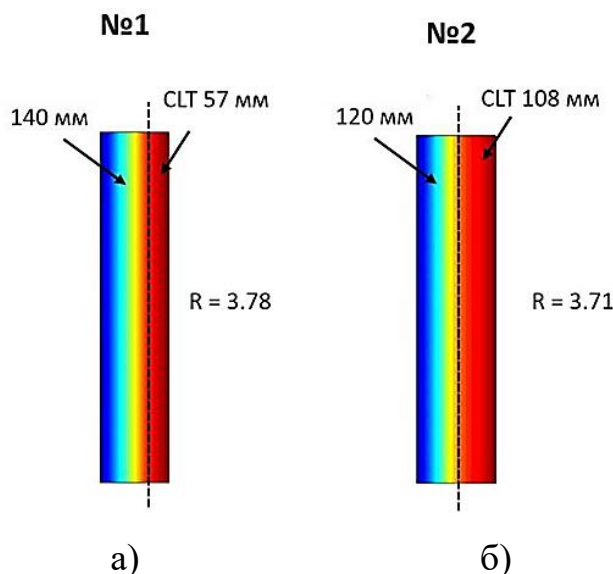


Рисунок 3.3 - Залежність теплового опору від товщини міжвінцевого утеплювача

Товщина CLT-панелей обиралася рівною: 57, 72, 78, 90, 108 і 120 мм.

На рисунку 3.4 показано варіанти стінової конструкції, обрані з даних,

отриманих на рисунку 3.3. Варіант №1 міжвінцевий утеплювач 140 мм і CLT-панель 57 мм, Варіант №2 міжвінцевий утеплювач 120 мм і CLT-панель 108 мм.



а) варіант №1 міжвінцевий утеплювач 140 мм і CLT-панель 57 мм; б) варіант №2 міжвінцевий утеплювач 120 мм і CLT-панель 108 мм.

Рисунок 3.4 - Варіанти зовнішніх огорожувальних конструкцій із застосуванням 3-х шарових CLT-панелей

Досліджено залежність теплового опору зовнішньої огорожувальної конструкції з 5-х шарових CLT-панелей із зовнішнім міжвінцевим утеплювачем. Товщина CLT панелей варіювалася від 125 до 200 мм. З отриманих результатів випливає, що під час використання п'ятишарових CLT-панелей товщина міжвінцевого утеплювача не може бути меншою за 100 мм, див. рисунок 3.5.

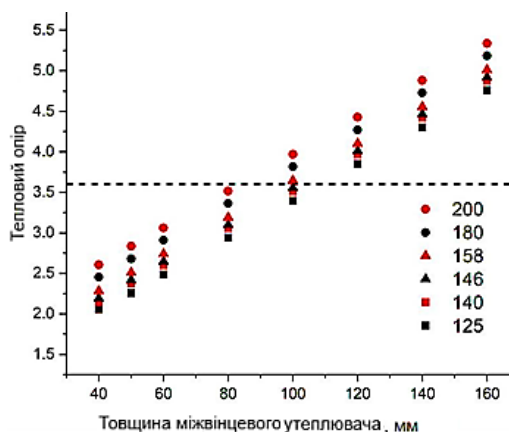


Рисунок 3.5 - Залежність теплового опору від товщини міжвінцевого утеплювача для доступних на ринку 5-х шарових CLT-панелей

Товщина CLT-панелей обиралася рівною: 125, 140, 146, 158, 180 і 200 мм

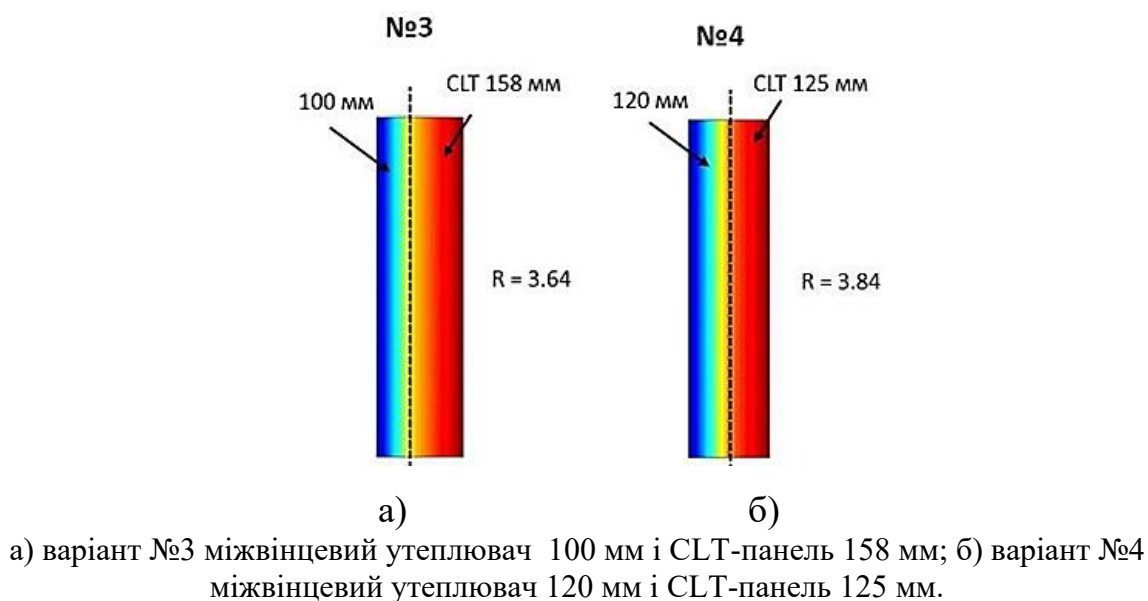
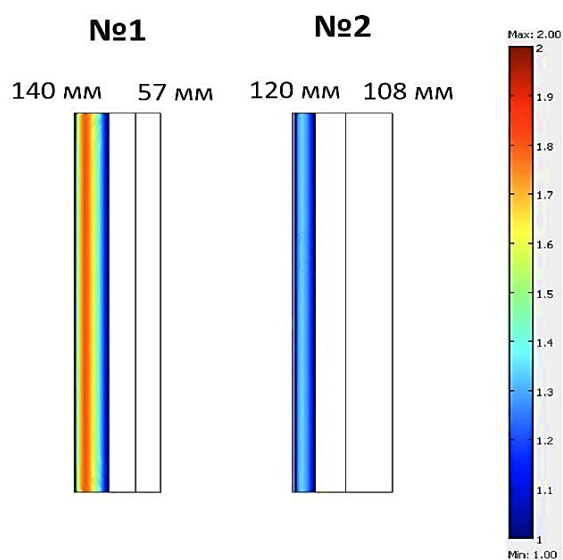


Рисунок 3.6 - Варіанти зовнішніх огорожувальних конструкцій із застосуванням 5-ти шарових CLT-панелей

На рисунку 3.6 показано конструкцію №3: міжвінцевий утеплювач 100 мм і CLT-панель 158 мм і конструкцію №4: міжвінцевий утеплювач 120 мм і CLT-панель 125 мм. З отриманих результатів випливає, що під час використання п'ятишарових CLT-панелей товщина міжвінцевого утеплювача не може бути меншою за 100 мм.

3.3 Вологісні характеристики

Виконано температурно-вологісні розрахунки 4-х обраних конструктивів утеплювач/CLT-панель. Результати показано на рисунках 3.7 і 3.8. Згідно з температурно-вологісними розрахунками, найбільшу стійкість до вологонакопичення має конструкція №3 100 мм міжвінцевий утеплювач і 158 мм CLT-панель.

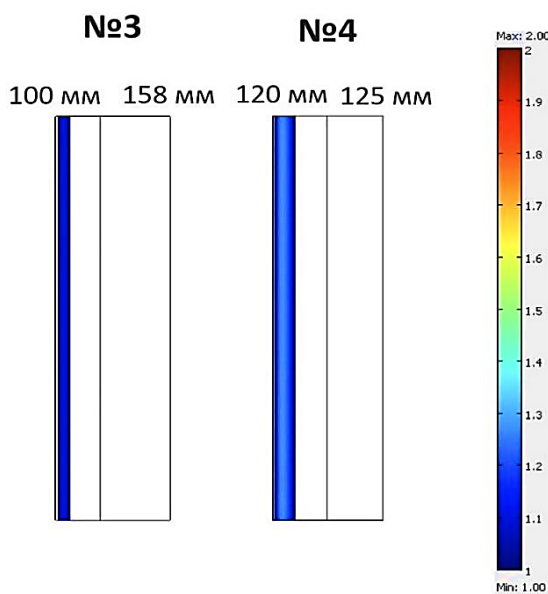


а)

б)

- а) конструкція з міжвінцевого утеплювача завтовшки 140 мм і CLT-панелі 57 мм;
 б) конструкція з міжвінцевого утеплювача завтовшки 120 мм і CLT-панелі 108 мм.

Рисунок 3.7 - Розподіл потенційної можливості накопичення вологи

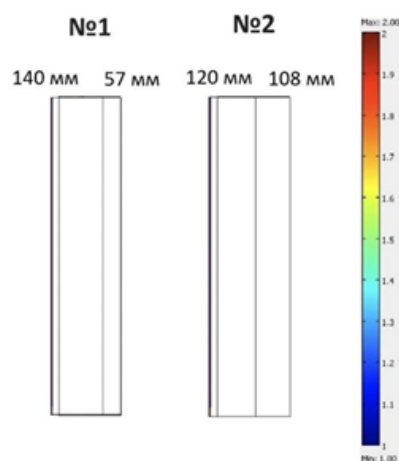


а)

б)

- а) конструкція з міжвінцевого утеплювача завтовшки 100 мм і CLT-панелі 158 мм;
 б) конструкція з міжвінцевого утеплювача завтовшки 120 мм і CLT-панелі 125 мм.

Рисунок 3.8 - Розподіл потенційної можливості накопичення вологи

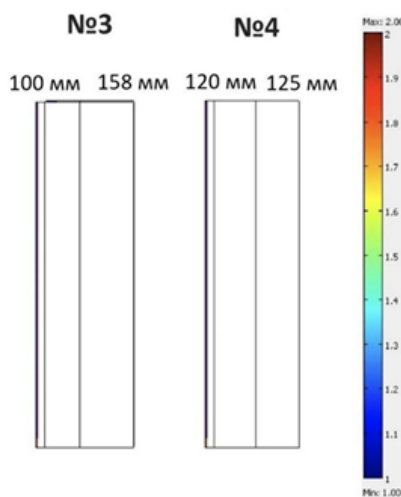


а) б)

а) конструкція з вітровологозахисної мембрани, міжвінцевого утеплювача завтовшки 140 мм і CLT-панелі 57 мм; б) конструкція з вітровологозахисної мембрани, міжвінцевого утеплювача завтовшки 120 мм і CLT-панелі 108 мм.

Рисунок 3.9 - Розподіл потенційної можливості накопичення вологи в конструкції

Застосування вітровологозахисної мембрани дає змогу звести до мінімуму ймовірність накопичення вологи в усіх конструкціях, див. рисунки 3.9 і 3.10, отже, для будівництва можливе застосування будь-якого з 4 представлених варіантів.



а) б)

а) конструкція з вітровологозахисної мембрани, міжвінцевого утеплювача завтовшки 100 мм і CLT-панелі 158 мм; б) конструкція з вітровологозахисної мембрани, міжвінцевого утеплювача завтовшки 120 мм і CLT-панелі 108 мм.

Рисунок 3.10 - Розподіл потенційної можливості накопичення вологи в конструкції

3.3.1 Розрахунки кутового з'єднання зовнішньої огорожувальної конструкції

Було виконано температурно-вологісний розрахунок вузлів із запропонованих варіантів зовнішніх огорожувальних конструкцій. Згідно з [5], температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні конструкції, що огорожує, має бути не більшим за 4 градуси для зовнішніх стін. Отримані чисельно температурні показники наведено на рисунках 3.11 і 3.12. Як видно з цих рисунків, жодна із запропонованих конструкцій не задовольняє цій умові.



а) конструкція з вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач завтовшки 140 мм і CLT-панелі 57 мм; б) конструкція з вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач товщиною 120 мм і CLT-панелі 108 мм.

Рисунок 3.11 - Розподіл температурних полів у вузлі зовнішньої огорожувальної конструкції



а) конструкція з вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач товщиною 100 мм і CLT-панелі 158 мм; б) конструкція з вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач товщиною 120 мм і CLT-панелі 108 мм.

Рисунок 3.12 - Розподіл температурних полів у вузлі зовнішньої огорожувальної конструкції

Було виконано серію розрахунків із підбору конфігурації міжвінцевий утеплювач /товщина CLT-панелі, в результаті якої було отримано конструкцію, в якій температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції не перевищив 4-ри градуси, див. рисунок 3.13.

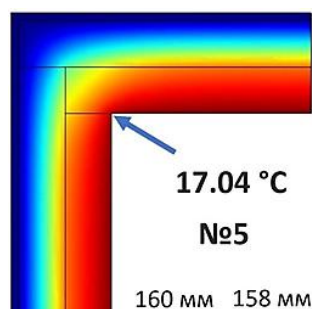


Рисунок 3.13 - Розподіл температурних полів у вузлі зовнішньої огорожувальної конструкції з вітровологозахисної мембрани, міжвінцевого утеплювача товщиною 160 мм і CLT-панелі 158 мм

3.4 Висновки з розділу 3

На основі виконання теплотехнічного розрахунку в пакеті COMSOL Multiphysics було запропоновано варіанти зовнішніх огорожувальних конструкцій з міжвінцевого утеплювача і CLT-панелей. Температурно-вологісні розрахунки засвідчили, що найбільшу стійкість до вологонакопичення має конструкція №3 міжвінцевий утеплювач завтовшки 100 мм і CLT-панель завтовшки 158 мм. Застосування вітровологозахисної мембрани дає змогу звести до мінімуму ймовірність накопичення вологи у всіх варіантах досліджених конструкцій.

Під час розрахунку кутових елементів зовнішніх огорожувальних конструкцій з утеплювача міжвінцевого і CLT-панелей було встановлено, що варіанти, які задовольняють критерію теплового опору, а саме: №1 вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач товщиною 100 мм і CLT-панель 158 мм, №2 вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач

товщиною 120 мм і CLT-панель 108 мм, №3 вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач товщиною 100 мм і CLT-панель 158 мм, №4 вітровологозахисна мембрана, міжвінцевий утеплювач завтовшки 120 мм і CLT-панель 108 мм, не задовольняють у кутових елементах нормам за температурним перепадом між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції. туною внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції.

Запропоновано конструктив із вітровологозахисної мембрани, міжвінцевого утеплювача завтовшки 160 мм і CLT-панелі 158 мм, який задовольняє нормативу за тепловим опором зовнішньої огорожувальної конструкції, вологонакопиченню і перепаду температур у кутовому елементі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Охорона праці – це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних та соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Організація будівельного майданчика, ділянки робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Відповідно до статті Закону України «Про охорону праці» (далі — Закону) законодавство про охорону праці складається з цього Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», законів України «Про пожежну безпеку», «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності» та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів. В основі всіх цих документів лежить Конституція України.

Основою правового регулювання охорони праці в Україні є Конституція України, яка гарантує кожному громадянину право на безпечні та здорові умови трудової діяльності (ст. 43, 45, 46, 49, 57). Ці положення формують фундамент державної політики щодо захисту прав працівників.

Кодекс законів про працю містить норми, що визначають права та обов'язки роботодавців і працівників у сфері охорони праці. Документ встановлює вимоги до забезпечення безпечних умов трудової діяльності та визначає механізми відповідальності у разі їх порушення.

До ключових законів, що регулюють питання охорони праці, належать:

- Закон України "Про охорону праці" – визначає основні напрями державної політики у сфері охорони праці та встановлює права та обов'язки працівників і роботодавців.

– Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання" – регламентує порядок соціального захисту та компенсацій у разі виробничих травм.

– Закон України "Про охорону здоров'я" – містить положення щодо медичного забезпечення та профілактики професійних захворювань.

– Закон України "Про пожежну безпеку" – регулює заходи протипожежного захисту та безпеки на робочих місцях.

– Закон України "Про використання ядерної енергії і радіаційний захист" – визначає заходи безпеки для працівників, що працюють у сфері ядерної енергетики.

– Закон України "Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення" – встановлює вимоги до санітарних умов праці та профілактики професійних захворювань.

– Закон України "Про цивільну оборону" – регламентує заходи безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

У сфері будівельних робіт охорона праці регулюється відповідними державними будівельними нормами. Зокрема:

– ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення" містить вимоги щодо забезпечення безпеки праці при виконанні будівельно-монтажних робіт.

4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

Проектом передбачені інженерні рішення з техніки безпеки будівельно-монтажних та супутніх допоміжних робіт.

При виконанні будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог [36]. Чинна система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє

підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва. Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у встановлені терміни. Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

До обов'язків адміністрації будівельних організацій з охорони праці входять:

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;
- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;
- забезпечення працюючих спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту;
- проведення інструктажів та навчання робочих правил техніки безпеки;
- організація пропаганди безпечних методів праці, забезпечення будівельних об'єктів плакатами, запобіжними написами тощо;
- організація навчання та щорічної перевірки знань, правил та норм охорони праці інженерно-технічного персоналу;
- проведення медичних оглядів осіб, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою та шкідливими умовами;
- розслідування всіх нещасних випадків та профзахворювань, що сталися на виробництві, а також їх облік та аналіз;
- ведення документації та перевірка встановленої звітності з охорони праці;
- видання наказів та розпоряджень з питань охорони праці.

Загальне керівництво робіт з техніки безпеки та виробничої санітарії, а також відповідальність за її стан покладається на керівників (начальників та головних інженерів) будівельних організацій.

4.1.2 Огородження території

Територія будівельного майданчика має бути виділена на території огорожами:

- захисно-охоронними, призначеними для запобігання доступу сторонніх осіб на ділянки з небезпечними та шкідливими виробничими факторами та забезпечення збереження матеріальних цінностей;
- захисними, призначеними лише запобігання доступу сторонніх осіб у ділянки з небезпечними виробничими чинниками;
- сигнальними, призначеними для попередження про межі територій та ділянок з небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

Панелі огорож повинні бути прямокутними зі стандартною довжиною $L=1,2; 1,6; 2,0$ м. Відстань між суміжними елементами огороження заповнення полотна панелей має бути 80...100 мм. Відстань між стійками сигнальних огорож не більше 6 м.

4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику

При організації будівельного майданчика, розміщення ділянок робіт, робочих місць, проїздів будівельних машин, транспортних засобів, проходів для людей слід встановити небезпечні для людей зони, у яких постійно діють або потенційно можуть діяти небезпечні виробничі фактори.

Згідно [36] до зон небезпечних виробничих факторів відносяться зони:

- у смузі шириною до 2-х метрів по периметру від не захищених перепадів за висотою на 1,3 м і більше;
- у місцях переміщення машин та обладнання або їх робочих органів та відкритих частин, що рухаються або обертаються;

- у місцях, над якими відбувається переміщення вантажів вантажопідіймальними кранами;
- поблизу від відкритих неізованих струмопровідних частин електроустановок та ЛЕП;
- у місцях, де рівні шуму, вібрації чи забруднення повітря робочої зони перевищують гігієнічні норми:

До зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів відносяться:

- монтажні зони - ділянки території поблизу будівлі або споруди, що будується;
- поверхи (яруси) будівель та споруд в одній захватці, над якими відбувається монтаж (демонтаж) конструкцій або обладнання.

4.1.4 Організація безпечних умов праці земляних робіт

Для забезпечення безпечних умов виконання земляних робіт необхідно дотримуватися наступних основних умов безпечного виконання робіт:

- Земляні роботи у зоні розташування діючих підземних комунікацій можуть проводитися лише з письмового дозволу організацій, відповідальних їх експлуатацію.
- Технічний стан землерийних машин повинен регулярно перевірятись із своєчасним усуненням виявлених несправностей. Екскаватор під час роботи необхідно розташовувати на спланованому місці.
- Під час роботи екскаватора забороняється перебування людей у межах призми обвалення та в зоні розвороту стріли екскаватора.
- Завантаження автомобілів екскаватором проводиться так, щоб ківш подавався збоку або ззаду кузова, а не через кабінку водія. Пересування екскаватора із завантаженим ковшем забороняється.

4.1.5 Організація безпечних умов праці бетонних робіт

Для забезпечення безпечних умов виконання бетонних робіт необхідно дотримуватися таких основних умов безпечного виконання робіт:

- опалубку, що застосовується для зведення монолітних залізобетонних конструкцій, необхідно виготовляти та застосовувати відповідно до проекту виконання робіт, затвердженого у відповідному порядку.
- при встановленні елементів опалубки на кілька ярусів кожен наступний ярус слід встановлювати лише після закріплення нижнього ярусу.
- при виробництві опалубних, арматурних, бетонних та розпалубних робіт необхідно стежити за кріпленням лісів та риштування, їх стійкістю, правильним улаштуванням настилів, сходів, поручнів та огорож.
- цитову опалубку колон, ригелів, перекриттів і стін з пересувних драбин допускається встановлювати при висоті над рівнем землі або нижчим перекриттям не більше 5,5 м.
- працювати на висоті від 5,5 до 8 м дозволяється тільки з пересувних риштування, що мають нагорі майданчик з огорожами.
- при зведенні залізобетонних стін для безпечної роботи будівельників-опалубників з обох боків необхідно встановити настили з огорожами через кожні 1,8 м за висотою.
- стан зібраних панелей та блоків опалубки, робочих настилів, навісних майданчиків та сходів на захватках щодня перед початком робіт перевіряє особа, відповідальна за виконання робіт та робить відповідну запис у журналі охорони праці та протипожежної охорони.
- усі робочі настили та перехідні сходи мають бути надійно закріплені відповідно до проекту.
- роботи на незакріплених підмостках суворо заборонені.
- до монтажу не допускається опалубка з несправними замками, петлями, захватами, великими люфтами у шарнірах та замках. Виявлені несправності слід усувати негайно.

- до початку монтажу опалубки міцність нижчих несучих монолітних конструкцій повинна бути не нижче 70% проектної.

- всі прорізи повинні бути закриті інвентарними щитами або захищені.

- до початку монтажу опалубки необхідно перевірити надійність з'єднання елементів опалубки, що входять до складу вузла, що піднімається, переконатися у відсутності незакріплених предметів на елемент опалубки, що переноситься.

- підйом та переміщення до місця встановлення елементів опалубки необхідно виконувати плавно, без обертання, коригування положення елемента виконувати на відтяжки. Не допускається виконувати монтажні роботи на висоті у відкритих місцях при швидкості вітру 15 м/с і більше, при ожеледиці, грозі або тумані, що виключає видимість у межах фронту робіт. Роботи з переміщення та встановлення вертикальних панелей та подібних до них конструкцій з великою вітрильністю слід припиняти при швидкості вітру 10 м/с і більше.

- розструповання елементів опалубки проводити тільки після належного їх закріплення або установки, що виключає мимовільне переміщення.

- панелі та блоки піднімати лише після їх повного звільнення від кріпильних елементів та відриву від бетону. Окремі панелі, крім підкосів, повинні зміцнюватися ланцюговими відтяжками для запобігання перекиданню. Особливу увагу звернути на стропування та підйом блоків опалубки. Щоб уникнути заклинювання блоку при вилученні його з комірки, блок при підйомі має бути строго вертикальним.

- робочі місця мають бути огорожені інвентарними огорожами. В разі відсутності огорожі робітники повинні користуватися запобіжними поясами. Місця прикріплення поясів вказуються виробником робіт та яскраво забарвлюються.

- під час грози та при вітрі силою 6 балів і більше (тобто при швидкості вітру понад 9,9 м/с) виконувати бетонні та залізобетонні роботи із зовнішніх лісів забороняється.

- арматурні вироби слід переміщувати та встановлювати лише у рукавицях.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Законодавча база України

Основу нормативно-правової бази в сфері цивільної оборони, захисту населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій складають: Кодекс цивільного захисту України, закони «Про війська цивільної оборони», «Про аварійно-рятувальні служби»; укази Президента України «Про Концепції захисту населення і територій у випадку загрози і виникнення НС» і Положення «Про міністерство України з питань НС і в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи», постанови Кабінету Міністрів України про затвердження «Положення про цивільну оборону України», «Про єдину державну систему попередження і реагування на НС техногенного і природного характерів», «Положення про керування з питань НС і цивільного захисту населення обласних і міських державних адміністрацій» та інші нормативні акти.

4.2.2 Стійкість будівлі від ударної хвилі

Нові об'єкти народного господарства повинні будуватися з урахування вимог, виконання яких сприяє підвищенню сталості об'єкта. Основні з них такі:

1. Будівлі і споруди на об'єкті необхідно розташовувати розосереджено. Відстані між будівлями повинні забезпечувати протипожежні розриви. При наявності таких розривів виключається можливість перенесення вогню з однієї будівлі на іншу, навіть якщо пожежу не гасять.

Ширина протипожежного розриву L_p м визначається за формулою:

$L_p = H_1 + H_2 + (15 \dots 20)$, де H_1 і H_2 — висоти сусідніх будівель, м.

Будівлі адміністративно господарського та обслуговуючого призначення повинні розташовуватися окремо від основних цехів.

2. Найважливіші виробничі будівлі слід будувати заглибленими або пониженої висотності, прямокутної форми у плані. Це зменшує парусність будівель і збільшує опірність їх ударній хвилі ядерного вибуху. Належну стійкість до впливу

ударної хвилі мають залізобетонні будівлі з металевими каркасами в бетонній опалубці.

Для підвищення стійкості до світлового випромінення у будівлях та спорудах, що будуються, повинні застосовуватися вогнетривкі конструкції, а також вогнетривка обробка елементів будівлі, які горять. У кам'яних будівлях перекриття повинні бути виготовлені з армованого бетону або виконані з бетонних плит. Великі будівлі повинні розділятися на секції вогнетривкими стінами (брандмауерами).

У ряді випадків при проектуванні та будівництві промислових будівель і споруд має бути передбачена можливість герметизації приміщень від проникнення радіоактивного пилу. Це особливо важливо для підприємств харчової промисловості і продовольчих складів.

3. У складських приміщеннях повинна бути мінімальна кількість вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин (бензин, гас, нафта, мазут) повинні розташовуватися в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу біля меж території об'єкта чи поза нею.

4. Деякі унікальні види технологічного обладнання доцільно розміщувати у найміцніших спорудах (підвалах, підземних приміщеннях) або у будівлях з легких вогнетривких конструкцій павільйонного типу, під накриттям чи без нього. Це обумовлюється тим, що у багатьох випадках обладнання може витримати набагато більший тиск ударної хвилі, ніж будівлі, в яких воно знаходиться, а при зруйнуванні будівель в результаті падіння конструкцій встановлене в них обладнання виходитиме з ладу [36].

5. На підприємствах, що виробляють або використовують сильнодіючі отруйні та вибухонебезпечні речовини, при будівництві і реконструкції необхідно передбачати захист ємностей та комунікацій від зруйнування ударною хвилею чи конструкціями, що падають, а також заходи, що виключають розливання отруйних речовин і вибухонебезпечних рідин.

6. Душові приміщення необхідно проектувати з урахуванням використання їх для санітарної обробки людей, а місця для миття машин — з урахуванням використання їх для знезараження автотранспорту.

7. Шляхи на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручне і найкоротше сполучення між виробничими будівлями, спорудами і складами; в'їздів на територію об'єкта має бути не менше двох з різних напрямків. Внутрізаводські залізничні шляхи повинні забезпечувати найпростішу схему руху, займати мінімальну площу території об'єкта та мати обгінні ділянки. Вводи залізничних ліній в цехи повинні бути, як правило, тупикові.

8. Системи побутової та виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків у міські каналізаційні мережі та пристрої для аварійних скидів у котловани, яри, траншеї тощо.

Дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Тому можливість елементів опиратися дії ударної хвилі характеризують тільки надлишковим тиском у її фронті, вважаючи, що масштаби руйнувань не залежать від потужності і висоти найбільш ймовірних ядерних вибухів.

Для визначення ступеня руйнувань чи ушкоджень:

- вивчають вихідні дані і розраховують параметри ударної хвилі на відповідних відстанях;
- для розрахованих значень надлишкових тисків оцінюють ступінь руйнування розглянутих елементів;
- оцінюють можливість виникнення вторинних вражаючих факторів;

- з огляду на ступінь руйнувань найслабших елементів об'єкта, визначають ступінь руйнування об'єкта в цілому.

Вихідними даними для оцінки фізичної стійкості є: конструктивні особливості елемента, його форма, вага, габарити, характеристики міцності [36].

Оцінка ступеня руйнувань будинків і споруд, сховищ і ПРУ, енергетичного устаткування і мереж, верстатного і технологічного устаткування, вимірювальної апаратури, засобів зв'язку й оповіщення, транспортних та інших засобів може здійснюватися або методом порівняння наявних довідкових даних для розглянутого виду чи аналогічного йому елемента, або методом розрахунку впливу ударних навантажень і сил зсуву на елемент.

Для порівняльної оцінки необхідно мати відповідні таблиці можливих руйнувань елементів об'єкта в залежності від надлишкового тиску у фронті ударної хвилі: будинків, споруд, транспорту, устаткування, енергетичних споруд і мереж. Ці таблиці складаються на основі статистичних даних, отриманих при аналізі руйнувань у Хіросімі й Нагасакі та при проведенні випробувальних ядерних вибухів на полігонах, і можуть поповнюватися результатами розрахунків при конструюванні нових елементів.

Метод розрахунку передбачає визначення динамічних навантажень, створюваних надлишковим тиском у фронті ударної хвилі, і реакції елемента на ці навантаження. Вихідними даними при використанні цього методу є: надлишковий тиск у фронті ударної хвилі і характер його зміни в часі (протягом фази стискання), тривалість фази стискання і швидкість руху фронту ударної хвилі. У більшості випадків дію ударної хвилі оцінюють питомим імпульсом — добутком надлишкового тиску на час його дії. Оскільки ΔP_ϕ залежить не тільки від часу, а й від відстані до епіцентру, і від потужності джерела ПУХ, розрахунок імпульсу з використанням інтегрального числення ускладнений. Тому звичайно використовують кусково-лінійну апроксимацію кривої ΔP_ϕ як функції часу.

Таким чином, дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і

т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Однак ряд таких заходів як розосередження нових будівель та споруд, забезпечення протипожежних розривів, наявність в будівлі залізобетонного каркасу та шляхів із твердим покриттям, запроектовані брандмауери істотно підвищують шанси людей вижити під час катастрофи, а також зменшують ризик отримання травм чи пошкоджень, сприяють швидшому доступу рятувальних служб до місця трагедії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі була проведена порівняльна оцінка використання багатошарових клеєних дерев'яних панелей і найбільш популярних матеріалів для зведення зовнішніх огорожувальних конструкцій багатоповерхових житлових будинків за показниками тепловтрат і витрат на опалення конструкцій з їх застосуванням.

За отриманими результатами видно, що розглянуті CLT-панелі є матеріалом з високими початковими вкладеннями в будівництво, проте мають середні витрати на експлуатацію будівель, побудованих з них.

Термін служби багатоповерхових житлових будинків з CLT-панелей можна порівняти з житловими будинками з класичних будівельних матеріалів. Використання пароізоляції дає змогу унеможливити випадання конденсату в зовнішній огорожувальній конструкції з CLT-панелей і зберігати теплозахисні характеристики впродовж усього терміну служби.

У результаті проведеного дослідження було зроблено такі висновки:

Проаналізовано сучасні дерев'яні будівельні матеріали для зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будинків

Проведено розрахунок теплотехнічних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій із багатошарових клеєних дерев'яних панелей.

Запропоновано варіанти зовнішніх огорожувальних конструкцій із CLT-плит з утепленням і пароізоляцією, які відповідають як критеріям з теплового опору, так і вологісним критеріям.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. Architecture Necessity (2012) *E3, Berlin*. URL: <https://architectureindevelopment.org/project/318>
3. The Swedish Forest Industries Federation (2025) *Limnologen*. URL: <https://www.swedishwood.com/inspiration/architecture/limnologen/>
4. Wikipedia contributors (2025) *Stadthaus*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stadthaus>
5. Design For Homes (2025) *Bridport House*. URL: <https://hdawards.org/scheme/bridport-house/>
6. Rossi Prodi, F. (2016) *Social Housing via Cenni, Milano*. URL: <https://flore.unifi.it/handle/2158/1074639>
7. UrbanNext (2025) *Treet: Sustainable Housing*. URL: <https://urbannext.net/treet/>
8. MASU PLANNING (n.d.) *WOOD CITY A SUSTAINABLE PROJECT IN HELSINKI*. URL: <https://www.masuplanning.com/project/wood-city-is-a-sustainable-wood-project-helsinki/>
9. Міністерство розвитку громад та територій України (2021) ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ
10. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (2010) ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ.
11. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27: 2010.– [2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
12. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель

13. Піняк, О. М., Мацьків, О. Г., & Коваль, І. В. (2021). Енергоефективність будівель. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 1, 53-53.
14. Древницький, В. І., & Коваль, І. В. (2020). Теплоізоляція стіни різними ізоляційними шарами. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 1, 62-62.
15. Isaksson, J., Natterer, J., & Salmen, L. (2015). The influence of panel lay-up on bending strength of cross-laminated timber. *Wood Science and Technology*, 49(2), 353-367.
16. McGinnis, M. J., & Falk, R. H. (2017). Static and Cyclic Behavior of Hybrid Cross-Laminated Timber Shear Walls with Steel Coupling Beams. *Journal of Structural Engineering*, 143(10), 04017111. doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001867
17. Natterer, J., & Serrano, E. (2015). Cross-Laminated Timber: A Primer. *The Structural Engineer*, 93(2), 34-39.
18. <https://www.floornature.com/r2k-architectes-groupe-scolaire-pasteur-limeil-brevannes-12480/>
19. Helandersson, S., & Serrano, E. (2017). Influence of moisture and in-plane shear on the tensile strength of cross-laminated timber. *Wood Science and Technology*, 51(2), 409-422.
20. <https://www.moelven.com/mjostarnet/>
21. <https://www.ctbuh.org/>
22. Zhang, J., & Yu, W. (2018). Experimental study on the seismic behavior of cross-laminated timber shear walls. *Journal of Earthquake Engineering*, 22(2), 367-385.
23. C. Sandhaas, *Mechanical Behaviour of Timber Joints with Slotted-In Steel Plates*, Karlsruhe, 2012
24. J. Van de Kuilen & A. Leijten, "Schuifsterkte bepaling van zeven houtsoorten voor de toepassing in verkeersbruggen," *Sectie Staal- & Houtconstructies*, Delft, 2001.
25. M. Grosse, "Zur numerischen Simulation des physikalisch nichtlinearen Kurzzeittragverhaltens von Nadelholz am Beispiel von Holz-Beton

Verbundkonstruktionen.

26. Wei, J., Zhou, Y., Wang, X., & Li, Y. (2020). An experimental study on the mechanical properties of cross-laminated timber using full-sized specimens. *Journal of Building Engineering*, 31, 101385.
27. Wu, Q., & Ahn, K. (2018). Full-scale testing and analysis of a hybrid cross-laminated timber-concrete floor system. *Engineering Structures*, 170, 446-457.
28. Zhu, X., Chen, Y., & He, S. (2019). Mechanical properties and inelastic analysis of cross-laminated timber panels: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 497-513.
29. Canadian CLT Handbook ,2019 EDITION. Edited by: Erol Karacabeyli, Sylvain Gagnon © 2019 FPInnovations. All rights reserved.
30. E. Saavedra Flores, K. Saavedra, J. Hinojosa, Y. Chandra and R. Das, "Multi-scale modeling of rolling shear failure in cross-laminated timber structures by homogenisation and cohesive zone models," *International Journal of Solids and Structures*, no. 81, pp. 219-232, 2016.
31. Mykhailo Hud, Natalia Chornomaz, Roman Grytseliak, Denys Baran, Study of the joint work of the foundations and the spatial tower under the action of dynamic loads, *Procedia Structural Integrity*, Volume 36, 2022, Pages 87-91, ISSN 2452-3216, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.007>
32. Homon, S., Gomon, P., Gomon, S., Litnitskyi, S., Boyarska, I., Chapiuk, O., & Chornomaz, N. (2024). Study of the mechanical properties of coniferous wood of different ages at standard humidity. *Procedia Structural Integrity*, 59, 545-550.
33. Hud, M., Chornomaz, N., & Danylchenko, S. (2024). Modelling of the stress-strain state of a wooden frame under dynamic loads with local stiffening elements. *Procedia Structural Integrity*, 59, 687-691.
34. Бей, М., & Чорномаз, Н. Ю. (2022). Моделювання роботи каркасу із стіновим наповненням. Матеріали V Міжнародної студентської науково-технічної конференції" Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання", 133-134.
35. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної

(дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

36. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. - 14 с.