

Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»



Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва

Бабенко М.М., Савицький М.В.,
Шехоркіна С.Є., Кузьменко О.М.,
Бондаренко О.І., Бордун М.В.,
Котов М.А., Спиридоненков В.А.,
Елісєєва М.О.



Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектура»

ЗЕЛЕНІ БУДІВЛІ
ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ
ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

Монографія

Дніпро
2018

Рекомендовано до друку Вченою радою ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Протокол №4 від 27.11.2018 р.)

Авторський колектив:

М. М. Бабенко – канд. техн. наук, докторант;
М. В. Савицький. – д-р техн. наук, проф.;
С. Є. Шехоркіна – канд. техн. наук, доцент;
О. М. Кузьменко – канд. техн. наук, доцент;
О. І. Бондаренко – ст. викл.;
М. В. Бордун – аспірант;
М. А. Котов – канд. техн. наук, доцент;
В. А. Спиридоненков - здобувач;
М. О. Єлісєєва - канд. техн. наук, доцент

Рецензенти:

Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, завідувач кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

В. М. Дерев'янюк, д-р техн. наук, проф., директор навчально-наукового інституту екології та безпеки життєдіяльності в будівництві ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва :
З-48 монографія / М. М. Бабенко, М. В. Савицький, С. Є. Шехоркіна [та ін.]. – Дніпро: ФОП Удовиченко О. М., 2018. – 99 с.

ISBN_978-966-323-191-4

В монографії представлені результати досліджень з розробки та обґрунтування архітектурно-конструктивного рішення несучих та огорожувальних конструкцій, а також інженерно-технічних рішень екологічного будинку за концепцією «Потрійний нуль» (від англ. Triple Net Zero).

Монографію розроблено в рамках виконання проекту «Науково-практичні засади проектування автономних екобудівель за концепцією «Потрійний Нуль»», за підтримки МОН України.

УДК 728.1:502/504-043.86

© Бабенко М. М., Савицький М. В., Шехоркіна С. Є. та ін., 2018

© ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», 2018

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Концепція екологічної будівлі «Потрійний нуль»	5
Розділ 2. Архітектурна концепція та конструктивні рішення екологічної будівлі «Потрійний нуль»	13
Розділ 3. Теоретичне та експериментальне обґрунтування несучих конструкцій екологічної будівлі «Потрійний нуль»	27
3.1. Аналіз напружено-деформованого стану несучих конструкцій каркасу будівлі	27
3.2. Конструктивне рішення та методика розрахунку композитного деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам	33
3.3. Експериментальне дослідження несучої здатності та експлуатаційної придатності дерев'яних клеєних балок	38
Розділ 4. Теоретичне та експериментальне обґрунтування огорожувальних конструкцій екологічної будівлі «Потрійний нуль»	47
4.1. Дослідження тепловитрат вузлів сполучень конструкцій	47
4.2. Лабораторні дослідження легких бетонів на базі коноплі та льону для впровадження в якості ізоляції екологічної будівлі «Потрійний нуль»	56
4.3. Експериментальне дослідження теплофізичних характеристик огорожувальних конструкцій	63
Розділ 5. Інженерно-технічні рішення автономної екологічної будівлі «Потрійний нуль»	71
5.1. Методика визначення теплової потужності системи опалення для будинку за концепцією «Потрійний нуль»	71
5.2. Теплова потужність системи опалення	72
5.3. Обґрунтування теплової потужності системи опалення будинку за концепцією «Потрійний нуль»	76
5.4. Визначення витрат теплоти на нагрів води для господарсько-побутового використання	84
5.5. Вибір обладнання для опалення, кондиціонування та забезпечення гарячою водою будівлі на основі відновлювальних джерел енергії	84
5.6. Потреби в електроенергії та вибір обладнання на основі альтернативних джерел енергії	85
Висновки	89
Додаток 1. Глосарій проєктанта будівлі «Потрійний нуль»	91
Додаток 2. Вибір будівельних матеріалів	95

Вступ

Близько половини всіх невідновлюваних ресурсів, що споживаються людством, використовуються в будівництві. Будівельна галузь значно впливає на більшість чинників забруднення навколишнього середовища. Основною ознакою традиційної будівельної галузі є надмірне використання енергії, що впливає на процес глобального потепління і зміни клімату. Енергія витрачається при видобутку сировини, виробництві та транспортуванні матеріалів, в процесі будівництва, експлуатації, ремонту та ліквідації будівель. Згідно з даними багатьох досліджень до 50% викидів вуглекислого газу припадає на будівельну індустрію. Крім того, шкода навколишньому середовищу на етапі ліквідації та утилізації будівлі, може бути еквівалентною його впливу протягом всього життєвого циклу. Всі ці фактори роблять будівництво однією з найменш стійких галузей в світі, та в той же час найбільш перспективною для впровадження сталих технологій та досягнення найпомітнішого результату у скорочення впливу на навколишнє середовище.

Усвідомлення глобальних екологічних проблем сприяє переосмисленню процесу проектування, зведення, експлуатації та утилізації будівель в країнах Європейського Союзу, США, Канаді та ін. Крім того, в контексті політико-економічних умов в Україні та в ЄС, вельми актуальне питання енергонезалежності, яке стає сьогодні стратегічним може бути вирішене в житловому секторі лише при масовому переході до поновлювальних джерел енергії, імплементації інновацій, проектування виходячи з мінімально допустимого критерія автономності з перспективою енергетичної активності чи енергії плюс.

Наразі сучасні екологічні будинки – це здебільшого експериментальні проекти, ціна яких помітно вище, ніж у аналогічних звичайних будинків, в середньому на 20-30%. Тому необхідна розробка інноваційних ефективних рішень автономних екологічних будівель, які сприятимуть вирішенню глобальних екологічних проблем та водночас будуть економічно доступними, що простимулює зростання ринку такого житла.

В монографії представлені результати досліджень з розробки та обґрунтування архітектурно-конструктивного рішення несучих та огорожувальних конструкцій, а також інженерно-технічних рішень екологічного будинку за концепцією «Потрійний нуль» (від англ. Triple Net Zero):

1) Нуль енергії – баланс енергоспоживання, що забезпечить автономність будівлі протягом усього терміну експлуатації за рахунок енергозберігаючих технологій (в тому числі відновлюваних джерел енергії), якісної теплоізоляції приміщень;

2) Нуль емісій – мінімізація шкідливих для людей і навколишнього середовища викидів (вуглекислий газ, летючі органічні речовини і т. д.);

3) Нуль відходів – мінімізація патогенних впливів від будівлі протягом етапів її життєвого циклу, в тому числі використання в ході будівництва матеріалів, які піддаються переробці або можуть повторно використовуватись в якості сировини, забезпеченні легкого демонтажу конструкцій будівлі при завершенні експлуатації.

Монографію розроблено в рамках виконання проекту «Науково-практичні засади проектування автономних екобудівель за концепцією «Потрійний Нуль», за підтримки МОН України.

Розділ 1. Концепція екологічної будівлі «Потрійний нуль»

Для традиційної економічної моделі споживання та використання природних ресурсів характерним є лінійний підхід, також відомий як «взяти-зробити-розпоряджатися». Матеріали постачаються, використовуються і, в кінці життєвого циклу, утилізуються як відходи. Довготривале використання саме цієї моделі було обумовлене доступністю та дешевизною природних ресурсів. Загальновідомо, що такий підхід створює негативні зовнішні ефекти, які включають зростання викидів вуглецю, збільшення тиску на полігони ТБО, нестабільні рівні видобутку води та широке забруднення екосистем. Окрім цього, збільшення чисельності населення та скорочення запасів природних ресурсів також обумовлює ряд соціальних та екологічних проблем.

Основною сучасною філософією для скорочення шкідливого впливу галузі на навколишнє середовище – є філософія сталого розвитку. На сьогоднішній день існує багато термінів для визначення конструкцій будинків, що відповідають потребам збереження навколишнього середовища, розроблені з однією метою, всі вони пропонують різні рішення. Щоб краще зрозуміти цю різницю розглянемо класифікацію, наведену на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Складові концепції сталого будівництва

Виходячи з запропонованої класифікації можна зробити висновок, що лише сталі будівлі включають в себе показники як енергетичної ефективності так і показники екологічної ефективності чи дружнього ставлення до навколишнього середовища.

Концепція сталого розвитку базується на об'єднанні трьох складових: економічної, соціальної та екологічної. В останні роки до нього ще запропонований принцип збереження культурної спадщини, як окремих, а не в складі соціального принципу, як це було раніше.

Економічний підхід в концепції стійкого розвитку передбачає оптимальне використання обмежених ресурсів і використання екологічних природо-, енерго-, і матеріалозберігаючих технологій, включаючи видобуток і переробку сировини, створення екологічно прийнятної продукції, мінімізацію, переробку та знищення відходів.

Соціальна складова стійкого розвитку орієнтована на людину і спрямована на збереження стабільності соціальних і культурних систем, в тому числі, на скорочення

числа руйнівних конфліктів між людьми. Важливим аспектом цього підходу є справедливий поділ благ.

З **екологічної точки зору**, стійкий розвиток має забезпечувати цілісність біологічних і фізичних природних систем. Особливе значення має життєздатність екосистем, від яких залежить глобальна стабільність всієї біосфери. Поняття природних систем і ареалів проживання включає і штучно створене людиною середовище, таке як, наприклад, міста..

Будівлю, територію, наслідки впливу людини на навколишнє середовище сьогодні необхідно розглядати з позицій сталого розвитку, складовими якого є екологічні вимоги до об'єкта будівництва.

В якості інструменту впровадження принципів сталого розвитку в виробництво Європейською Комісією 2 грудня 2015 року було прийнято робочу програму з циркулярної економіки, яка створила важливий стимул для підтримки переходу до ресурсоемкої економіки в ЄС. Цей пакет включив законодавчі пропозиції щодо відходів, з довгостроковими цілями, спрямованими на зменшення розміщення відходів та збільшення кількості вторинної переробки та повторного використання.

Концепція циркулярної економіки передбачає перехід від лінійної моделі до моделі, де зберігається та розвивається природний капітал, ефективно використовуються енергетичні ресурси, запобігається створення неперероблюваних відходів та знижується обсяг шкідливих викидів. Матеріали та вироби виготовляються з максимально можливим використанням відновлюваних ресурсів, а експлуатація продукції ведеться у повторюваних циклах.

З огляду на поточний стан будівельної галузі можна зробити висновок, що для помітного результату у скороченні впливу на навколишнє середовище необхідна імплементація основних положень теорії циркулярної економіки. Для забезпечення життєвого циклу будівлі необхідне відповідне проектування з урахуванням походження, виробництва, транспортування матеріалів та елементів, а також зведення, експлуатації, розбирання, переробки або утилізації. Запобігання або мінімізація негативних впливів на кожному окремому етапі має вирішальне значення для забезпечення енергонезалежності та екологічності будівлі в цілому.

В загальному розумінні дана концепція в спрощенні для будівельної галузі може бути представлена, як алгоритм переходу від відходів до ресурсів з мінімізацією залучення первинних матеріалів (raw materials) на рис. 1.2. На рис. 1.3 зображено концептуальну модель взаємодії заходів по переходу на циркулярну економічну систему у будівництві.



Рис. 1.2. Циркулярна економіка в будівельному секторі



Рис. 1.3. Концептуальна модель взаємодії заходів по переходу на циркулярну економічну систему у будівництві

Першим кроком в напрямку реалізації принципів циркулярної економіки в будівельній галузі може стати розробка та впровадження енергетично автономних екологічних будівель з ефективним менеджментом відходів за наступними критеріями:

1) **Нуль енергії** – полягає у забезпеченні балансу енергоспоживання, що забезпечить автономність будівлі протягом усього терміну експлуатації за рахунок застосування раціональних конструктивних рішень, енергозберігаючих технологій (в тому числі відновлюваних джерел енергії – сонця, вітру, біопалива тощо), якісної теплоізоляції приміщень.

2) **Нуль емісій** – полягає у мінімізації шкідливих для людей і навколишнього середовища викидів (вуглекислий газ, летючі органічні речовини і т. д.),

3) **Нуль відходів** – включає заходи по мінімізації патогенних впливів від будівлі протягом етапів її життєвого циклу, в тому числі використання в ході будівництва тільки тих матеріалів, які піддаються переробці або можуть повторно використовуватись в якості сировини, раціоналізація менеджменту відходів на стадії експлуатації, забезпеченні легкого демонтажу конструкцій будівлі при завершенні експлуатації.

Імплементація принципів сталого розвитку з урахуванням положень циркулярної економіки для конкретної будівлі полягає передусім в проектуванні на ефективне функціонування протягом всього життєвого циклу, а не просто кінцевого використання. Запропонована концепція будівлі «Потрійний нуль» як шлях впровадження принципів сталого розвитку та циркулярної економіки пропонує альтернативний підхід до проектування, будівництва, експлуатації та утилізації. Такий підхід є можливістю оптимізувати складний та багатовимірний характер будівлі як штучно створеного середовища. Системне використання цієї концепції в масштабах кварталів, міст, регіонів або країни в цілому сприятиме використовувати менше природних ресурсів, знизити вплив на навколишнє середовище, зменшити залежність від нестабільних ринків, забезпечити перехід до більш стійких форм економічного зростання, міського життя та створення цінностей.



Рис. 3.7. Загальна схема концепції «Потрійний нуль»

Багато принципів, які асоціюються зі сталим розвитком та циркулярною економікою, не є новими для України. Вітчизняна будівельна галузь та індустрія в цілому підтримує, повторно використовує, відновлює або переорієнтовує інфраструктуру та будівлі протягом століть. Нові підходи в проектуванні, нові технології вже існують та застосовуються.

Тим не менше, наразі бракує конкретної структури цільового проектування, яка пов'язує всі існуючі та нові принципи та проектні підходи в одне ціле з урахуванням сталого циркулярного характеру функціональності будівлі, що включає проектування, будівництво, експлуатацію, технічне обслуговування, переорієнтування та рециклінг. Це вимагає покрокового переходу до системного проектування, розробки та застосування інноваційних технологій та економічних підходів.

Комплексне вирішення вищенаведених проблем з урахуванням національної специфіки для будівлі за пропонованою концепцією «Потрійний нуль» може бути досягнуто шляхом:

1. Розробки типових ресурсоефективних та економічно доступних конструктивних та інженерно-технічних рішень, який включатиме:

- комплекс конструктивних рішень несучих та огорожувальних елементів з використанням екологічних матеріалів місцевого походження (деревини та матеріалів на її основі, глинистих матеріалів, соломи, очерету тощо);
- комплекс інженерно-технічних рішень на основі поновлювальних джерел енергії, технологій повторного використання та рециклінгу матеріалів (визначення необхідної потужності та вибір обладнання, моделювання експлуатаційних процесів);

2. Розробки, реалізації та тестування окремих зразків та пілотних проектів, результати якого наочно демонструватимуть потенційним споживачам (проектувальникам, будівельникам, виробникам будівельних матеріалів та конструкцій, домовласникам тощо):

- ефективність та відповідність пропонованих рішень діючим нормам за параметрами міцності, стійкості, довговічності, пожежної безпеки тощо;
- відповідність показників життєвого циклу будівлі вимогам екоорієнтованого «зеленого» будівництва, стійкого розвитку та циркулярної економіки.

Сьогодні архітектури та інженери пропонують різні архітектурно-конструктивні рішення для будівель з широким впровадженням енергозберігаючого обладнання для використання відновлюваних джерел енергії. Часто такі рішення мають високу початкову ціну та потребують складного технічного обслуговування, необхідного під час експлуатації.

Ці моменти є дуже важливими в контексті концепції «Потрійний нуль», де проектні рішення повинні бути простими та доступними, задля швидкого впровадження та розповсюдження ідеї.

Ефективний проект будівлі за концепцією «Потрійний нуль» базується на енергетичному балансі з урахуванням взаємного впливу одного елемента будівлі на інший. Запропонована загальна формула балансу енергетичного потоку може бути представлена як рівняння (1.1) та рекомендована для будівель «Потрійний нуль»:

$$Sp + Sor = Sc + Sr, \quad (1.1)$$

де Sp - кількість виробленої енергії від зовнішніх джерел енергії (ПВ, геотерма тощо) [кВт];

Sr - кількість отриманої енергії від переробки відходів [кВт];

Sc - кількість спожитої енергії для потреб будівлі, включаючи роботу енергогенеруючого та енергозберігаючого обладнання, теплові втрати [кВт];

Sr - кількість спожитої енергії для перетворення відходів у додаткову енергію [кВт].

Якщо розглянути запропоноване рівняння як функцію часу $f(t)$, ми можемо отримати приблизне уявлення про перетворення енергетичного потоку всередині будівлі «Потрійний нуль» та визначити точку, необхідну для досягнення енергетичної автономності або позитивності, враховуючи нестабільну доступність джерела в різних точках часу.

$$Sp(t) + Sor(t) - (Sc(t) + Sr(t)) \geq 0 \quad (1.2)$$

Концепцію «Потрійний нуль» можна розглядати як систему впровадження циркулярної економіки в будівництво, а саму циркулярну економіку як основний інструмент імплементації сталого розвитку в індустрію, в тому числі і у будівельну.

Нуль тут розглядається не в абсолютному, а в умовному розумінні, за даною концепцією мова йде про компенсацію у глобальному масштабі (для збереження екології планети) та у локальній аплікації (конкретні кроки) принципів сталого розвитку.

За суттю будівлі за концепцією «Потрійний нуль» - це **сталі будівлі з акцентом на екологічні та економічні аспекти**, які є пріоритетними на сьогодні.

Суть цих аспектів у вигляді задач, що необхідно вирішувати при проектуванні та практичних заходів для вирішення цих задач – представлено у табл. 1.1. Шляхи вирішення задач будівлі «Потрійний нуль» в контексті реалізації принципів циркулярної економіки в будівництві приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.1

**Задачі та загальні шляхи їх вирішення при проектуванні за концепцією
«Потрійний нуль»**

Критерій	Задачі	Шляхи вирішення
Нуль емісій	Ефективність використання енергії та відповідність будівлі параметрам енергоефективності та екологічності	✓ конструкції та оздоблення з відновлюваних місцевих матеріалів (деревина, ґрунтобетон, солома); ✓ ефективна форма та орієнтація будівлі (наприклад, для максимального використання природного освітлення); ✓ ефективна теплоізоляція (утеплених стін, підлоги, даху, вікон, дверей, відсутності містків холоду).
	Мінімізація викидів CO ₂ з систем опалення, кондиціонування, нагріву води, освітлення та вентиляції	✓ встановлення ефективних систем опалення та вентиляції. ✓ ефективне підключення до системи централізованого теплопостачання; ✓ прибудинкові системи генерації енергії (сонячне водяне опалення, сонячні електростанції, вітрові турбіни тощо).
	Мінімізація викидів CO ₂ від інших регульованих джерел енергії	✓ встановлення енергоефективних низьковуглецевих приладів або сучасних систем управління будівлею (так звані, смарт-системи); ✓ реалізація надлишкового низьковуглецевого та/або поновлюваного тепла (або холоду) на прилеглі об'єкти; ✓ розробка систем низьковуглецевої інфраструктури навколо будівлі.
Нуль відходів	Мінімізація відходів від будівництва та ліквідації будівлі	✓ проектування будівлі з легко розбірних елементів; ✓ використання матеріалів та виробів, придатних до повної переробки або повторного використання; ✓ використання відновлюваних місцевих матеріалів (деревина, ґрунт, солома тощо); ✓ використання матеріалів з максимально можливим вмістом відновлювальних
	Мінімізація побутових відходів та залишкових неперероблюваних відходів	✓ приміщення для збирання та сортування відходів за групами; ✓ влаштування систем компостування органічних відходів (переробка в органічні добрива); ✓ встановлення систем відновлення енергії – переробки відходів для отримання енергії у вигляді електроенергії та/або тепла (наприклад, шляхом спалення).
Нуль енергії	Досягнення незалежного від зовнішніх мереж енергозабезпечення будівлі	✓ ефективний енергетичний аудит; ✓ оптимізація архітектурно-конструктивних рішень (мінімізація нефункціональних приміщень); ✓ влаштування системи «розумний дім» запрограмована під кліматичні умови та індивідуальні потреби.
	Досягнення максимального використання поновлювальних джерел енергії	✓ встановлення обладнання генеруючого електричну енергію з енергії, сонця, вітру тощо; ✓ встановлення обладнання генеруючого електричну енергію з енергії, сонця, ґрунту, з утилізації відходів, тощо.

Таблиця 1.2

Матриця реалізації задач будівлі «Потрійний нуль»

		Принципи циркулярної економіки					
		Відновлення	Розподіл	Оптимізація	Циклічність	Віртуалізація	Альтернатива
Складові частини будівлі	Земельна ділянка	Детоксикація та відновлення родючого шару (відновлення локальної біосфери)	Розміщення систем вирощування натуральної продукції, виробництва енергії, систем компостування тощо	Використання місцевих поновлюваних джерел енергії для власного виробництва	Відновлення ділянки для повторного використання	Розробка дизайну з відкритим кодом через відкриті доступні онлайн-платформи	Відновлення з метою зміни цільового призначення ділянки
	Несучі конструкції	Конструктивні рішення, конструкції та матеріали з низьким впливом на екосистему.	Повторне використання або переробка для зміни сфери використання	Забезпечення довговічності та адаптивності	Можливість відновлення або реконструкції. Зміна цільового призначення	Інтернет або BIM системи стеження за технічним станом	Використання підходів стійкого будівництва та зеленої архітектури
	Оболонка	Інтеграція зелених елементів (фасадів, стін, покрівлі).	Можливість легкого розбирання	Переробка на добрих зелених елементів та реалізація отриманої продукції	Модульні елементи заводського виготовлення	Інтернет або BIM системи стеження за технічним станом	Використання підходів стійкого будівництва та зеленої архітектури
	Внутрішній простір	Використання продукції, придатної до біопереробки	Максимальне використання корисного простору	Максимальне використання природного освітлення та вентиляції	Відновлення елементів з використанням повторно використаних, відремонтованих та нових компонентів	Інтерактивні smart-системи контролю внутрішнього мікроклімату	Використання природного освітлення та вентиляції
	Інженерні системи	Переробка продовольчих відходів на низьковуглецеву енергію	Повторне використання будівельних компонентів	Реалізація надлишкової енергії	Збирання дощової або талої води, переробка використаної води	Розумні датчики моніторингу та управління технічного обслуговування	Використання альтернативних природних відновлюваних джерел

Список використаних джерел до розділу 1

1. Anon, 2020 climate & energy package - European Commission. Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm
2. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy [Електронний ресурс] // European Commission. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF
3. Greenhouse gas emission statistics. Eurostat Statistics Explained: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics
4. Good practice in energy efficiency. For a sustainable, safer and more competitive Europe / European Commission/ Belgium, Luxembourg: Publications Office of the European Union, - 2017. - 52p. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/version2-web.pdf>
5. European Commission, "Directive 2010/31/eu of the european parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)", Official Journal of the European Communities, 2010. – 35 p. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>
6. Andreas Hermelink, Sven Schimschar, Thomas Boermans, Lorenzo Pagliano, Paolo Zangheri, Roberto Armani, Karsten Voss, Eike Musal Towards nearly zero-energy buildings - Definition of common principles under the EPBD. Ecofys, January 2013. – 469 p. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf
7. REmap 2030 Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні, IRENA, Абу-Дабі. IRENA (2015) – 57 с.
8. Джастін Е. Фелт. Прогнози викидів ПГ в Україні: шляхи до 2050 року. THOMSON REUTERS POINT CARBON.
9. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 р. Міністерство екології та природних ресурсів України, 2018. - 79 с. https://menr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf
10. Закон України «Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020»».
11. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна 2016 – 2030», Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. – 176 с.
12. Закон України «Про енергоефективність будівель».
13. Енергетична стратегія України на період до 2035 року.
14. Національний план дій з енергоефективності України.
15. Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2020 року.
16. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні» (MEP). Каталог кредитних, грантових програм та програм міжнародної технічної допомоги в сфері енергоефективності.
17. Постанова КМУ від 26 листопада 2014 р. № 676 «Про затвердження Положення про Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України» // Режим доступу <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/676-2014-%D0%BF%paran9#n9>
18. The Impacts of Construction and the Built Environment [Електронний ресурс]. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: www.willmottidixon.co.uk/asset/download/9462.
19. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. SlovaAid, UNDP Ukraine, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 36 с.

Розділ 2. Архітектурна концепція та конструктивні рішення екологічної будівлі «Потрійний нуль»

Протягом всієї історії людства при будівництві доводилося вирішувати складні проблеми створення придатних для життя споруд, які в процесі свого розвитку зазнавали значних змін.

Основними факторами еволюції будівництва служили прагнення до захисту від несприятливих зовнішніх чинників, комфорту і безпеки, поліпшення якості життя.

При цьому на всіх етапах розвитку будівництва можна виділити прагнення людини створити архітектуру несучу екологічний характер.

Концепція сталого розвитку стала логічним продовженням процесу екологізації наукових знань і соціально-економічного розвитку, який активізувався в 1970-і роки. У світовій практиці поширилася розробка стратегій і програм сталого розвитку, схвалена ООН і рекомендована конференцією ООН "Ріо-92" для урядів і народів усіх країн, де важливе місце відведено проблемі сталого розвитку територій та міст [1].

У програмному документі форуму "Порядок денний на XXI століття" сформульовано ряд завдань, які зачіпають архітектурні та містобудівні аспекти розвитку, зокрема:

- в програмах будівництва упор повинен робитися на використанні місцевих будівельних матеріалів, енергетично ефективних проектів, матеріалів, що не завдають шкоди здоров'ю і навколишньому середовищу;
- необхідні національні програми енергозбереження, розвитку енергетики на поновлюваних джерелах, що використовують, наприклад, енергію сонця, вітру, води, біомаси;
- найбільш ефективний спосіб вирішення проблем, пов'язаних з утворенням відходів, полягає в запобіганні утворення відходів шляхом зміни способу життя, характеру виробництва і структури споживання. Необхідні програми мінімізації утворення відходів, програми повторного використання, рециклінгу, безпечного збирання та переробки відходів та ін.

Ці та інші рекомендації позначили загальну стратегію розвитку в сфері будівництва та архітектури, проходження якої дозволить поліпшити загальну екологічну ситуацію в кожному конкретному поселенні і, як слідство, в світі в цілому. Актуальною є задача забезпечення стійкості структури споживання, і пошук шляху, який дозволить забезпечити економічне зростання і процвітання при одночасному зменшенні витрат енергії, сировини і виробництва відходів [2].

Сучасна система містобудування вимагає не тільки перетворення існуючої системи поселень під нові економічні та екологічні умови, а й створення поселень нового типу - екопоселень, при цьому на перше місце ставиться питання використання сучасних технологій в організації виробництва, ресурсозабезпечення, сфери обслуговування, рекреації, в розробці нових типів житла та ін. [3].

Новий підхід до проектування і будівництва з урахуванням положень і принципів сталого розвитку викладено в роботах Тетіора А.Н. [3, 4].

На думку Тетіора А.Н., стійке проектування і стійке будівництво - це проектування і будівництво, яке сприяє створенню здорового життя стійких міст, стійких регіонів і країн, забезпечення сталого розвитку суспільства. Воно в значній мірі пов'язано з екологізацією міст, з їх екореконструкцією, з екологізацією людської діяльності в містах і з екологізацією будівель та інженерних споруд, з екологізацією широкого кола людських потреб.

На сучасному етапі проектування і будівництва з урахуванням принципів сталого розвитку міст важливо визначення показників сталого розвитку та механізму їх реалізації через проектування і будівництво.

Показники сталого розвитку, запропоновані Тетіором А.Н.

1. Створення високої, екологічно обгрунтованої якості життя.
2. Забезпечення екологічної рівноваги.
3. Екологізація всіх напрямків діяльності.
4. Екологізація потреб і споживання, узгодження потреб з природно-ресурсним потенціалом.
5. Збільшення ролі реконструкції та скорочення нового будівництва.
6. Збереження і відновлення природних ландшафтів, підтримання біорізноманіття.
7. Економія енергії, використання поновлюваних джерел.
8. Економія матеріалів, переважне використання поновлюваних матеріалів.
9. Економія всіх інших ресурсів, підвищення ефективності використання ресурсів.
10. Скорочення забруднень, відходів, рециклінг.
11. Забезпечення потреб майбутніх поколінь.
- 12 Збільшення ролі природних технологій.
13. Мініатюризація.
14. Мирний розвиток, скорочення і виключення військових конфліктів, напруженості.
15. Поступова вироблення нових етичних норм, підтримання спілкування, солідарності, дружби між людьми.
16. Виключення негативних впливів природних і техногенних катастроф.
17. Організація системи екологічної освіти та виховання в процесі життєдіяльності населення в місті.

Реалізація показників сталого розвитку передбачає:

- в проектуванні - створення нормативно-правової бази відповідно до принципів сталого розвитку;
- в будівництві - розробку рекомендацій щодо вдосконалення кількісних і якісних показників і характеристик будівель, споруд і комплексів: типологічних, функціонально-технологічних, ергономічних, планувальних, естетичних, композиційних, формотворчих, конструктивних, екологічних тощо.

На одному з перших місць в стійкому будівництві варто проектування і будівництво будівель і споруд екологічних (біопозитивних) властивостей.

Екологічність (біопозитивність) будівель - інтегральне поняття, яке включає в себе основні вимоги до природозберігаючих і природовідновлювальних об'єктів. Воно має на увазі здатність будівель органічно вписуватися в природне середовище (в екосистеми), не бути відторгнуті екосистемами і при цьому створювати здорове і красиве архітектурно-ландшафтне середовище міста. Ідеальні біопозитивні будівлі та інженерні споруди не повинні вимагати підведення мереж для постачання ресурсами (електрика, вода, газ, теплота і ін.) і видалення відходів (каналізація), руйнувати або забруднювати природне середовище. Більш того, вони повинні бути здатні відновлювати природу, бути пристосованими (біоадаптивними) для існування живої природи на зовнішніх поверхнях будинків і всередині споруд, економити ресурси, не вимагати для свого виготовлення невідновлюваних ресурсів, не бути перешкодами на шляхах потоків речовин і енергії, які не виділяти не переробляючих природним середовищем забруднень, створювати високу якість життя. Екологічні будівлі та інженерні споруди в місті дозволяють «повернути» природі частку територій з ґрунторослинним шаром і створити нові додаткові озеленені площі, а також скоротити забруднення середовища. Це може зупинити відступ природи під антропогенним тиском. Екологічність - це якість, корисна і для природи, і для жителів поселень [4].

Короткий історичний огляд еволюції екологічних підходів проектування будівель і споруд дозволив виявити наступні тенденції і напрямки [5-15]. У запропонованих рішеннях простежується стійка тенденція взаємозумовленості біокліматичного і архітектурно-планувального підходів в проектуванні житлових будинків.

Посилюється тенденція еколого-містобудівного підходу у формуванні біопозитивного середовища життєдіяльності людини.

Еволюція екологічного домобудівництва розвивалася на традиційних типах житла, характерних для певної кліматичної зони. Особлива увага приділялася вирішенню питань з'єднання сучасних технологічних рішень і традиційної об'ємно-планувальної структури будинків. Використання інноваційних технологічних рішень в житловому будівництві зумовило появу нестандартних об'ємно-планувальних рішень екобудинків, нові типи екобудинків. В особливі групи виділені заглиблені в ґрунт і масивні будинки для пустельних районів та ін.

Особлива увага приділялася мікрокліматичному аспекту проектування екобудинку. Важливим кроком у розвитку екобудинку стало застосування комплексу прийомів, що дозволяють знизити витрати на опалення і оптимізувати мікроклімат.

Вимоги до енергозбереження і можливості технологічного прогресу забезпечили розвиток рівня екологічності будівель і споруд.

Проблеми середовища та енергозбереження країни Заходу гостро відчували під час енергетичної кризи в сімдесяті роки 20 століття. Стало очевидь, що змінити ситуацію, що склалася, можна тільки рішеннями системними і загальнолюдськими і для того, щоб їх прийняти і узгоджено піти на зміну способу життя, необхідні не тільки матеріальні можливості, але і підготовлену свідомість.

Проектування розвивається в декількох напрямках і, як наслідок, поява нових типів житлових будинків:

- супер ізольовані компактні і заглиблені житлові будинки були розроблені з урахуванням зниження втрати тепла через огорожувальні конструкції;
- енергоефективні та енергоактивні будівлі з'явилися завдяки застосуванню альтернативної енергетики на обігрів, охолодження та гаряче водопостачання житлового будинку;
- пасивний екобудинок - геліодома з оригінальним рішенням пасивної системи теплохолодопостачання;
- в практиці створення економічного і комфортного житла необхідно відзначити будинки, оснащені автоматизованими системами - розумні або інтелектуальні будинки, які контролюють і управляють системою життєзабезпечення (обігрів, витрата енергії і т.д.).

Розвиток інженерно-будівельних технологій, поява альтернативних будівельних технологій, дозволили розширити діапазон застосування природних поновлюваних будівельних матеріалів (екоматеріалов), що забезпечили появу оригінальних архітектурно-планувальних і композиційно-об'ємних рішень житлових і громадських будівель.

У зарубіжній практиці особливо виділяються рішення проектів будинків, спрямовані на підвищення енергоефективності будівлі і, одночасно, отримання естетично виразного вигляду за рахунок перетворення архітектурної форми будівлі.

Приділяючи особливу увагу енергозберігаючим технологіям, сьогодні архітектори повернулися до прийомів органічної архітектури, показавши приклад найбільш послідовної реалізації екологічних принципів. Особлива увага приділяється композиційним аспектам проектування екобудинку, аспектам органічної архітектури.

У пошуках нових архітектурних форм, архітектори пропонують рішення житлових і громадських будівель, що відповідають за композицією і методам зведення природним формам, протиставляючи їх індустріальним методам традиційної архітектури.

В останні роки спостерігається тенденція проектування і будівництва будівель більшою мірою відповідних поняттю біопозитивності.

Розвиток екологічної (біопозитивної) архітектури сьогодні стало і необхідним і можливим. З одного боку, соціальне замовлення суспільства на створення комфортного і

екологічного середовища життєдіяльності, з іншого боку, розвиток науки та інноваційних технологій, що дозволяють реалізувати це замовлення.

Традиційний підхід в проектуванні житлових і громадських будівель передбачає урахування комплексу чинників: містобудівних, природно-кліматичних, соціально-економічних, соціально-демографічних, інженерно-технологічних, ергономічних, санітарно-гігієнічних. Однак, сьогодні, проектування, будівництво, реконструкція будівель з високим рівнем біопозитивності неможливо без урахування впливу таких факторів, як: фактор екотехнологій, фактор урбоекології, фактор еніології, фактор відеоекології, фактор архофітомеліорації (рис. 2.1).

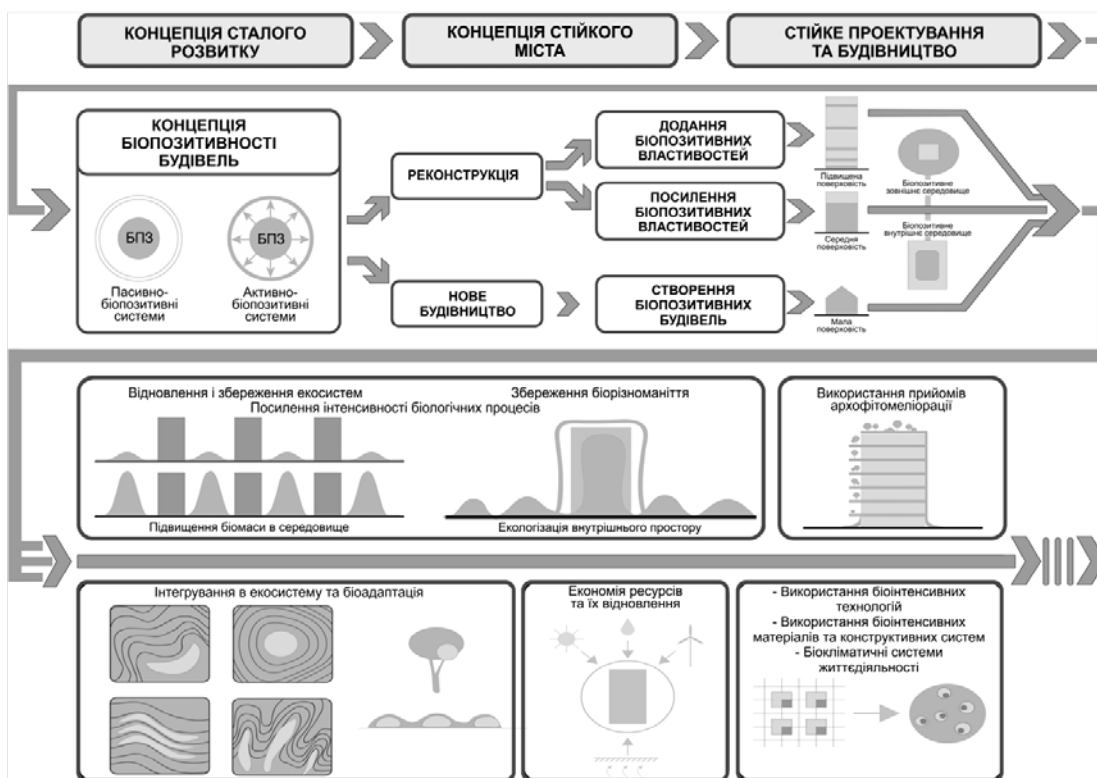


Рис. 2.1. Алгоритм проектування екологічних (біопозитивних) будівель і споруд

Урахування впливу фактора екотехнологій при проектуванні екологічних (біопозитивних) будівлі передбачає використання поновлюваних джерел енергії, біокліматических систем життєдіяльності і природних біоінтенсивних технологій, замкнутий цикл споживання води, впровадження енергосберегаючих технологій.

До поновлюваних джерел енергії відносяться: торф, енергія біомаси, енергія вітру, енергія сонця, енергія водних потоків, геотермальна енергія, енергія морів і океанів, низькопотенційна теплова енергія (грунту, будівель і приміщень, сільськогосподарських тварин). Для вироблення електроенергії і тепла застосовуються сонячні батареї, сонячні колектори, електричні фотоелементи, електрогенеруюче скло, теплові насоси, ґрунтовий акумулятор тепла, вітряні турбіни, вітрогенератори. Системи вентиляції і кондиціонування створюють комфортний мікроклімат в будинку, а система рекуперації (утилізації) вентиляційних викидів - дозволить отримати додаткове джерело теплової енергії. Важливою складовою екодома є біоочищення поверхневих і каналізаційних стоків з подальшим використанням води для технічних цілей і поливу, біопереробка твердих органічних відходів.

В Європі існує така класифікація будівель в залежності від їх рівня енергоспоживання [16]:

- «Стара будівля» (будівлі побудовані до 1970-х років) - вони вимагають для свого опалення близько трьохсот кіловат-годин на квадратний метр в рік: $300 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2\text{год}$.
- «Нова будівля» (які будувалися з 1970-х до 2000 року) - не більше $150 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2\text{год}$.

- «Будинок низького споживання енергії» (з 2002 року в Європі не дозволено будівництво будинків нижчого стандарту) - не більше $60 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2\text{год}$. У такому будинку зазвичай застосовується підвищена термоізоляція, мінімізація температурних містків, енергоефективні вікна, низький рівень проникнення повітря ззовні (інфільтрація), припливна вентиляція з рекуперацією теплоти, а також більш жорсткі вимоги по опаленню і охолодженню. Такі будинки зменшують викид вуглекислого газу в атмосферу, тим самим сприяючи сталому розвитку.

Низькоенергетичний будинок має на увазі цілісну форму будівлі, без очевидних містків холоду і як можна більш цілісного утеплення по периметру будівлі. Форма може залишатися вільною, але без сильних виступів, через які можливий витік тепла.

- «Пасивний будинок» - не більше $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2\text{год}$. Енергозберігаючий будинок, або екобудинок (нім. Passivhaus, англ. Passive house) - споруда, основною особливістю якого є відсутність необхідності опалення чи мале енергоспоживання - в середньому близько 10% від питомої енергії на одиницю об'єму, споживаної більшістю сучасних будівель. Досягається зниження споживання енергії, в першу чергу, за рахунок зменшення тепловтрат будівлі.

Архітектурна концепція пасивного будинку базується на принципах: компактності, якісного та ефективного утеплення, відсутність містків холоду в матеріалах і вузлах примикань, правильної геометрії будівлі, зонування, орієнтації по сторонах світу. З активних методів в пасивному будинку обов'язковим є використання системи припливно-втяжної вентиляції з рекуперацією.

В ідеалі, пасивний будинок - незалежна енергосистема, яка не потребує витрат на підтримку комфортної температури. Опалення пасивного будинку має відбуватися завдяки теплу, що виділяється людьми, які в ньому живуть, і побутовими приладами. При необхідності додаткового «активного» обігріву, бажаним є використання відновлюваних джерел енергії.

Форма пасивного будинку має на увазі компактність і цілісність геометрії, вітається проста геометрично форма, як прямокутник або коло, так як такі форми найменш схильні до тепловтрат.

- «Будинок нульової енергії» (будівля, архітектурно має той же стандарт, що і пасивний будинок, але інженерно оснащено таким чином, щоб споживати виключно тільки ту енергію, яку саме і виробляє) - $0 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2\text{год}$. Будівля здатна виробляти енергію і споживати її в рівній кількості протягом року. Будинки з нульовим споживанням отримують необхідну енергію з відновлюваних джерел. Більшість таких будинків будуються за такими принципами: зменшення необхідної енергії, використання надлишків енергії, зменшення необхідності в штучному охолодженні, забезпечення високоефективними системами управління мікрокліматом та іншими системами, в тому числі освітлення; забезпечення поновлюваними джерелами енергії сонця, вітру та ін. Будинок з нульовим енергоспоживанням може підключатися до однієї і більше енергетичних інфраструктур: електромережу, районна система обігріву та охолодження, розподільна мережа біопалива і біомаси.

Форма будинку з нульовим споживанням енергії схожа з пасивним будинком, також проста геометрія.

- «Будинок плюс енергії» або «активний дім» (будівля, яке за допомогою встановленого на ньому інженерного обладнання: сонячних батарей, колекторів, теплових насосів, рекуператорів, ґрунтових теплообмінників і т. п., виробляє б більше енергії, ніж саме споживало). Активний будинок крім цільної геометрії повинен обов'язково розташовуватися в вигідному енергетично місці, з хорошою інсоляцією, на місці

проходження сильних вітрових потоків. Можлива залежність форми від енергоустановок на будівлі, наприклад стіна з найкращими показниками по інсоляції може володіти достатнім ухилом для оптимального розміщення сонячних батарей або колекторів.

Директива енергетичних показників в будівництві (Energy Performance of Buildings Directive), прийнята країнами Євросоюзу в грудні 2009 року, вимагає, щоб до 2020 року всі нові будівлі були близькі до енергетичної нейтральності.

Екотехнології та архітектура. Системи сонячної енергетики можуть розташовуватися на плоскій, двох і односкілій покрівлі, можуть бути розташовані на фасадах будівлі.

Існує кілька варіантів монтажу геліосистем, в залежності від конструкції будівлі: похилий - геліосистема елемент скатної покрівлі; горизонтальний - геліосистема елемент плоскої покрівлі; інтегрований - геліосистема елемент конструкції будівлі; вільнорозташована - геліосистема автономний елемент будівлі.

Ефективність сонячних батарей визначається трьома основними факторами: по-перше - це орієнтація, по-друге - кут нахилу, по-третє - затененість [17,18].

Південний горизонт є найкращим варіантом орієнтації. Оптимальність прийнятого рішення обумовлена кліматичним районом.

Сонячні (як статичні, так і динамічні, що повертаються за Сонцем) системи, інтегровані в будівлю, несуть не тільки функціональне навантаження, але і є елементами дизайну.

При проектуванні будівлі з вітряними турбінами, необхідно враховувати напрямок постійного потоку вітру, що, в значній мірі, впливає на розташування будівлі. Форма будівлі в даному випадку повинна або враховувати потік вітру і не перешкоджати йому, або навпаки - формувати спрямований потік вітру в необхідному напрямку, створюючи «аеродинамічну трубу». Компактна форма будівлі, забезпечує енергоефективність системи теплового насоса.

Особливу роль при проектуванні біопозитивних будівель грають будівельні матеріали. Використовуючи екологічно безпечні будівельні матеріали і конструкції, можна значно підвищити якість внутрішнього середовища в будівлі, знизити згубний вплив на природне оточення.

Урахування впливу фактора урбоекології при проектуванні екологічних (біопозитивних) будівель сприяє вирішенню завдань відновлення і збереження екосистем, а також раціональне проектування і екологічно оптимальні варіанти будівництва міських структур [17].

Урвхування впливу фактора еніології при проектуванні екологічних (біопозитивних) будівель. Архітектурна еніологія (по Лимонад М.Ю. і Циганову А.І) - це енерго-інформаційний обмін в архітектурі [11,12]. На думку авторів, архітектор може управляти енергоінформаційним мікрокліматом через форморегулювання у просторі. Для підвищення комфортності необхідно використовувати архітектурні форми простору будівель і споруд, що не порушують енергоінформаційні властивості планованих процесів життєдіяльності. Рекомендується використовувати пластику огорожувальних поверхонь для формування необхідного ефекту.

Екологічне формоутворення - принцип проектування об'єктів дизайну з позицій гармонійної рівноваги взаємодії життя і діяльності людини з живою природою. До екологічного формоутворення відносяться і знахідки архітектурної біоніки, що використовує природні структури як прототипи конструктивних і функціональних рішень.

Цікавою є ідея формоутворення за рахунок розподілу енергетичних потоків, що забезпечують енергетичний захист будинку по Л.В. Жарової [19]. У горизонтальному розрізі будинок являє собою коло або восьмикутник, в центрі двосвітне приміщення. Падаючий енергетичний потік, потрапляючи в центральну залу, перерозподіляється в кімнати, виштовхуючи з них назовні негативну енергетику, яка накопичилася. Будинок розташовується на невеликому підвищенні, як би трохи виноситься над рівнем землі.

Невеликий цоколь і нижній ярус фундаменту з натурального каменю екранують будинок від висхідних від землі енергетичних хвиль. Частина спадного енергетичного потоку, перерозподіляючись по схилах даху, потрапляє в основу насипу, утворюючи захисне кільце навколо всього будинку. Будинок оточений галявиною шириною 5-6 м. Високі дерева і чагарники поблизу будинку порушили б енергетичні потоки. Енергетичний захист будинку здійснюється автоматично, без участі людини. Будинок на опорах зменшує горизонтальне навантаження на землю, и так само дозволяє негативним енергетичним потокам огинати його, тим самим, підвищуючи можливість руху потоків позитивної енергії.

Урахування впливу фактора відеоекології при проектуванні екологічних (біопозитивних) будівель. Відеоекологія - область знання про взаємодію людини з навколишнім видимим середовищем. Автором даного наукового напрямку, а також терміна, є Філін В.А. [20,21]. На думку Філіна В.А., "забруднювачами" візуальної середовища є гомогенні і агресивні візуальні поля, а також велика кількість прямих ліній, прямих кутів і великих площин, що формує несприятливе середовище в місцях проживання людини. Розроблено рекомендації щодо створення комфортного візуального середовища, яке благотворно відбивається на стані людей, зокрема, на їх здоров'ї, моральності і ділової активності, з урахуванням вимог відеоекології (по Філіну В.А.): - не допускати появи агресивних і гомогенних візуальних полів у міському середовищі, в квартирі, в офісі, нейтралізуючи їх засобами ландшафтної архітектури, ландшафтного дизайну, колористики та ін.; - не допускати появи великих площин в архітектурі; - "Очі не люблять" прямі лінії і прямі кути. Чим більше в навколишньому просторі кривих ліній, тим ближче воно до природного середовища і, отже, тим краще візуальне середовище; силует будівлі є одним з важливих компонентів формування комфортного візуального середовища; - силует міста в цілому, є таким же необхідним компонентом як силует окремої будівлі. Неповторний силует міста формують своєрідні архітектурні акценти над забудовою для фіксації погляду; - котеджне будівництво, є перспективною передумовою для створення силуету міста; - обмеження зростання поверховості будівель. Висота поверхів не повинна перевищувати висоту дерев. Люди, повинні уявляти себе "всередині" природи і досягти з нею повної гармонії. Людина повинна жити на красивій вулиці, в гарному будинку, навпроти красивого будинку; - створення в містах замкнутих просторів співмасштабних людині і насичених візуальними елементами. Будь-який замкнутий простір є модель світу, що несе відчуття безпеки; - обмеження зростання міста. Велике місто відторгає людину від природи і породжує безліч екологічних проблем; - колористика міста. Кольорове насичення міського середовища є одним з необхідних умов створення комфортного візуального середовища; - озеленення, охорона і примноження природного потенціал міста; - краса у власній квартирі.

Урахування впливу фактора архофітомеліорації при проектуванні екологічних (біопозитивних) будівель. Одним з екологічних напрямків, пов'язаних з об'ємно-планувальними і конструктивними рішеннями будівель, є озеленення всіх їх поверхонь (стін, покрівель), благоустрій прилеглої території. Конструктивні рішення є більш позитивними, якщо вони надають поверхні будівель і споруд деяку подобу природного місця існування для рослин, дрібних тварин і птахів. Крім численних екологічних функцій, які виконує фітоценоз, а саме: формування сприятливого мікроклімату, захист від пилу, загазованості і шуму, досягнення загальнооздоровлюючого ефекту і т.д., зелені насадження надають декоративність і покращують естетичний вигляд забудови.

У 1994 р в Англії на «Глобальному екологічному форумі-94» особливу увагу було приділено формуванню «біопозитивних» підходів до вирішення проблем перебудови урбанізованого середовища. На конгресі була дана рекомендація при будівництві та реконструкції будівель і споруд передбачати архофітомеліоративні заходи [5,6]:

- озеленення цокольних зон будівель (біопозитивних конструкції відмосток, цоколів та ін.);

- вертикальне озеленення стін шляхом спорудження терас і веранд, створення ампельних (що звисають) покриттів, навісних пристроїв для озеленення фасадів;
- створення фітомансардних поверхів для зимових садів;
- створення зимових садів всередині будівель;
- озеленення всіх вільних ділянок території і штучних надземних територій, що створюються при використанні підземного простору;
- озеленення дахів-терас.

Реалізація прийомів архофітомеліорації при проєктуванні і будівництві екологічних (біопозитивних) будівель і споруд дозволяє вирішити цілий комплекс важливих екологічних завдань: озеленення горизонтальних і вертикальних площин будівель відшкодовують ту біопродукцію, яка була знищена під час будівництва, підтримують біологічне різноманіття видів рослин, пом'якшують екстремальну різницю температур зовні і всередині приміщень, очищають і зволожують повітря і т. д., тим самим, покращують життєве середовище людини і стан екологічних систем.

З урахуванням вищевикладених факторів, екологічні (біопозитивні) будівлі і споруди повинні мати наступні властивості: екологічну стійкість, автономність і самодостатність, компактність, біонічність формоутворення, параметричну гармонізацію, здатність до енергоінформаційної інтеграції, біоадаптивність, біоклиматичу самоорганізацію, ергономічну адаптацію (рис. 2.2).

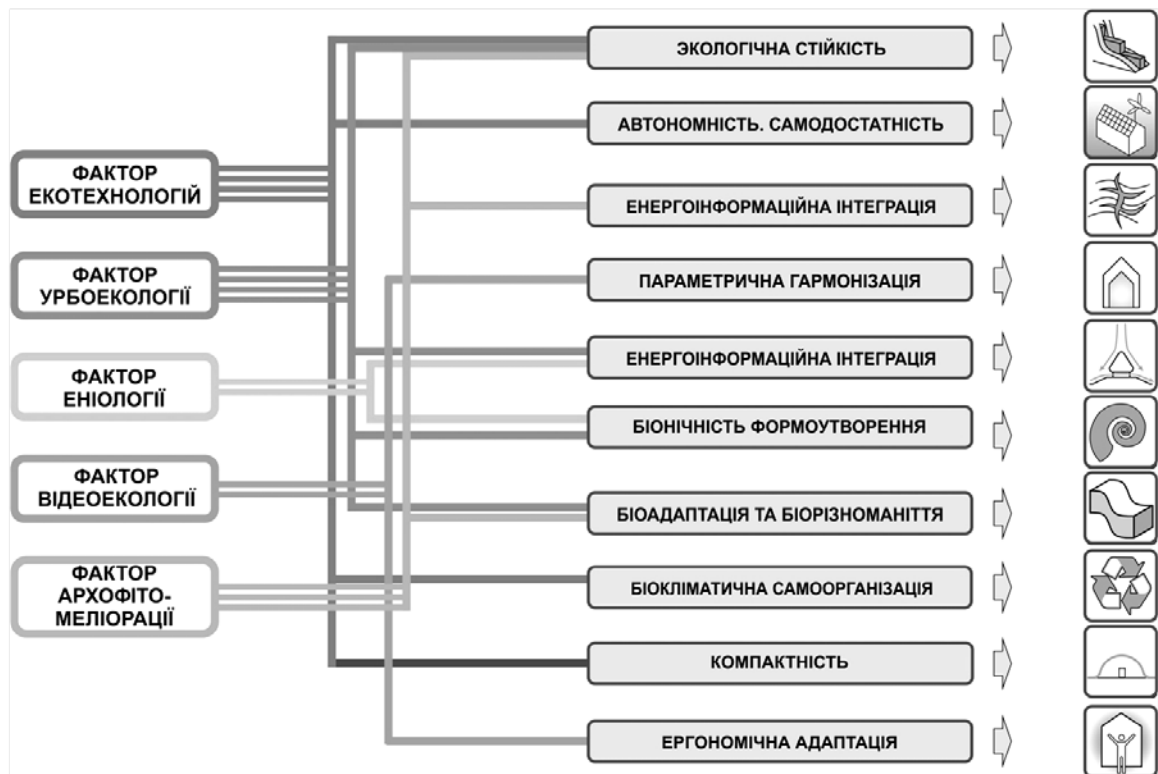


Рис. 2.2. Характеристика екологічних (біопозитивних) будівель і споруд

Архітектурна концепція та конструктивні рішення екологічної будівлі «Потрійний нуль».

Критерії проєктування: екологічність, автономність, компактність, раціональність, климатологічність і біоадаптивність, інноваційність.

Структурно-функціональна організація. Проєктований житловий будинок двоповерховий. На першому поверсі розташовані: передпокій, вітальня, кухня, санвузол, гардероб. На другому поверсі (мансардний поверх) – хол, кабінет, спальні, санвузол. Поверховий зв'язок здійснюється по внутрішніх сходах. Висота приміщень першого і мансардного поверхів 2,7 м. Житлові приміщення орієнтовані на південний горизонт,

засклені. Допоміжні приміщення, орієнтовані на північ, глухі або з мінімальним склінням. Ухил скатної покрівлі може змінюватися з урахуванням зміни кліматичних характеристик місцевості.

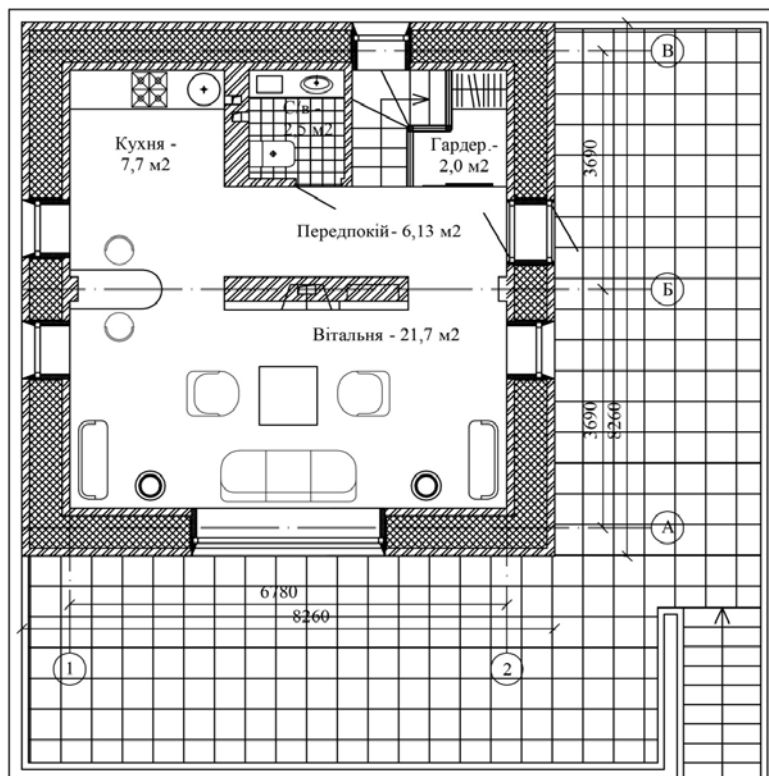


Рис. 2.3. Екологічна будівля «потрійний нуль». План першого поверху

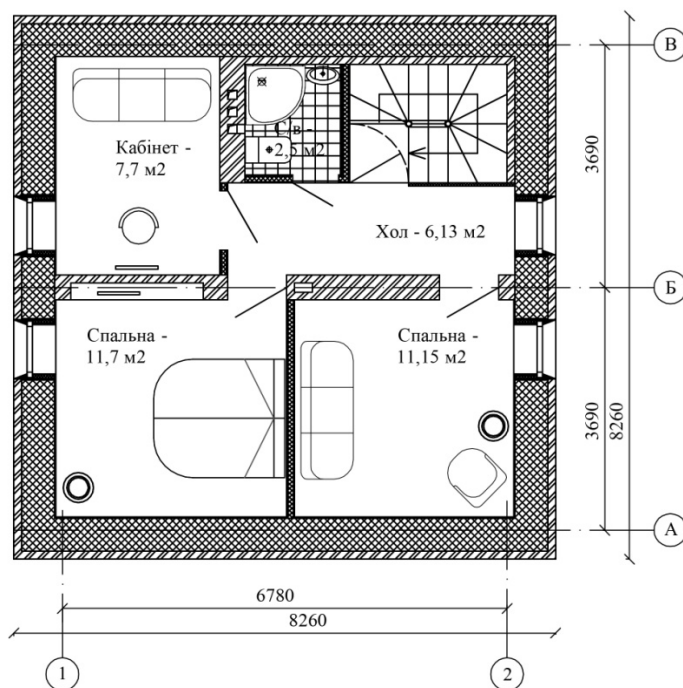


Рис. 2.4. Екологічна будівля «потрійний нуль». План мансардного поверху

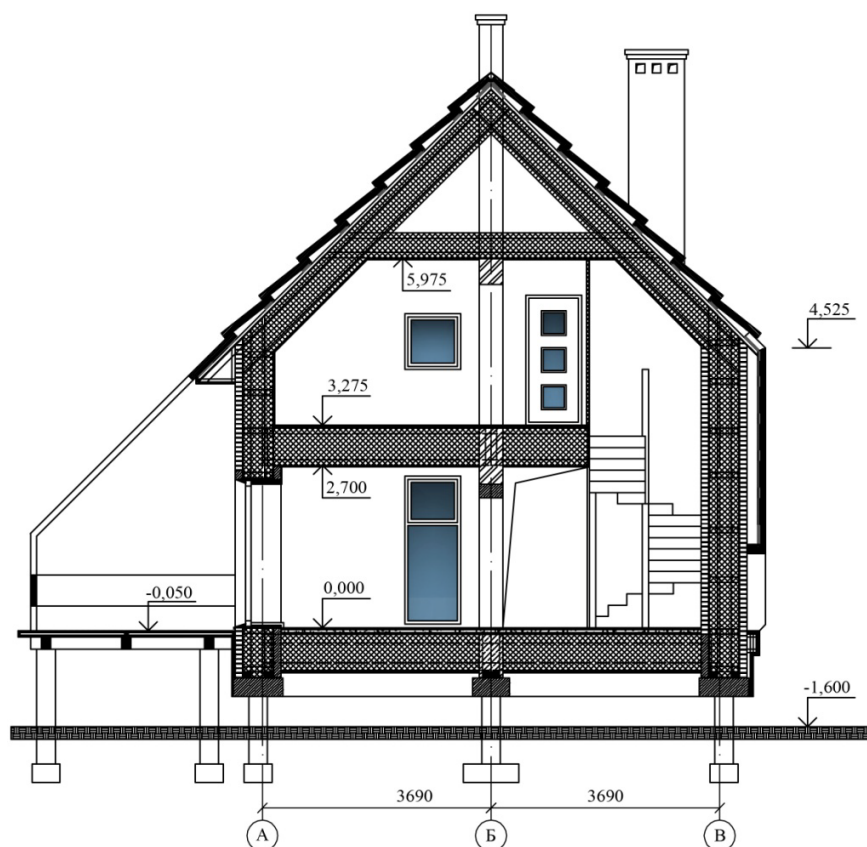


Рис. 2.5. Екологічна будівля «потрійний нуль». Розріз 1-1

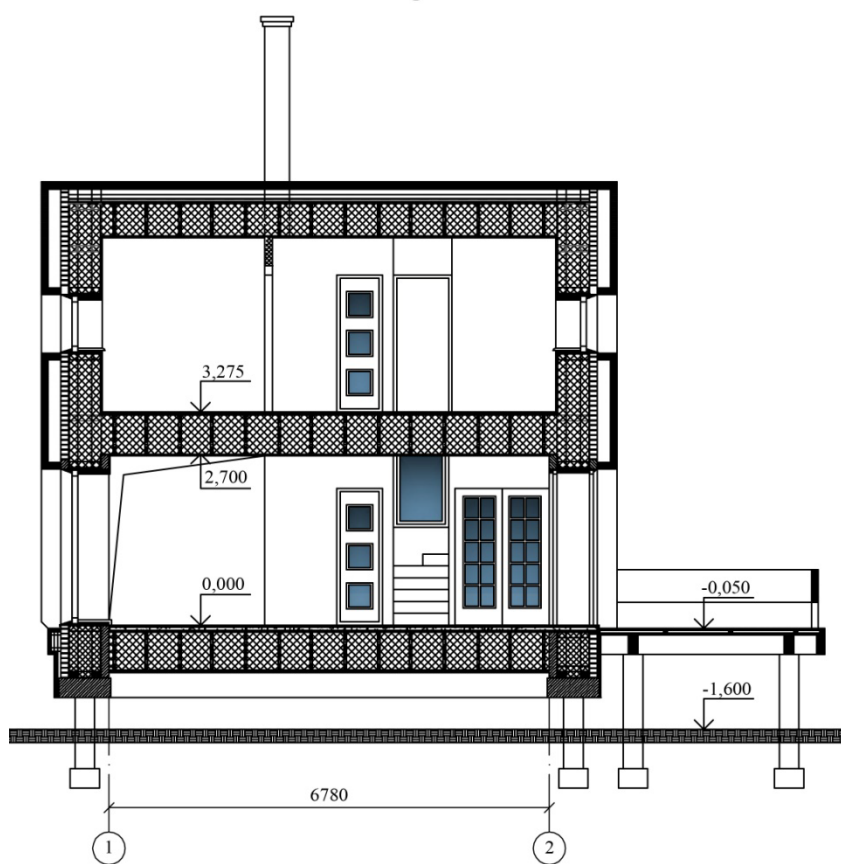


Рис. 2.6. Екологічна будівля «потрійний нуль». Розріз 2-2

Конструктивні рішення. Конструктивна схема будівлі - каркасна. Несучі елементи стін будівлі виконані у вигляді стійок складеного перерізу типу «сходи» з дерев'яного бруса. Просторова жорсткість будівлі забезпечується розпірками і діагональними розкосами в стояках, а також улаштуванням монолітної плити з ґрунтобетону по верхньому поясу ферм перекриття. В якості утеплювача у всіх конструкціях використовується солом'я злакових культур. Фундамент - свайно-монолітний, залізобетон. Стіни - зовнішнє оздоблювання глина, цегла сирець з ґрунтобетону, дерев'яний каркас з утеплювачем, ґрунтобетонні блоки, які виконують роль накопичувача тепла. Покрівля двосхила, 45 градусів. Покриття - плити з очерету, укладені по дерев'яній обрешітці. Водостік зовнішній організований.

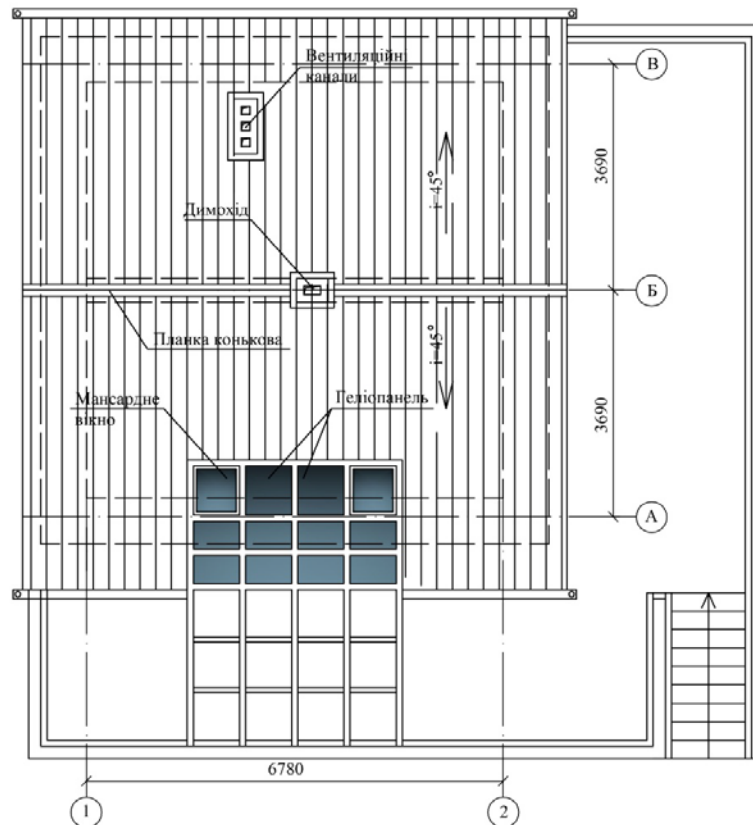


Рис. 2.7. Екологічна будівля «Потрійний нуль». План покрівлі

Будівельні матеріали. Будівельні матеріали переважно природного походження: деревина, камінь, ґрунтоблоки, солом'я злакових культур, глина, плити з очерету та ін.

Інженерно-технологічні рішення. Мінімізація негативних впливів на навколишнє середовище: проектування та зведення будівель із замкнутим циклом енерго- і ресурсоспоживання. Скатна покрівля для пристрою сонячних батарей і сонячних конвекторів для обігріву житла. Застосування новітніх систем і технологій, обладнання останнього покоління (мансардні вікна, сонячні колектори, теплові насоси, електроприводи для зовнішньої сонцезахисту, інтелектуальна система управління будинком, система вентиляції з рекуперацією, система біоочищення господарсько-побутових стоків, збір і очищення дощових стоків і т. д.).

Архітектурно-планувальні і композиційно-просторові рішення. Планування компактне. Перший поверх вирішено як єдиний простір, взаємопов'язаних функціональних зон, що при невеликій площі котеджу, забезпечує досить високий рівень комфортності житла. Композиційно - планувальним об'єднуючим центром і, одночасно елементом, візуально розділяючим простір, є камін і піч. Будівлю піднято над землею. Тераса, «летить» над землею - сполучний елемент між внутрішнім житловим простором і

природним оточенням. Архітектурно-композиційне рішення котеджу - лаконічна система взаємопов'язаних архітектурних елементів: будинок - тераса, скатна покрівля - сонцезахисна пергола - тераса. Пальова конструкція фундаменту дозволяє максимально органічно вписатися в навколишній ландшафт з мінімальною зміною рельєфу місцевості.

Зовнішнє оздоблення і внутрішня обробка. Зовнішнє оздоблювання стін - глина з декоративною обробкою, або деревно-полімерна композитна панель в поєднанні з декоративною обробкою з плит очерету (система навісна фасадна). Матеріал для тераси - деревно-полімерний композит AiPiPRO. Внутрішнє оздоблення - стіні, перекриття і покриття з ніжньої Сторони обшивається фанери або іншим оздоблювальних матеріалом на основі деревини. Підлога виконан з плитки керамічної (для кухні тасанвузлів), дощатої настилу (для других приміщень).

Техніко-економічні показники: 1. Площа дома – 80,0 м² (42,0+38,0). 2. Загальна площа дома – 92,0 м². 3. Житлова площа – 51,1 м². 4. Площа забудови – 68,2 м² / 143,0м². 5. Будівельний об'єм – 496,0 м³.



Рис. 2.8. Екологічна будівля «потрійний нуль». Фасади



Рис. 2.8. *Екологічна будівля «Потрійний нуль»*. Візуалізація

Список використаних джерел до розділу 2

1. Доклад Конференции организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 года. [Электронный ресурс] - <https://undocs.org>
2. Григорьев В.А., Огородников И.А. Экологизация городов в мире, России, Сибири = Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. - Новосибирск, 2001. [Электронный ресурс] - <http://www.ecology.md>.
3. Тетиор А.Н. Устойчивое развитие города. [Электронный ресурс] - <http://www.leadnet.ru>
4. Тетиор А.Н. Городская экология: учеб, пособие для студ. высш. учеб, заведений. 2008. [Электронный ресурс] - <http://uchebniki-besplatno.com/osnovi-ekologii-uchebnik/ekologichnyie-zdaniya-50916.html>
5. Бартошевская В.В., Иванченко В.Т., Мирсоянов В.Н. «Архитектурная и градостроительная экология»: Учебное пособие. Краснодар: Изд-во ГО УВПО «КубГТУ»; 2006 – 145с.
6. Бумаженко О.В. Энергоэффективное (экологическое) строительство (информационно-аналитический обзор). Агентство научно-технической информации (Научно-техническая библиотека). [Электронный ресурс] - <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/1289.html>
7. Большой шедевр в маленькой стране. [Электронный ресурс] - http://commercialproperty.ua/cp/archive/article.php?anum=CP_79_11
8. Жуков Д. О биопозитивных домах с конструкциями из соломы и тростника // Строительство и недвижимость 2005 - №32. [Электронный ресурс] - <https://www.allbeton.ru>
9. Здание биоклиматической архитектуры – «Городские ворота Дюссельдорфа». [Электронный ресурс] - http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3198
10. Истомин Б.С.. «Экологичность – важный критерий оценки качества любых проектных решений» //Промышленное и гражданское строительство 10/2002 г. [Электронный ресурс] - <http://vashinstrument.ru/ekologicheskii-chistyie-stroitelnyie-materialyi.htm>
11. Лимонад М.Ю. Архитектурная эниология как экологическая дисциплина. [Электронный ресурс] - <http://www.ufo-com.net/artpromo/art>
12. Лимонад М.Ю., Циганов А.И. Живые поля архитектуры. [Электронный ресурс] -<http://www.desigstroi.ru/>
13. МакДональд С.О., Мирман М.// «Стройте дом из соломенных блоков». Аризона 8519.USA. – 1996г. [Электронный ресурс] -<http://www.ecoteco.ru/id23/>
14. Солнечный дом. [Электронный ресурс] - <http://www.mensh.ru/ekodom>
15. Иконников А.В. Архитектура XX века Утопии и реальность: в 2 т./ Под редакцией А.Д. Кудрявцевой.- М.: Прогресс - Традиция, 2002.
16. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
17. [Электронный ресурс] - <http://ukrelektrik.com>
18. [Электронный ресурс] - <http://ekologhealth.ru/houseecology/>
19. [Электронный ресурс] - <http://rostok-t.narod.ru/stati/ocherki.htm> (Жарова)
20. Филин В.А. «Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что плохо». М.: Видеоэкология. 2006. 512 с.: илл. (3-е издание). [Электронный ресурс] - <http://www.videoecology.com/index.html>
21. Филин В. А. Видеоэкология и архитектура.- Московский центр "Видеоэкология", 1995. С.-51.

Розділ 3. Теоретичне та експериментальне обґрунтування несучих конструкцій екологічної будівлі «Потрійний нуль»

3.1. Аналіз напружено-деформованого стану несучих конструкцій каркасу будівлі

Базовими вимогами при проектуванні будь-якої будівлі є забезпечення несучої здатності, придатності до експлуатації, надійності і безпеки. Дані вимоги встановлені діючими будівельними нормами, такими як Єврокод 0 (EN 1990) «Основи проектування будівельних конструкцій», Єврокод 5 (EN 1995) «Проектування дерев'яних конструкцій», а також рядом ДБН и ДСТУ. Відповідність запропонованих конструктивних рішень несучих елементів і вузлових з'єднань будівлі «Потрійний нуль» даним вимогам верифікується шляхом визначення параметрів напружено-деформованого стану.

Для аналізу напружено-деформованого стану екологічного будівлі «Потрійний нуль» відповідно до запропонованого архітектурно-конструктивного рішення в програмному комплексі ЛІРА9.6 була розроблена тривимірна скінченноелементна модель.

Конструктивна схема будівлі - каркасна. Несучі елементи стін будівлі виконані у вигляді стійок складеного перерізу типу «сходи» з дерев'яного бруса перерізом 89х38 мм з кроком 600 мм. Несучі конструкції перекриття та покриття виконані у вигляді ферм з дерев'яного бруса перерізом 89х38 мм з кроком 0.6 м. Просторова жорсткість будівлі забезпечується розпірками і діагональними розкосами в стояках, а також улаштуванням монолітної плити з ґрунтобетону по верхньому поясу ферм перекриття. В якості утеплювача у всіх конструкціях використовується солом'я злакових культур. Стіни із зовнішнього боку обшиваються OSB плитами, з внутрішнього боку укладаються ґрунтобетонні блоки, які виконують роль накопичувача тепла. Перекриття і покриття з нижньої сторони обшивається фанерою або іншим оздоблювальним матеріалом на основі деревини. Підлога виконана з плитки керамічної (для кухні та санвузлів), дощатого настилу (для інших приміщень). Покрівля - плити з очерету, укладені по дерев'яній обрешітці. Схеми розташування несучих конструкцій будівлі приведені на рис. 3.1, 3.2. На рис. 3.3 зображений характерний поперечний розріз будівлі.

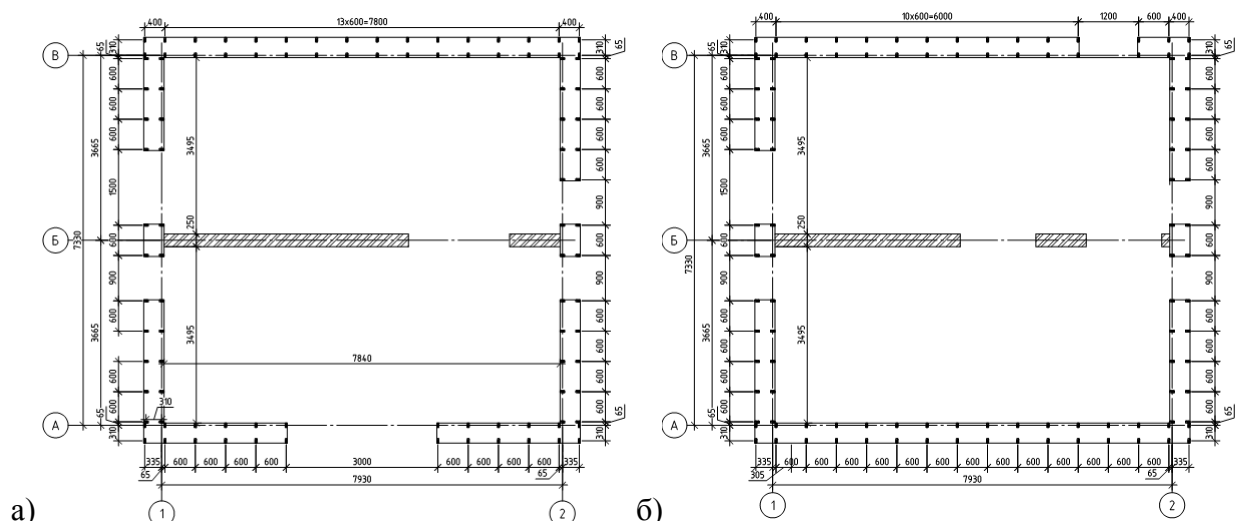


Рис. 3.1. Схема розташування несучих елементів:
а) першого поверху; б) другого поверху

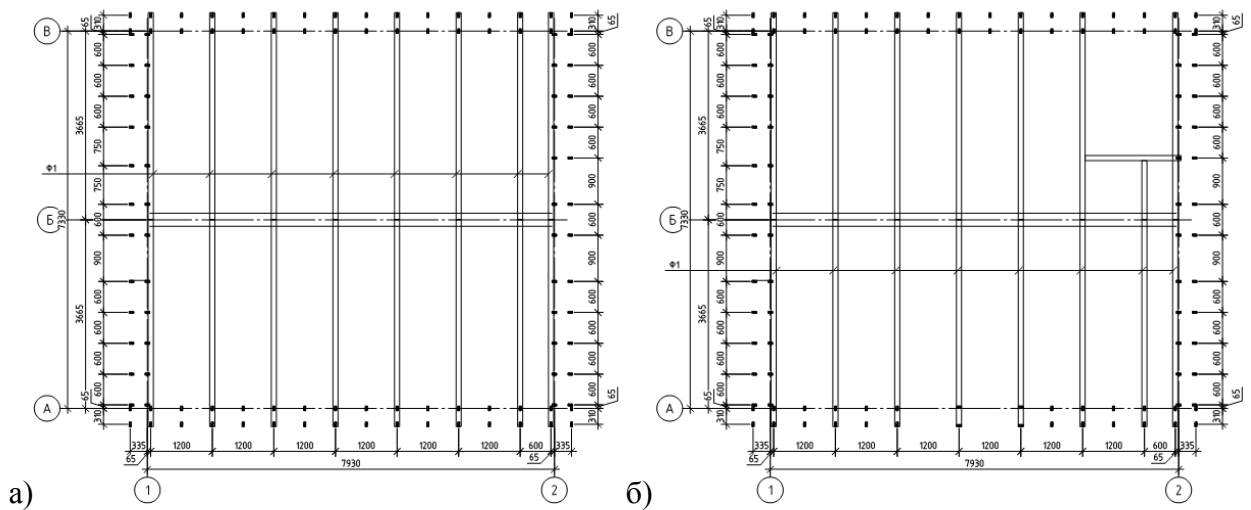


Рис. 3.2. Схема розташування несучих елементів перекриття:
а) першого поверху; б) другого поверху

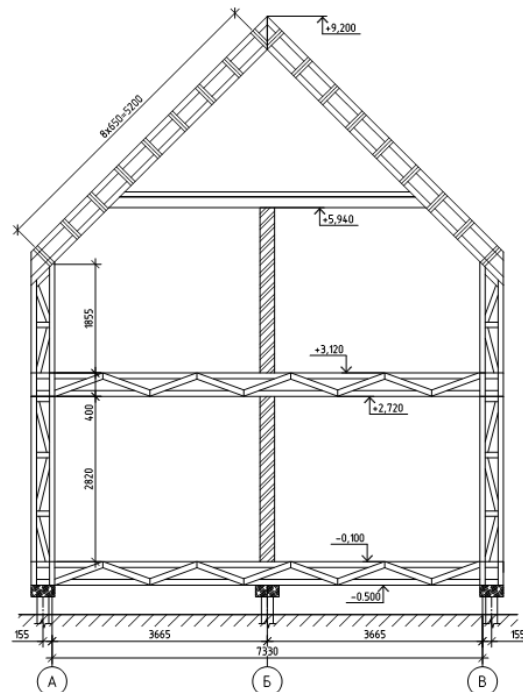


Рис. 3.3. Типовий переріз будівлі

Для моделювання дерев'яних елементів несучих конструкцій стін, ферм перекриття і даху використовувався кінцевий елемент №10 «Універсальний просторовий стрижневий КЕ». Даний кінцевий елемент має місцеву праву декартову систему координат X_1 , Y_1 , Z_1 , відносно якої визначаються зусилля та задається місцеве навантаження, а також шість ступенів свободи у вузлі.

Для моделювання ґрунтобетонної плити по верхньому поясу ферм перекриття та внутрішньої цегляної стіни використовувався кінцевий елемент №41 «Універсальний прямокутний КЕ оболонки». Даний кінцевий елемент має чотири вузли, в кожному з яких по шість ступенів свободи.

Оскільки всі з'єднання в будівлі виконуються з використанням конекторів нагельного типу, вузли сполучень елементів в розрахунковій схемі задавалися шарнірними. Вихідні характеристики деревини та ґрунтобетону для несучих конструкцій наведені в табл. 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1

Характеристики деревини для несучих конструкцій

Клас міцності	Характеристики міцності (Н/мм ²)					Характеристики жорсткості (кН/мм ²)		Середнє значення густини (кг/м ³)
	згин	розтяг паралельно волокнам	розтяг перпендикулярно волокнам	стиск паралельно волокнам	зсув	середній модуль пружності паралельно волокнам	середній модуль пружності перпендикулярно волокнам	
	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{v,k}$	$E_{0,mean}$	$E_{90,mean}$	
C27	27	16	0,4	22	2,6	11,5	0,38	450

Таблиця 3.2

Характеристики ґрунтобетону для несучих конструкцій перекриття

Клас міцності	Міцність на стиск	Міцність на розтяг	Модуль пружності	Густина в сухому стані
	f_{cd} , МПа	f_{ctm} , МПа	E_{cd} , ГПа	ρ , кг/м ³
C16/20	11,5	1,9	20	1900

Отримана просторова скінченноелементна комп'ютерна модель будівлі приведена на рис. 3.4.

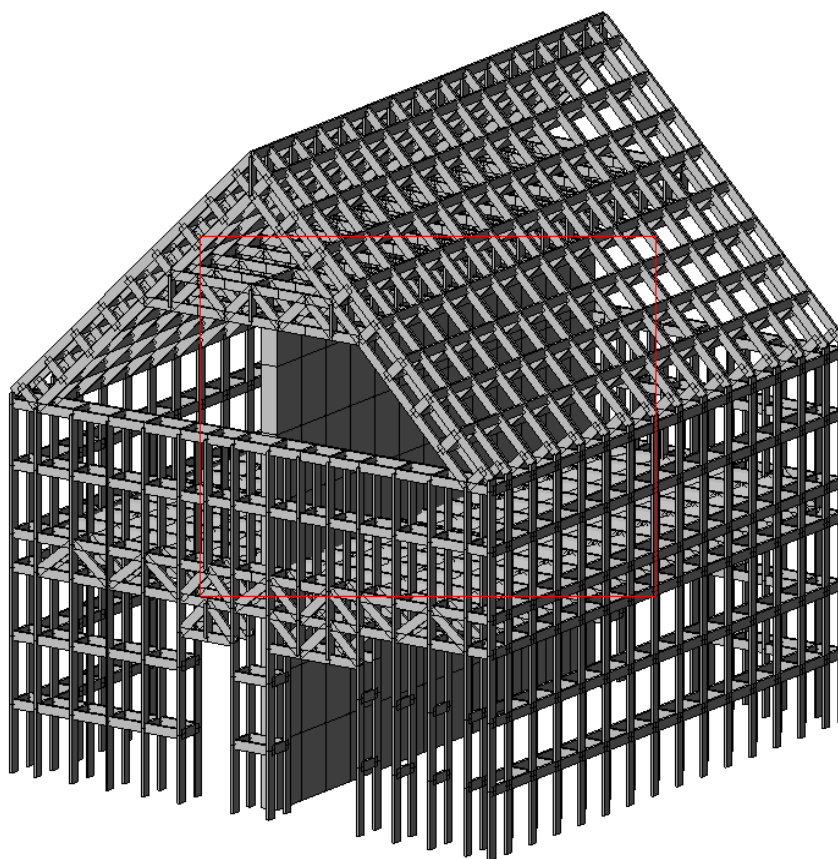


Рис. 3.4. Просторова скінченноелементна модель будівлі «Потрійний нуль»

Розрахунок розробленої моделі виконувався в лінійно-пружній постановці першого порядку без перерозподілу, тобто з використанням вихідної недеформованої геометрії конструкцій і лінійної залежності «напруження-деформації» і «момент-кривизна» (рис. 3.5).

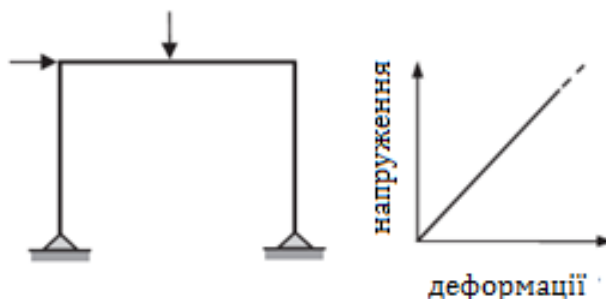


Рис. 3.5. Приклад геометрії конструкції для лінійно-пружного розрахунку першого порядку

При розрахунку будівлі були враховані навантаження на конструкції, згідно вимог чинних нормативних документів [1].

Таблиця 3.3

Нагрузки на конструкции здания

Найменування навантаження	Конструкція	Граничне розрахункове значення, кН/м ²	
Постійне навантаження	покриття	0,45	
	переkritтя	1,0	
Временная (полезная) нагрузка	переkritтя	1,95	
Снігове навантаження (для Дніпропетровської обл.)	покриття	1,6	
Вітрове навантаження (для Дніпропетровської обл.)		активне	пасивне
	покриття	-0,13	-0,27
	стіни	0,41	-0,24

Для визначення переміщень у вузлах і зусиль (напружень) в елементах несучих конструкцій будівлі були складені розрахункові сполучення навантажень, коефіцієнти для яких наведені в табл. 3.4. Графічна 3D візуалізація вертикальних та горизонтальних переміщень вузлів елементів будівлі для найбільш несприятливих сполучень навантажень приведена на рис. 3.6 та 3.7.

Таблиця 3.4

Параметри розрахункових сполучень навантажень

Номер завантаження	Тип навантаження	Коефіцієнти сполучень		
		РСН 1	РСН 2	РСН 3
1	Власна вага	1.000	1.000	1.000
2	Корисне навантаження на переkritтя	0.950	0.950	0.950
3	Снігове навантаження	0.900	0.900	0.000
4	Вітрове навантаження	0.900	0.000	0.900

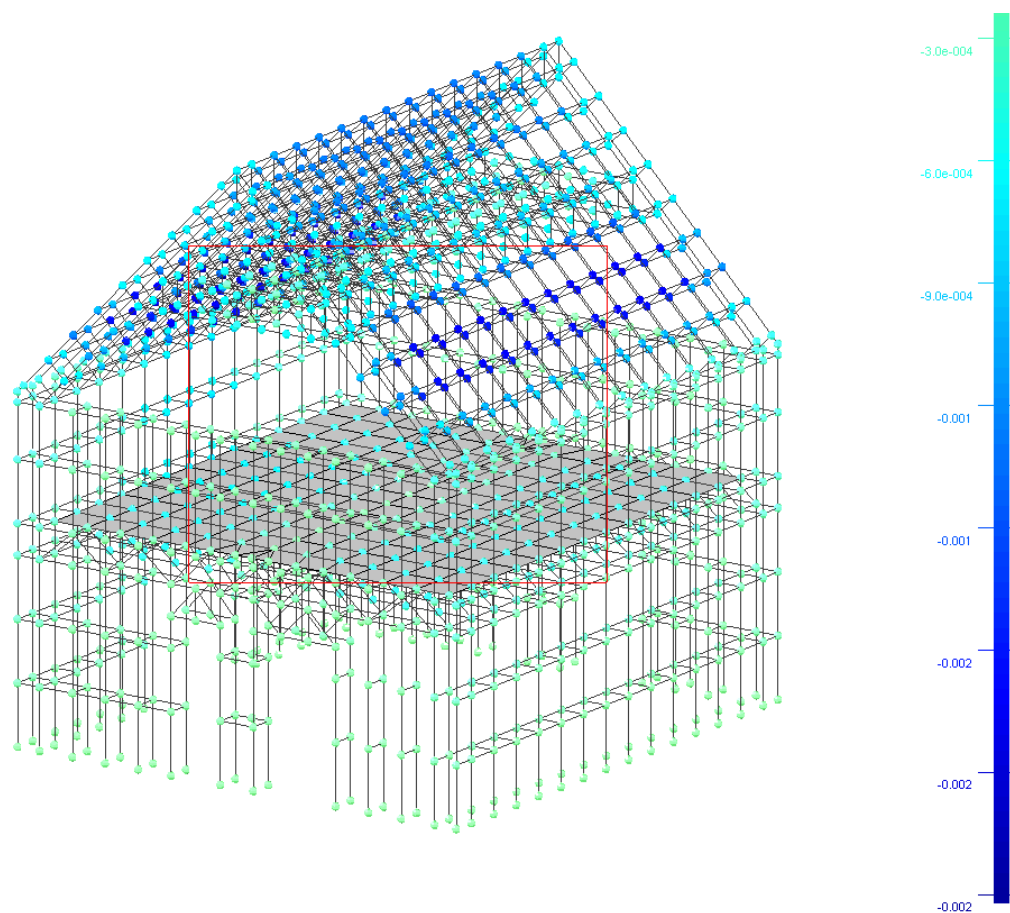


Рис. 3.6. 3D візуалізація вертикальних переміщень вузлів елементів будівлі для найбільш несприятливого сполучення навантажень

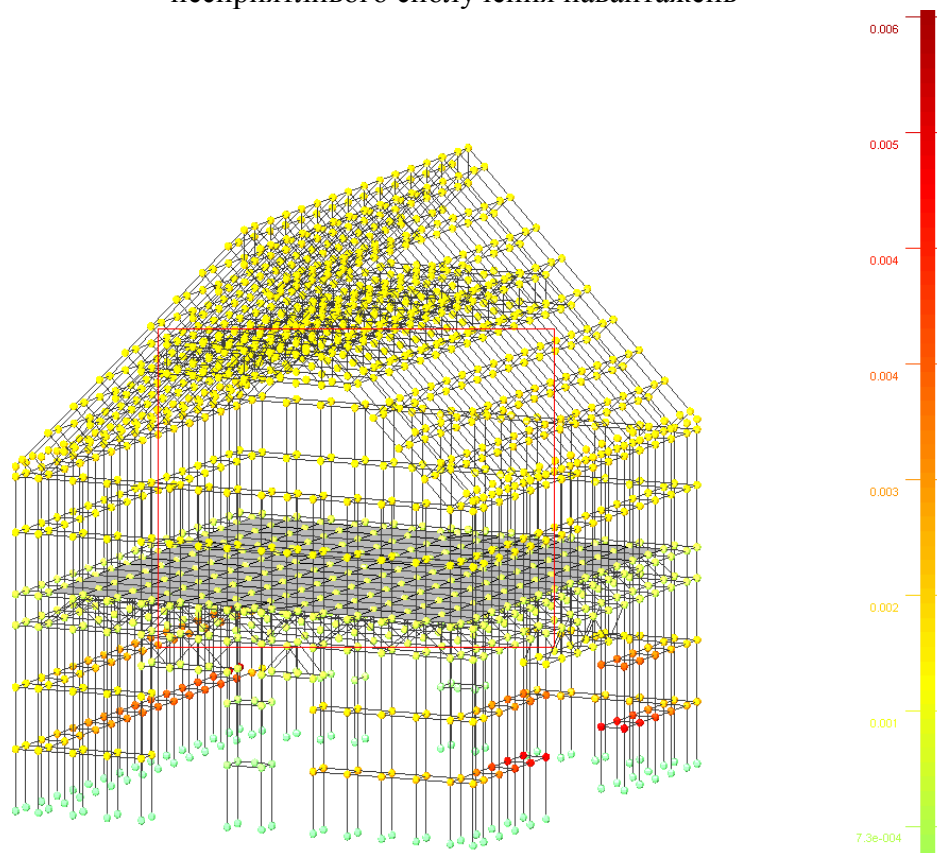


Рис. 3.7. 3D візуалізація горизонтальних переміщень вузлів елементів будівлі для найбільш несприятливого сполучення навантажень

Перевірочні розрахунки несучих конструкцій виконувались згідно вимог ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 Єврокод 5: Проектування дерев'яних конструкцій – Частина 1-1: Загальні правила і правила для будівель (EN 1995-1-1:2004, IDT) [2], основні вимоги якого зведені до табл. 3.5 – 3.7.

Таблиця 3.5

Методика розрахунку згинальних елементів за Єврокодом

Тип розрахунку		Єврокод	
Граничні стани за несучою здатністю	Перевірка нормальних напружень	$\lambda_{rel,m} \leq 0.75$	$\lambda_{rel,m} > 0.75$
		$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$	$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1$
	Перевірка дотичних напружень	$\tau_d = \frac{3V_d}{2bh} \leq f_{v,d}$	
Граничні стани за експлуатаційною придатністю	Перевірка прогинів	$u_{fin} \leq w_{fin}$ $u_{fin} = u_{inst} + u_{creep}$	

Таблиця 3.6

Методика розрахунку центрально стиснутих елементів за Єврокодом

Граничні стани за несучою здатністю		
На міцність	$\lambda_{rel,y} \leq 0.3$ $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$	$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$
На міцність з урахуванням стійкості	$\lambda_{rel,y} > 0.3$ та/або $\lambda_{rel,z} > 0.3$	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$
		$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$

Таблиця 3.7

Методика розрахунку позacentрово стиснутих елементів за Єврокодом

Граничні стани за несучою здатністю		
$\lambda_{rel,m} \leq 0.75$	$\lambda_{rel,y} \leq 0.3$ $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$	$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
	$\lambda_{rel,y} > 0.3$ та/або $\lambda_{rel,z} > 0.3$	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
$\lambda_{rel,m} > 0.75$		$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$

Позначення, використані в табл. 3.5 – 3.7:

$\sigma_{c,0,d}$ - розрахункове напруження стиску вдовж волокон;

$\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$ - розрахункове напруження згину відносно головної осі у та z, відповідно;

$f_{c,0,d}$ - розрахунковий опір при стиску вдовж волокон;

$f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$ - розрахунковий опір згинанню відносно головної осі у та z, відповідно;

k_m - коефіцієнт, який враховує перерозподіл напружень і вплив неоднорідності матеріалу у поперечному перерізі (для елементів прямокутного перерізу $k_m=0.7$; інших типів перерізу $k_m=1.0$);

$k_{c,y}$, $k_{c,z}$ -коефіцієнт зниження міцності внаслідок збільшення відносної гнучкості

λ_{rel} - відносна гнучкість на згин відносно головної осі;

$\sigma_{m,d}$ - розрахункові напруження від згину відносно осі-максимум у-у;

$\sigma_{c,d}$ - розрахункові напруження від стиску;

k_{crit} – коефіцієнт, що враховує зниження міцності деревини на згин внаслідок випучування із площини.

$M_{y,d}$ - розрахунковий згинальний момент відносно осі у-у;

W_y – момент опору перерізу.

У табл. 3.8 наведені дані про максимальні розрахункові зусилля та рівень використання несучих властивостей стояків першого і другого поверхів при максимальних зусиллях від розрахункових сполучень навантажень. Фізико-механічні характеристики деревини були прийняті згідно табл. 3.1. Розрахункова довжина елемента становить 1 м. Розміри поперечного перерізу складають 38х89 мм.

Таблиця 3.8

Розрахункові поєднання зусиль від найбільш несприятливих сполучень навантажень в стійках

Найменування елемента	Максимальне зусилля, N	Несуча здатність, кН	Використання несучої здатності, %
Стояки 1 поверху по осям «1» та «2»	-2.9 кН	10 кН	29 %
Стояки 1 поверху по осям «А» та «В»	-8.9 кН		59 %
Стояки 2 поверху по осям «1» та «2»	-3.5кН		35 %
Стояки 2 поверху по осям «А» та «В»	-2.7кН		27 %

3.2. Конструктивне рішення та методика розрахунку композитного деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам

Застосування дерев'яних конструкцій в будівництві часто обмежене розмірами пиломатеріалів, недостатньою несучою здатністю, жорсткістю і вогнестійкістю елементів. Для подолання цих обмежень, підвищення несучої здатності і жорсткості конструктивних елементів, а також оптимізації використання деревини в сучасному будівництві застосовуються композитні (гібридні) конструкції, в яких раціонально використовуються матеріали з різними характеристиками.

У випадку пропонованої екологічної будівлі із використанням соломи в якості тепло- та звукоізоляції необхідне забезпечення потрібної висоти перекриття при ефективному використанні матеріалу. З огляду на це, пропонується застосовувати дерев'яні ферми із суцільної або клеєної деревини. Для підвищення просторової жорсткості будівлі по верхньому поясу ферм улаштовується армована ґрунтобетонна плита (рис. 3.8).

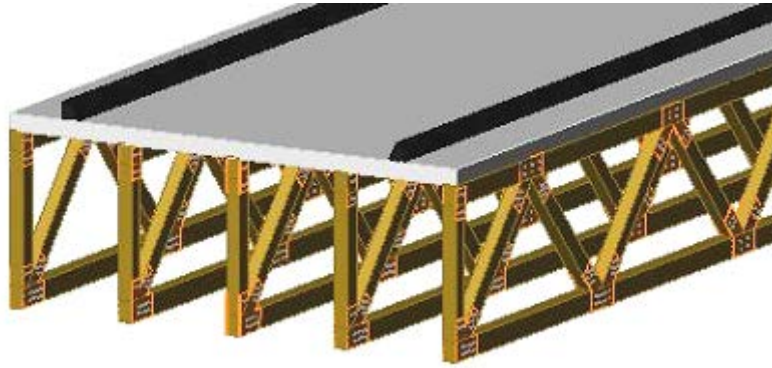


Рис. 3.8. Схема композитного деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам

Сумісна робота елементів композитної конструкції перекриття забезпечується механічними з'єднаннями, які виконуються у вигляді сталевих елементів (цвяхів, шурупів, болтів і т.п.) та сприймають і передають зусилля зсуву і працюють на висмикування. Особливістю механічних з'єднань є їх деформативність, що веде до виникнення зсуву між елементами і не дозволяє досягти повністю спільної роботи матеріалів конструкції (напівкомпозитна робота).

При роботі на вигин компоненти перекриття частково зсуваються відносно один одного на величину $v(x)$ (рис. 3.9). При цьому величина зсуву в напрямку осі балки, як правило, досягає свого максимального значення на опорах і близька до нуля в середині прольоту. У зв'язку з наявністю зсуву класична теорія балок з її припущеннями не може бути застосована до композитних конструкцій на механічних з'єднаннях, тому що при впливі навантаження поперечні перерізи не залишаються плоскими. При згинанні композитної конструкції, що складається з двох елементів та з'єднаннях механічного типу, окремий елемент прагне зміститися щодо іншого. З'єднувальні елементи перешкоджають цьому зміщенню, що призводить до виникнення системи дотичних сил τ , які забезпечують рівновагу на кожній окремій ділянці уздовж довжини балки. Це веде до появи протидіючих осьових сил N_1 та N_2 , які діють в протилежному напрямку і досягають максимуму в середині прольоту балки [7].

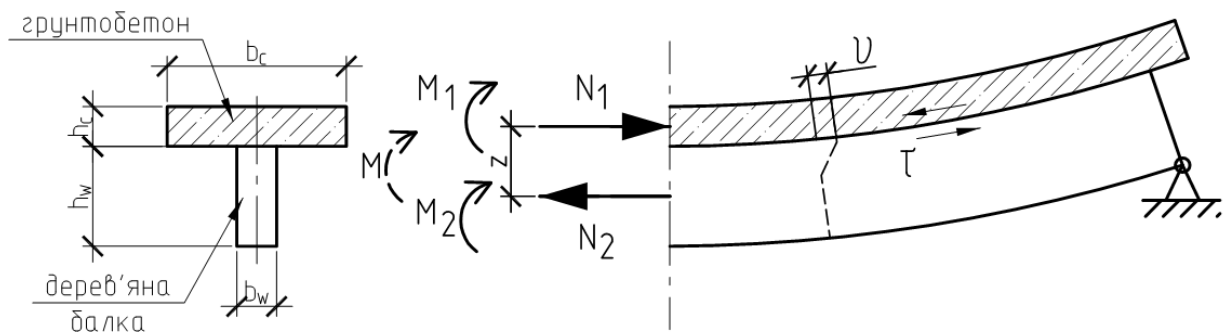


Рис. 3.9. Схема распределение внутренних усилий в композитной конструкции, состоящей из двух элементов

Таким чином, при роботі на згин, верхня частина композитної балки сприймає стиск, а нижня - розтяг. Ці дві сили діють як пара нормальних сил N_1 та N_2 , величина яких залежить від деформативності і жорсткості сполучних елементів. У разі відсутності з'єднувальних елементів величина сил N_1 та N_2 дорівнює нулю. На рис. 3.11 наведені епюри нормальних напружень в перерізі згинального елемента при напівсумісній роботі.

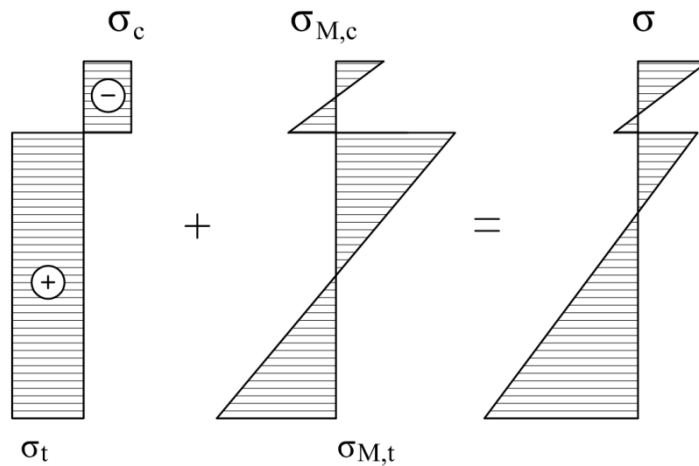


Рис. 3.11. Епюри нормальних напружень в перерізі згинального елемента при напівсумісній роботі

Характер деформацій «навантаження-зсув» має нелінійний характер і як правило, описується виразом:

$$\tau(x) = k_s v(x), \quad (3.1)$$

де k_s – модуль зсуву, чим вище значення якого, тим більш «жорстким» є з'єднання.

У разі рівномірного розподілу сполучних елементів вздовж довжини конструкції вводиться коефіцієнт модуля зсуву на одиницю довжини, який визначається як:

$$k = \frac{k_s}{s}, \quad (3.2)$$

де s – крок розташування з'єднувальних елементів.

При проектуванні деревобетонних конструкцій виконується перевірка за граничними станами несучої здатності та експлуатаційної придатності.

Для бетонного елемента конструкції умова міцності в загальному вигляді може бути представлена наступним чином [8]:

$$\sigma_{N,c,d} + \sigma_{M,c,d} \leq f_{c,d}, \quad (3.3)$$

де $\sigma_{N,c,d}$, $\sigma_{M,c,d}$ – нормальні напруження в бетоні, викликані поздовжньою силою N та згинальним моментом M , відповідно;

$f_{c,d}$ – міцність бетону на стиск.

Для дерев'яного елемента конструкції умова міцності в загальному вигляді може бути представлена наступним чином [2]:

$$\frac{\sigma_{N,t,d}}{f_{t,c,d}} + \frac{\sigma_{M,t,d}}{f_{t,m,d}} \leq 1, \quad (3.4)$$

де $\sigma_{N,t,d}$, $\sigma_{M,t,d}$ – нормальні напруження в дерев'яному елементі, викликані поздовжньою силою N та згинальним моментом M , відповідно;

$f_{t,c,d}$ - розрахунковий опір деревини на стиск;
 $f_{t,m,d}$ - розрахунковий опір деревини на згин;

Таким чином, перевірка міцності деревобетонної конструкції зводиться до визначення напружень в поперечному перерізі. Найбільш поширеним в інженерній практиці способом розрахунку композитних дерев'яних конструкцій є так званий γ -метод, представлений в Єврокод 5 [2]. Метод базується на теорії лінійної пружності і був розроблений для розрахунку дерев'яних конструкцій складених перерізів, проте багаторічні дослідження показали, що він також застосовний до розрахунку деревобетонних конструкцій.

Розрахунок за цим методом ведеться, виходячи з таких припущень:

- проліт шарнірно опертих балки вважається рівним l ; для нерозрізних балок - $0,8 l$; для консольних балок - $2 l$.
- окремі елементи конструкції з пиломатеріалів або виробів на основі деревини виготовлені без стиків по довжині елемента або з клеєними стиками;
- складові частини конструкції з'єднуються елементами механічного типу з модулем ковзання K_i ;
- крок елементів кріплення (s) не змінюється або змінюється рівномірно в межах s_{min} та s_{max} при $s_{max} \leq 4s_{min}$;
- навантаження на конструкцію обумовлює виникнення згинального моменту $M = M(x)$, який змінюється синусоїдально або по параболі, та поперечну силу (зусилля зсуву) $V = V(x)$.

На основі γ -методу була розроблена методика розрахунку композитного деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам. На рис. 3.13 наведені поперечний переріз елемента і розподіл напружень в поперечному перерізі для запропонованої конструкції.

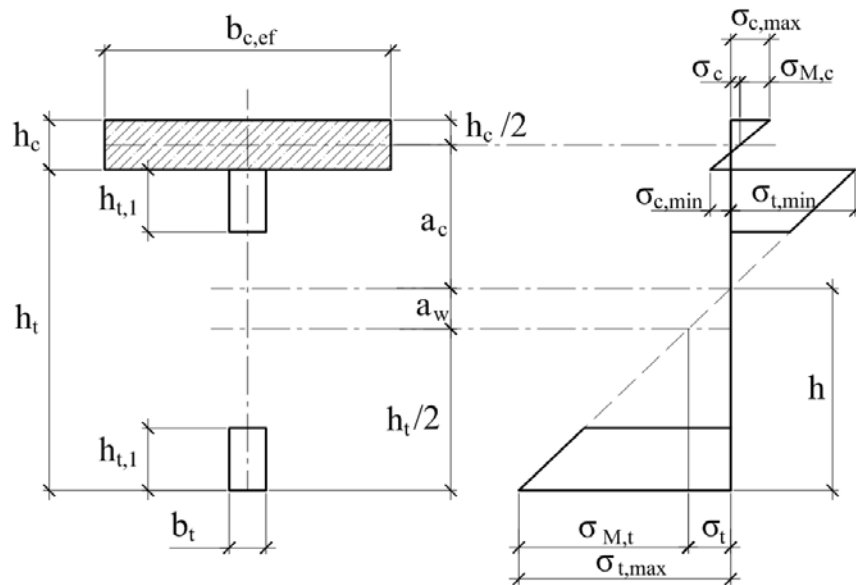


Рис. 3.13. Поперечний переріз елемента і розподіл напружень в поперечному перерізі деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам при розрахунку за γ -методом

Для розрахунку напружень в поперечному перерізі і прогину згинального елемента, а також навантаження на з'єднувальні елементи використовується ефективна згинальна жорсткість $(EI)_{ef}$, яка для складеного перерізу з двох елементів в загальному випадку визначається за формулою:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^2 (E_i I_i + \gamma_i E_i I_i a_i^2), \quad (3.5)$$

де E_i , I_i та A_i - відповідно, модуль пружності, момент інерції та площа поперечного перерізу елементів складеного перерізу.

Для поперечного перерізу деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам вираз прийме вигляд:

$$(EI)_{ef} = E_c I_c + \gamma_c E_c A_c a_c^2 + E_t I_t + \gamma_t E_t A_t a_t^2, \quad (3.6)$$

де E_c , E_t – модуль пружності ґрунтобетону та деревини, відповідно;

I_c , I_t – момент інерції поперечного перерізу ґрунтобетонного та дерев'яного елемента, відповідно;

A_c , A_t – площа поперечного перерізу ґрунтобетонного та дерев'яного елемента, відповідно;

γ_c , γ_t – коефіцієнти зсуву;

a_c , a_w – відстані, див. рис. 3.13.

Коефіцієнти зсуву та відстані визначаються за формулами:

$$a_w = \frac{\gamma_c E_c A_c (h_c + h_t)}{2(\gamma_c E_c A_c + \gamma_t E_t A_t)}; \quad (3.7)$$

$$a_c = \frac{h_c + h_w}{2} - a_w; \quad (3.8)$$

$$\gamma_c = \left(1 + \frac{\pi^2 E_c A_c s}{kL^2} \right); \quad (3.9)$$

$$\gamma_t = 1, \quad (3.10)$$

де s – крок розташування з'єднувальних елементів;

k – модуль ковзання з'єднувальних елементів;

L – розрахунковий прольот конструкції.

Нормальні напруження в поперечному перерізі елемента деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам:

$$\sigma_c = \gamma_c E_c a_c \frac{M}{(EI)_{ef}}; \quad (3.11)$$

$$\sigma_t = \gamma_t E_t a_w \frac{M}{(EI)_{ef}}; \quad (3.12)$$

$$\sigma_{M,c} = 0.5 E_c h_c \frac{M}{(EI)_{ef}}; \quad (3.13)$$

$$\sigma_{M,t} = 0.5 E_t h_t \frac{M}{(EI)_{ef}}; \quad (3.14)$$

$$\sigma_{c,max} = \sigma_c + \sigma_{M,c}; \quad \sigma_{c,mix} = \sigma_c - \sigma_{M,c}; \quad (3.15)$$

$$\sigma_{t,max} = \sigma_t + \sigma_{M,t}; \quad \sigma_{t,mix} = \sigma_t - \sigma_{M,t}; \quad (3.16)$$

де M – згинальний момент.

Прогини згинального композитного елемента складеного перерізу визначаються за стандартними формулами з використанням ефективної згинальної жорсткості $(EI)_{ef}$. Наприклад, для шарнірно опертої композитної балки прольотом l , на яку діє рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю q , прогин складе:

$$w = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{(EI)_{ef}}$$

Визначальним фактором при розрахунку композитних балок за γ -методом є модуль ковзання з'єднань k , який залежить від типу та діаметра з'єднувального елемента, густини деревини і, як правило, визначається експериментальним шляхом в кожному конкретному випадку. Тим не менше, для консервативного розрахунку норми проектування дерев'яних конструкцій допускають визначати модуль ковзання за емпіричними залежностями:

- для розрахунку за граничними станами експлуатаційної придатності

$$K_{ser} = \rho_m^{1.5} \frac{d}{23}$$

- для розрахунку за граничними станами несучої здатності

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

де ρ_m - густина деревини; d - діаметр з'єднувального елемента.

3.3. Експериментальне дослідження несучої здатності та експлуатаційної придатності дерев'яних клеєних балок

Клеєні дерев'яні конструкції є ресурсоефективним матеріалом, оскільки завдяки технологічним особливостям процесу виготовлення дозволяють використання пиломатеріалів невисокої якості або з наявністю дефектів, які унеможливають їхнє застосування в якості несучих конструкцій. Окрім цього, конструкції з клеєної деревини характеризуються підвищеною довговічністю та несучою здатністю, що дозволяє перекривати великі прольоти, сприймати значні навантаження тощо.

В конструктивному рішенні екологічної будівлі «Потрійний нуль» з метою мінімізації використання залізобетону як матеріалу, який не відповідає пропонованій концепції, пропонується на заміну традиційного ростверку по оголовкам свайного фундаменту в якості опорного елемента для стінової конструкції використовувати балки з клеєної деревини.

Оскільки на сьогодні, клеєна деревина не є широко поширеним конструкційним матеріалом в будівельній галузі України, а виробники таких конструкцій використовують сучасні технології, матеріали для скеювання деревини тощо, необхідне експериментальне дослідження несучої здатності та експлуатаційної придатності дерев'яних клеєних балок.

Для проведення дослідження були використані клеєні дерев'яні балки фірми DaxWood, виготовлені з використанням пиломатеріалів деревини сосни та вологотверднучого 1-компонентного поліуретанового клею Клейберит PUR 510 FiberBond. Основною метою експерименту було визначення несучої здатності на згин та прогину під дією зосередженого навантаження в середині прогону балки розміром 120x180x9880 мм ($b \times h \times l$). Кожна балка складалася з 9 шарів, склеєних між собою ламелей (досок) завтовшки 20 мм та завширшки 120 мм. Деревина ламелей – сосна. Вологість деревини 8 – 10%.

Задачі дослідження:

1. Визначення теоретичної несучої здатності клеєних дерев'яних балок фірми DaxWood у відповідності до вимог ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Єврокод 5.

Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT) [2].

2. Розробка установки та схеми випробування клеєних дерев'яних балок на згин відповідно до вимог ДСТУ EN 408:2003 «Лісоматеріали конструкційні. Конструкційна та клеєна шарувата деревина. Визначення деяких фізичних та механічних властивостей»[3].
3. Виконання випробувань клеєних дерев'яних балок на згин.
4. Порівняльний аналіз несучої здатності та прогину клеєних дерев'яних балок.

Розрахунок теоретичної несучої здатності балки з клеєної деревини на згин, а також теоретичного прогину виконувався відповідно до вимог ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила та правила для будівель (EN 1995-1-1:2004, IDT)

Розрахунок виконано, ґрунтуючись на характеристиках міцності та пружності для клеєної деревини класу GL24h, що наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Характеристики клеєної деревини класу GL24h для визначення теоретичної несучої здатності

Найменування характеристики	Умове позначення	Чисельне значення
Міцність на згин, МПа	$f_{m,g,k}$	24
Модуль пружності, МПа	$E_{0,g,mean}$	11500

Момент опору перерізу балки:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{12 \cdot 18^2}{6} = 648 \text{ см}^3.$$

Момент інерції перерізу балки:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 18^3}{12} = 5832 \text{ см}^3$$

Момент вигину в небезпечному перерізі:

$$M = \frac{Fl}{4},$$

де F – зосереджене навантаження, кгс;
 l – розрахунковий проліт, м.

Нормальні напруження в небезпечному перерізі балки:

$$\sigma_{m,y} = \frac{M}{W}.$$

Прирівнюючи нормальні напруження в небезпечному перерізі балки до міцності клеєної деревини на згин, визначаємо теоретичне руйнівне навантаження на балку:

$$F_{teor} = \frac{4 f_{m,g,k} \cdot W}{l} = \frac{4 \cdot 240 \cdot 648}{948} = 656 \text{ кгс}$$

З урахуванням розмірного коефіцієнту для елементів з висотою поперечного перерізу менше 600 мм $k_h=1.1$:

$$F'_{teor} = k_h \cdot F_{teor} = 1.1 \cdot 656 = 722 \text{ кгс}.$$

Розрахунковий прогин балки для навантаження 722 кгс:

$$f'_{teor} = \frac{F_{teor} \cdot l^3}{48EI} = \frac{722 \cdot 948^3}{48 \cdot 115000 \cdot 5832} = 19.1 \text{ см}.$$

Максимальне значення теоретичного руйнівного навантаження для випробувань балок було прийнято $F_{teor}^{max} = 2000 \text{ кгс}$.

Розрахунковий прогин балки, що відповідає прийнятому значенню навантаження :

$$f_{teor}^{max} = \frac{F_{teor}^{max} \cdot l^3}{48EI} = \frac{2000 \cdot 948^3}{48 \cdot 115000 \cdot 5832} = 52.9 \text{ см}.$$

Балка з обох кінців закріплювалась на шарнірно-рухомих опорах з допомогою сталевих тросів. Зосереджене навантаження на балку передавалось в середині прольоту через траверсу гідравлічним пресом. Схему навантаження балки наведено на рис. 3.14.

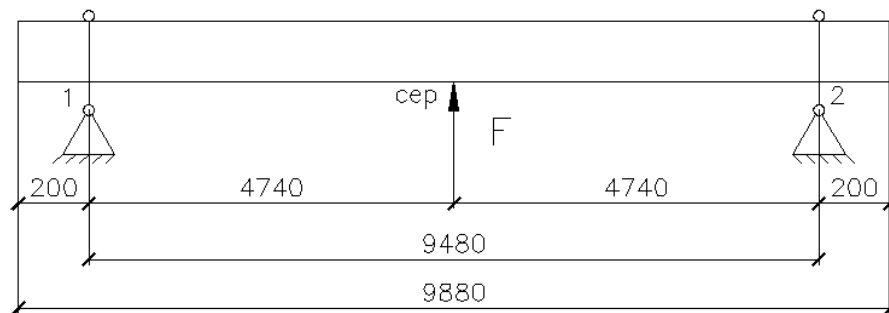


Рис. 3.14. Схема навантаження балки

Для виключення локального зминання деревини на кожній опорі було встановлено сталевий кутик розміром 25x25, довжиною 150 мм (рис. 3.15), на якому закріплювалась вісь рухомого шарніру.

Стійкість балки в процесі навантаження забезпечувалася з допомогою траверси, закріпленої на балці перпендикулярно до її поздовжньої вісі і вільно ковзаючої уздовж вертикальних стійок паралельно лінії навантаження (рис. 3.16).

Під час випробувань використовувався гідравлічний домкрат ДГ-50, що забезпечує навантаження до 50 т та має хід поршня до 200 мм. Нагнітання мастила в систему виконувалось вручну за допомогою маслостанції.

Вимірювання переміщень здійснювалось рулеткою з використанням лазерного горизонту фірми STENLEY, точність вимірювання ± 1 мм.

Навантаження балки здійснювалось трьома діапазонами плавно в межах кожного до руйнування зразка. Покази переміщення знімалися кожні дві одиниці тиску за шкалою манометру, які дорівнюють приблизно 200 кгс навантаження, що відповідає $\approx 10\%$ від прийнятого значення теоретичного руйнівного навантаження.

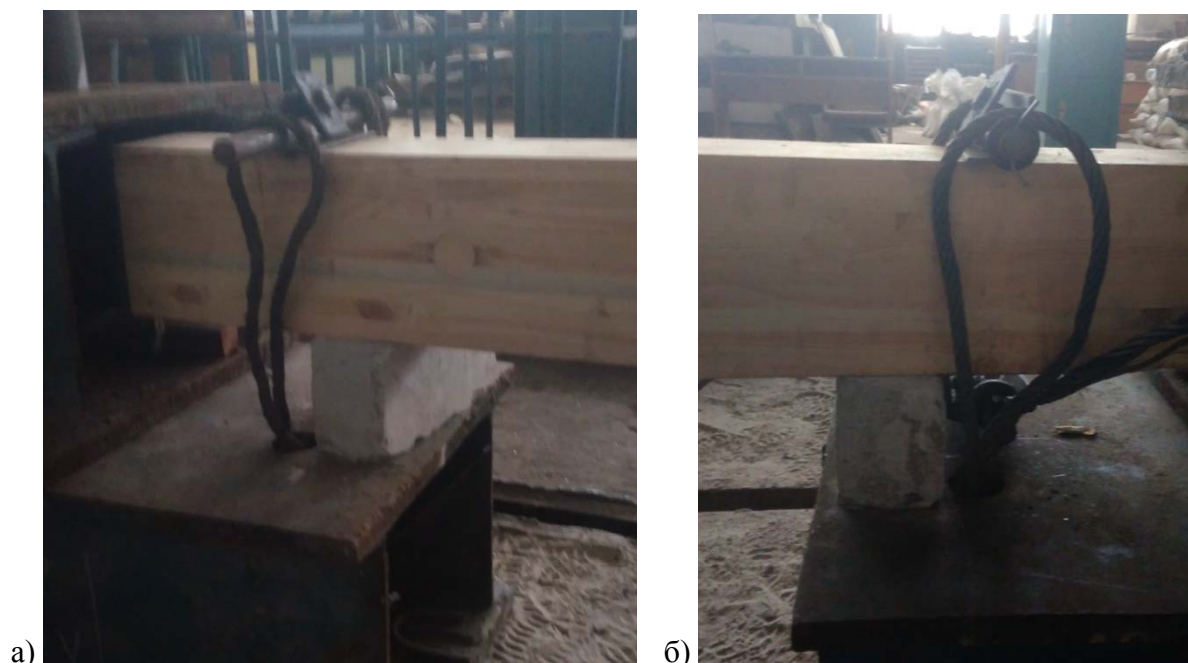


Рис. 3.15. Опори випробуваної балки



Рис. 3.16. Елементи забезпечення стійкості балки

У процесі проведення випробувань фіксувались наступні показники:

- величина навантаження;
- величина переміщення кожної опори та точки прикладення навантаження (середньої опори);
- навантаження та прогин в момент руйнування.

Також в процесі проведення випробувань фіксувались первинні ознаки руйнування конструкцій: характерний тріск, поява тріщин та інше.

Результати випробувань контрольних балок наведені в табл. 3.10.

Результати випробування балок

Номер зразка	Руйнівне навантаження, кгс	Прогин в момент руйнування, мм
Балка №1	1469	251
Балка №2	1413	275

Руйнування балок сталося в результаті руйнування деревини у розтягнутій зоні поблизу дії максимального згинального моменту. Проте, руйнування кожної з балок носило різний характер. При навантаженні приблизно 1000 ÷ 1100 кгс в обох випадках почалось відшаровування деревини в зоні окремих «пробок», що супроводжувалось відчутним тріском та появою тріщин.

Особливістю балки №1 була локалізація в розтягнутій зоні декількох "пробок", якими при виготовленні балки заміщалися дефекти деревини (мертві сучки). Як наслідок, руйнування першої балки розпочалося з відшаровування дерев'яних "пробок". Подальше збільшення навантаження викликало розрив волокон деревини ламелей, що пролягали нижче. Характер руйнування балки №1 наведений на рис. 3.17.

Руйнування балки №2 розпочалося з розшарування верхньої ламелі вздовж річних шарів деревини в зоні стику по довжині ламелей найбільш розтягнутого шару. Остаточне руйнування сталося в результаті розриву розтягнутих волокон деревини та розшарування ламелей ближче до місця прикладення зосередженого навантаження, де діяв максимальний момент вигину. Характер руйнування балки №2 наведений на рис. 3.18.

До протоколу випробувань заносились такі показники:

- одиниці тиску за шкалою манометру;
- положення кожної з рухомих опор 1 та 2 відносно горизонту;
- положення точки прикладення зосередженого навантаження відносно горизонту.

Визначення прогину балки здійснювалось за формулою:

$$f_i = \frac{f_1 + f_2}{2} - f_{сер},$$

де f_i – прогин для поточного значення навантаження,

f_1 – відстань від опори 1 до горизонту,

f_2 – відстань від опори 2 до горизонту,

$f_{сер}$ – відстань від точки прикладення навантаження (середньої опори) до горизонту.

Визначення навантаження здійснювалось за формулою:

$$F_i = p \cdot S_n,$$

де F_i – поточне значення навантаження,

p – тиск в гідравлічній системі домкрату,

S_n – площа поршня домкрату.

В результаті випробувань були отримані значення прогину в залежності від величини навантаження та максимальне навантаження в момент руйнування. Згідно цих даних для обох випробуваних зразків побудовано графіки залежності прогину від навантаження, на яких зображено точку руйнування за теоретичним розрахунком (рис. 3.19).

Порівняльні характеристики прогину та руйнівного навантаження балок, визначені теоретичним та експериментальним шляхом, приведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Порівняльні характеристики прогину та руйнівного навантаження балок

Серія випробувань	Прогин, мм		Коеф. запасу	Руйнівне навантаження, кгс		Коефіцієнт запасу
	теор.	факт.		теор.	факт.	
Балка №1	191	251	1,31	722	1469	2,03
Балка №2		275	1,44		1413	1,96

Як видно з отриманих даних, фактичний прогин балок складає 251 мм та 275 мм, що в 1.31 та 1.44 рази перевищує значення теоретичні значення прогину. Відповідно, руйнівне навантаження, визначенне експериментально, в 1.96 та 2.03 рази перевищує теоретично визначене.



а)



б)

Рис. 3.17. Характер руйнування балки №1



а)



б)



в)

Рис. 3.18. Характер руйнування балки №2

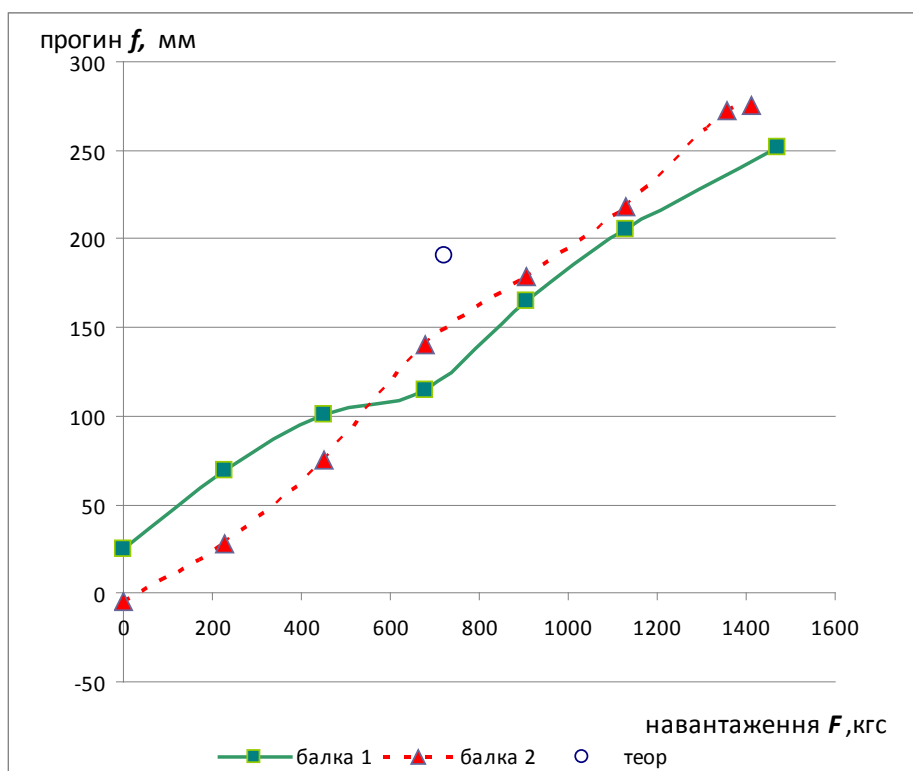


Рис.3.19. Графічне зображення результатів випробувань

В результаті експерименту було підтверджено можливість використання клеєних дерев'яних балок в якості несучих конструкцій, причому реальні зразки показали більшу міцність та більшу пружність ніж за теорією. Таку ситуацію можна пояснити властивостями клею Клейберит, застосованого для склеювання ламелей, який дозволяє більш рівномірно розподілити навантаження між ними, що в свою чергу задіює більшу кількість волокон деревини, внаслідок чого конструкція отримує підвищену міцність та пружність відносно стандартного випадку.

Властивості обох зразків виявились досить близькими, але балка №2 показала меншу стійкість до навантаження на вигин ніж балка №1, що проявилось у більшому прогині та меншому зусиллі навантаження під час руйнування. Характер ліній навантаження має незначні відхилення від прямолінійного закону, що свідчить про відсутність впливу сторонніх факторів.

Початок руйнування обумовила певна концентрація дефектів деревини поблизу місця дії максимального моменту вигину, але характер руйнування виявився різним. Якщо балка №1 почала руйнуватися у місці локалізації декількох пробок у найбільш розтягнутій ламелі, то найслабшим місцем балки №2 виявився стик ламелей у другому шарі та великий кут нахилу річних шарів у верхній ламелі (рис. 5, в).

Для підвищення міцності клеєних балок з деревини на згин рекомендується уникати наявності дефектів деревини та стиків ламелей у двох крайніх найбільш розтягнутих шарах поблизу місця дії максимального моменту вигину. Деякого ефекту можна досягнути також використанням для пробок та стиків клею з більшою міцністю на розрив.

Список використаних джерел до розділу 3

1. ДБН В.1.2-2:2006 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування».
2. ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 «Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT)»
3. ДСТУ EN 408:2003 «Лісоматеріали конструкційні. Конструкційна та клеєна шарувата деревина. Визначення деяких фізичних та механічних властивостей».
4. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві.. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності. Геометричних параметрів. Настанова».
5. Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5 / - London: The Institution of Structural Engineers and TRADA Technology Ltd, 2007. - 406 с.
6. Wood handbook – Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. – 508 p.
7. Timber Engineering Sven Thelandersson, Hans J. Larsen (ed.), 2003, John Wiley & Sons. 446 p.
8. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT).
9. Van der Linden, M.L.R.. (1999). Timber-concrete composite beams. HERON, 44 (3), 1999. 44.
10. Kuai, Le. Parametrized Finite Element Simulation of Multi-Storey Timber Structures. 2017, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-66825>.
11. Abdullah Togay, Özgür Anil, Ümmü Karagöz İşleyen, İbrahim Ediz, Cengizhan Durucan. Finite-element analyses of light timber-framed walls with and without openings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings 2017 170:8, 555-569. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/jstbu.16.00085>.

Розділ 4. Теоретичне та експериментальне обґрунтування огорожувальних конструкцій екологічної будівлі «Потрійний нуль»

4.1. Дослідження тепловитрат вузлів сполучень конструкцій

При проектуванні будівлі з нульовим енергоспоживанням для зменшення втрат тепла через огорожувальні конструкції необхідно насамперед, забезпечити термічну однорідність оболонки будівлі, при якій будуть відсутні, або зведені до мінімуму «містки холоду».

Температурний міст або місток холоду - ділянка захисної конструкції будівлі, що має знижений термічний опір. Це може бути стик між частинами конструкції або конструктивний елемент, що складається з матеріалів з більш високою теплопровідністю.

Залежно від причин підвищених витоків тепла розрізняють 4 види теплових містків холоду:

- геометричні - визначаються архітектурно-конструктивними особливостями будинку, наприклад зовнішній кут, стики елементів конструкції;
- матеріальні або конструктивні - характеризуються різною теплопровідністю будівельних елементів і матеріалів, які поєднані в єдину конструкцію будівлі (наприклад, залізобетонні плити перекриття, віконні і дверні перемички в цегляній кладці стін);
- лінійні – місця, з відсутністю утеплення стін будинку, наприклад, уздовж укосів вікон або дверей;
- точкові - це місця в стінах будинку, де встановлюються анкери, болти або інші кріпильні з'єднання, у яких теплопровідність істотно вище теплопровідності стіни.

Містки холоду можуть привести до зниження температури всередині приміщень в холодну пору року і перегріву приміщень в спекотний період; утворення конденсату на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції; підвищення ймовірності виникнення вогкості і цвілі на внутрішніх стінах будинку, що сприятиме розвитку шкідливих бактерій (в сприятливому вологому середовищі).

Для оцінки ефективності конструктивних рішень огорожуючих конструкцій екологічної будівлі за концепцією «Потрійний нуль» досліджено втрати тепла через найбільш характерні вузли сполучення конструктивних елементів будівлі, в яких можливо утворення містків холоду:

- опирання перекриття на зовнішню стіну (вузли 1 і 2);
- опирання зовнішньої стіни і перекриття на вим. 0,000 на конструкцію фундаменту (вузли 3 і 4);
- коньковий вузол даху (вузли 5 і 6).

Згідно ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [1] для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд, які опалюються і охолоджуються, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{q \min} \quad (4.1)$$

$$\Delta T_{np} \geq \Delta T_{cr} \quad (4.2)$$

$$T_{B \min} \geq T_{\min} \quad (4.3)$$

де $R_{\Sigma np}$ - приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$R_{q \min}$ - мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

ΔT_{np} - температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

ΔT_{cr} - допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

T_{Bmin} - мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С;

T_{min} - мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього і зовнішнього повітря, °С.

Розрахунки теплових втрат в вузлах сполучення конструкцій, приведений опір теплопередачі виконувались за умови стаціонарного процесу розповсюдження теплоти за методикою, яка викладена в нормативному документі [1] з використання програмного комплексу Elcut.

Для розрахунку були прийняті наступні вихідні дані:

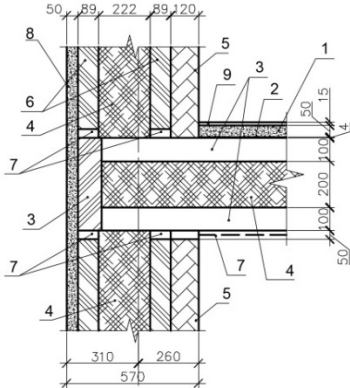
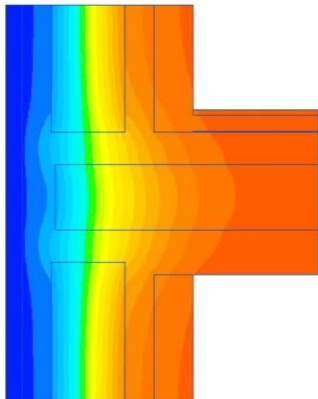
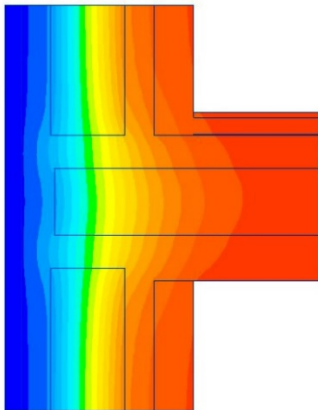
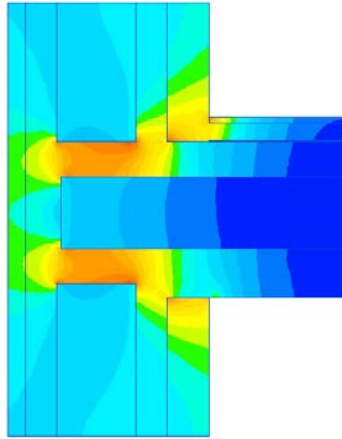
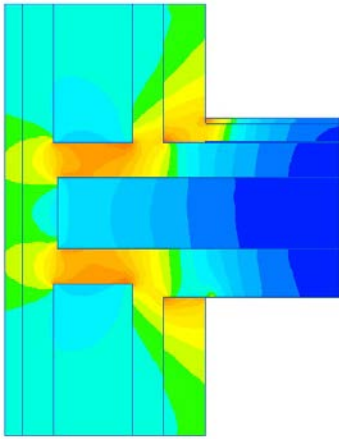
- температура зовнішнього повітря: -5 °С - середнє значення за січень для м. Дніпра (варіант І), що відповідає 268 К, і -24 °С – найбільш холодна п'ятиденка, забезпеченістю 0,92(варіант ІІ), що відповідає 249К згідно [2];
- температура внутрішнього повітря +20°С, що відповідає 293 К;
- коефіцієнти тепловіддачі на поверхнях, що межують із зовнішнім і внутрішнім повітрям приймалися згідно нормативного документу[1].

За результатами розрахунку в табл. 4.1 представлені схеми розподілу температур і теплового потоку в розглянутих вузлах сполучення конструкцій; а також значення теплового потоку, що проходить через вузлове з'єднання і температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій.

Аналіз результатів розрахунків представлено в таблиці 4.3.2, який засвідчує, що найбільші втрати тепла спостерігаються в зоні сполучення зовнішньої стіни, перекриття і фундаментної конструкції (вузли 3,4), де середнє значення теплового потоку на внутрішній поверхні конструкції дорівнює 13,46 Вт/м² при температурі зовнішнього повітря -5°С і 27,11 Вт/м² при температурі -24°С; найменші втрати – через коньковий вузол даху (вузли 5,6), середнє значення теплового потоку становить 5,4 Вт/м² при температурі зовнішнього повітря -5°С і 10,43 Вт/м² при температурі -24°С.

Таблиця 4.1

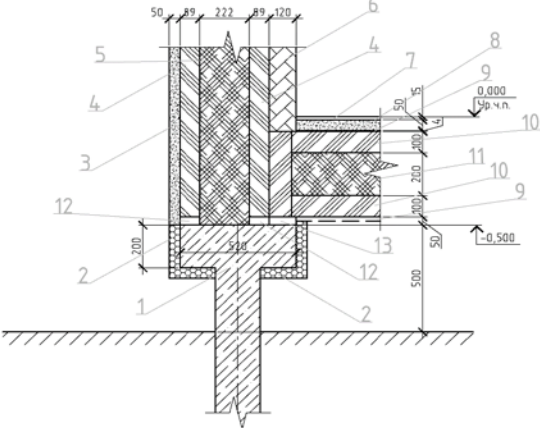
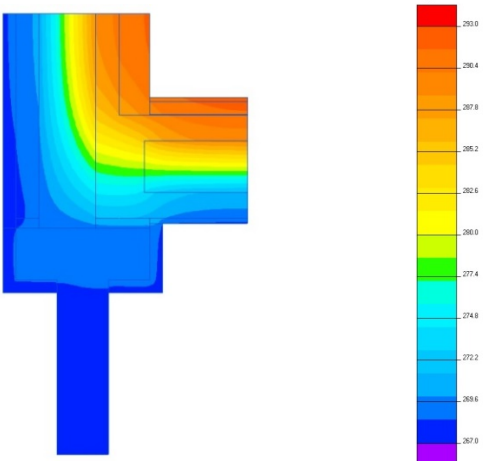
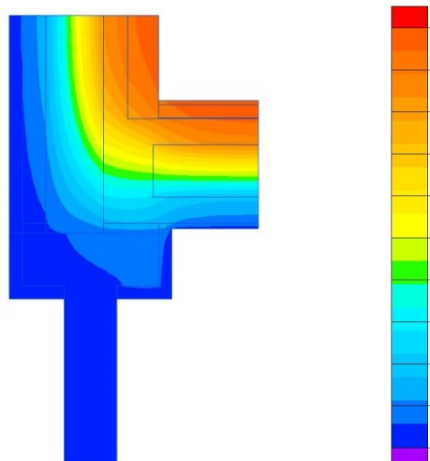
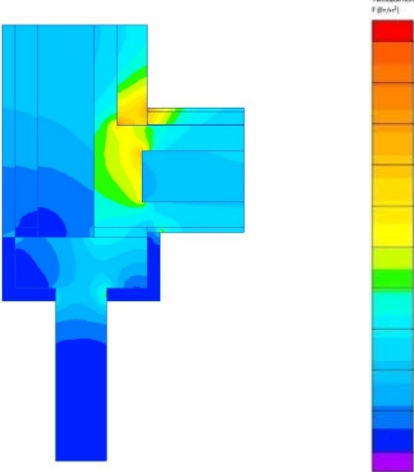
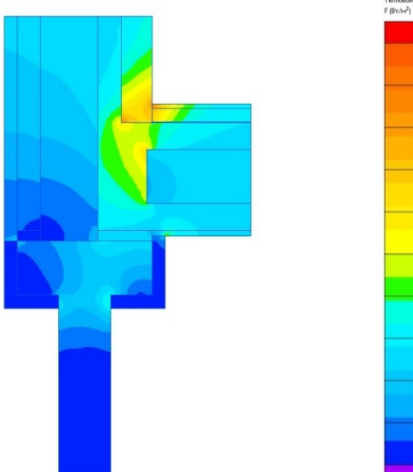
Конструктивні рішення і теплотехнічні характеристики вузлів сполучення
конструктивних елементів будівлі

Вузол 1- Опирання перекриття на зовнішню стіну (в місцях сполучення дерев'яного каркасу)	
Конструктивні рішення вузлів	Опис конструктивних елементів
	1. Армований ґрунтобетон, $\delta=50\text{мм}$, $\lambda=0,93\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 2. Фанера, $\delta=4\text{мм}$, $\lambda=0,18\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 3. Дерев'яна ферма із бруса $50\times100\text{ мм}$, висотою 400 мм із шагом 600 мм, $\lambda=0,35\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 4. Утеплювач (прес.солома), $\lambda=0,08\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 5. Ґрунтоблоки 120 мм, $\lambda=0,93\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 6. Дерев'яна стійка $38\times89\text{ мм}$, $\lambda=0,19\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 7. Дерев'яний брус $38\times89\text{ мм}$, $\lambda=0,19\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 8. Глиняна штукатурка по дранці, $\delta=50\text{мм}$, $\lambda=0,8\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 9. Керамічна плитка, $\lambda=1,1\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$;
Теплотехнічні показники	
Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $T_{\text{Вmin}}=291,82\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=0,58\text{ К}$	 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $T_{\text{Вmin}}=290,6\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=0,9791\text{ К}$
Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q_{\text{ср}}=10,582\text{ Вт/м}^2$	 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q_{\text{ср}}=21,45\text{ Вт/м}^2$

Таблиця 4.1 (продовження)

Вузол 2- Опирання перекриття на зовнішню стіну (між елементами дерев'яного каркасу)	
Конструктивні рішення вузлів	Опис конструктивних елементів
	1. Армований ґрунтобетон, $\delta=50\text{мм}$, $\lambda=0,93\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 2. Фанера, $\delta=4\text{мм}$, $\lambda=0,18\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 3. Солом'яна панель, $\lambda=0,08\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 4. Дерев'яний брус $38\times 89\text{ мм}$, $\lambda=0,19\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 5. Ґрунтоблоки 120 мм, $\lambda=0,93\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 6. Керамічна плитка, $\lambda=1,1\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 7. Глиняна штукатурка по дранці, $\delta=50\text{мм}$, $\lambda=0,8\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$;
Теплотехнічні показники	
Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=292,3\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=0,7\text{ К}$	Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=291,46\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=1,54\text{ К}$
Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q=5,95\text{ Вт/м}^2$	Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q=13,71\text{ Вт/м}^2$

Таблиця 4.1 (продовження)

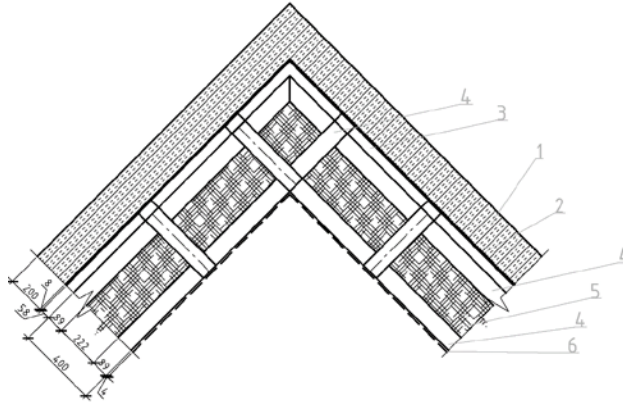
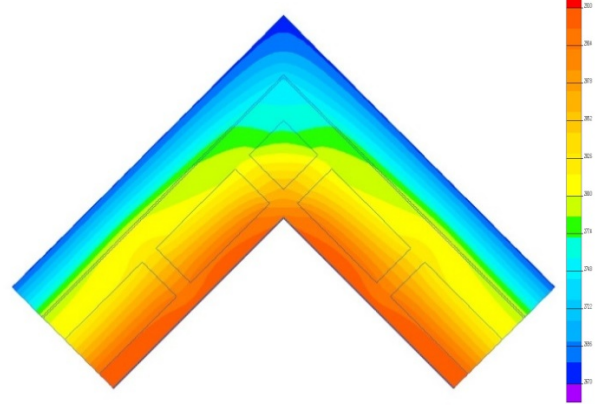
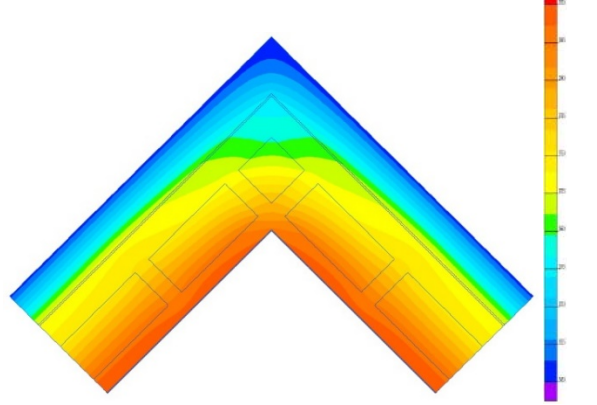
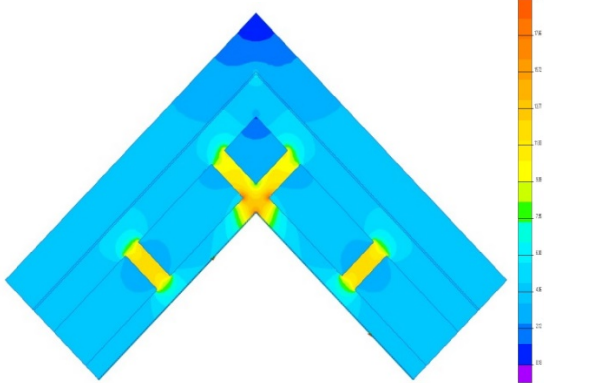
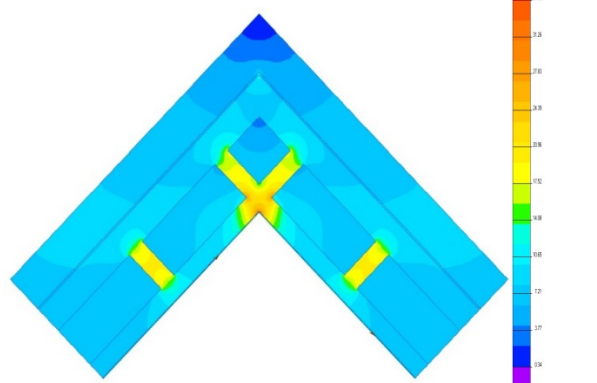
Вузол 3 – Опирання зовнішньої стіни і перекриття на вим.0,000 на конструкцію фундаменту (в місцях сполучення дерев'яного каркасу)	
Конструктивні рішення вузлів	Опис конструктивних елементів
	1.3/б ростверк, $\lambda=2,04$ Вт/К·м 2. Утеплювач (мінвата), $\lambda=0,062$ Вт/К·м 3. Глиняна штукатурка по дранці, $\lambda=0,8$ Вт/К·м; 4. Дерев'яні стійки 38х89мм, $\lambda=0,35$ Вт/К·м; 5. Утеплювач (прес.солома) $\lambda=0,08$ Вт/К·м; 6. Грунтоблоки 120 мм, $\lambda=0,93$ Вт/К·м; 7. Керамічна плитка, $\lambda=1,1$ Вт/К·м; 8. Армований ґрунтобетон, $\delta=50$мм, $\lambda=0,93$ Вт/К·м; 9. Фанера, $\delta=4$мм, $\lambda=0,18$ Вт/К·м; 10. Ферма із бруса 50х100 мм, висотою 400 мм, $\lambda=0,35$ Вт/К·м; 11. Утеплювач (прес.солома) $\lambda=0,08$ Вт/К·м; 12. Обв'язка 38х89 мм, $\lambda=0,18$ Вт/К·м; 13. Обв'язка 50х120 мм, $\lambda=0,18$ Вт/К·м;
Теплотехнічні показники	
Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}} = 291,53$ К; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t = 1,47$ К	 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}} = 290,02$ К; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t = 2,98$ К
Тепловий потік, Вт/м ² , $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, Вт/м ² , $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q = 13,46$ Вт/м²	 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q = 27,11$ Вт/м²

Таблиця 4.1 (продовження)

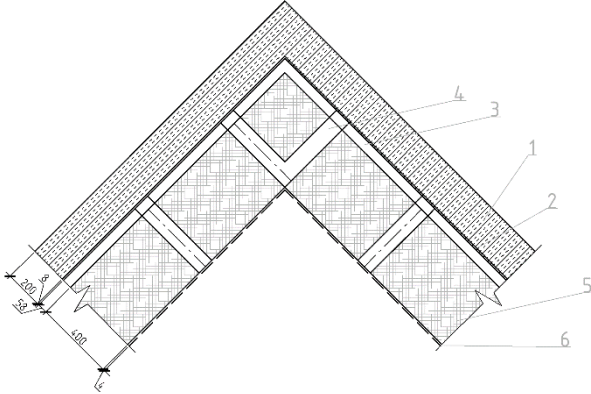
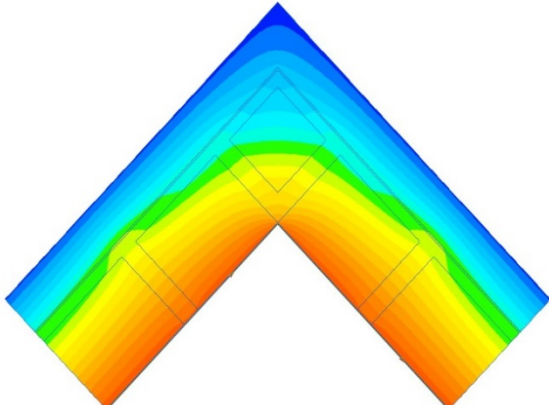
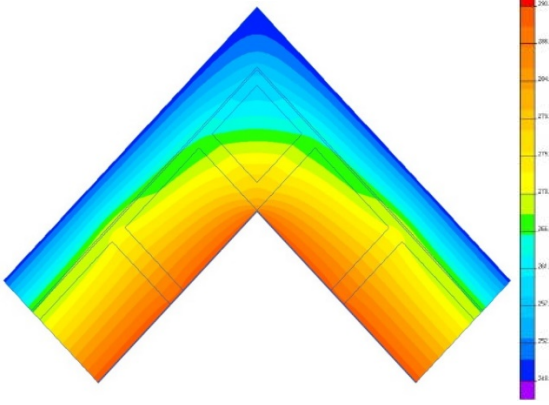
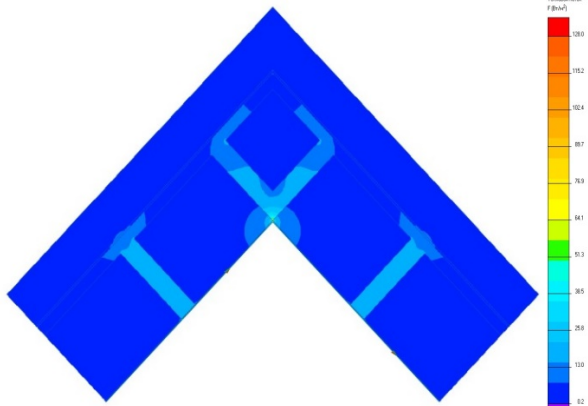
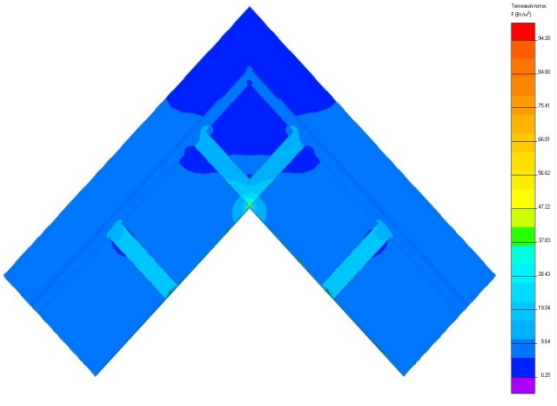
Вузол 4 – Опирання зовнішньої стіни і перекриття на вим.0,000 на конструкцію фундаменту (між елементами дерев'яного каркасу)

Конструктивні рішення вузлів	Опис конструктивних елементів 1. З/б ростверк, $\lambda=2,04 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$ 2. Утеплювач (мінвата), $\lambda=0,062 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$ 3. Глиняна штукатурка по дранці, $\delta=50\text{мм}$, $\lambda=0,8 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 4. Солом. плита, $\delta=222\text{мм}$ $\lambda=0,08 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 5. Грунтоблоки 120 мм, $\lambda=0,93 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 6. Керамічна плитка, $\lambda=1,1 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 7. Армований ґрунтобетон, $\delta=50\text{мм}$, $\lambda=0,93 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 8. Фанера, $\delta=4\text{мм}$, $\lambda=0,18 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 9. Обв'язка 38x89 мм, $\lambda=0,18 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 10. Обв'язка 50x120 мм, $\lambda=0,18 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$;
Теплотехнічні показники	
Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=292,18 \text{ K}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=0,82 \text{ K}$	Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=291,11 \text{ K}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=1,829 \text{ K}$
Тепловий потік, Вт/м^2, $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, Вт/м^2, $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q = 7,42 \text{ Вт/м}^2$	Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q = 17,2 \text{ Вт/м}^2$

Таблиця 4.1 (продовження)

Вузол 5 – Коньковий вузол даху (в місцях сполучення дерев'яного каркасу)	
Конструктивні рішення вузлів	Опис конструктивних елементів
	1. Покрівля з очеретяних блоків, $\delta=200\text{мм}$, $\lambda=0,07\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 2. Фанера, $\delta=8\text{мм}$, $\lambda=0,18\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 3. Решетування (брус 50×50, шаг 600мм), $\lambda=0,35\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 4. Дерев'яна ферма із бруса $50\times100\text{ мм}$, висотою 400 мм, $\lambda=0,35\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 5. Утеплювач для дерев'яної ферми (прес. солома), $\lambda=0,08\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 6. Підшивка (фанера), $\delta=4\text{мм}$, $\lambda=0,18\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$
Теплотехнічні показники	
Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=292,38\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=0,62\text{ К}$	 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=291,82\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=1,18\text{ К}$
Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q=5,47\text{ Вт/м}^2$	 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q=10,43\text{ Вт/м}^2$

Таблиця 4.1 (продовження)

Вузол-6. - Коньковий вузол даху (між елементами дерев'яного каркасу)	
Конструктивні рішення вузлів	Опис конструктивних елементів
	1. Покрівля з очеретяних блоків, $\delta=200\text{мм}$, $\lambda=0,07\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 2. Фанера, $\delta=8\text{мм}$, $\lambda=0,18\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 3. Решетування (брус 50×50 , шаг 600мм), $\lambda=0,18\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 4. Дерев'яна ферма із бруса $50\times100\text{ мм}$, висотою 400 мм , $\lambda=0,35\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 5. Солом.панель (утеплювач), $\lambda=0,08\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$; 6. Підшивка (фанера), $\delta=4\text{мм}$, $\lambda=0,18\text{ Вт/К}\cdot\text{м}$
Теплотехнічні показники	
Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Розподіл температур $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=292,5\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=0,5\text{ К}$	 Температура на внутрішній поверхні конструкції: $t_{\text{ср}}=291,7\text{ К}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t=1,3\text{ К}$
Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-5^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, Вт/м^2 , $t_{\text{зовн}}=-24^{\circ}\text{C}$
 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q=5,5\text{ Вт/м}^2$	 Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q=10,91\text{ Вт/м}^2$

Таблиця 4.2

**Аналіз теплотехнічних показників конструктивних елементів екобудівлі
за концепцією «Потрійний нуль»**

Найменування конструкції	$R_{\Sigma np}$, м ² ·К/В т	R_{qmin} , м ² ·К/Вт	ΔT_{np} , °С		ΔT_{cr} , °С	T_{Bmin} , °С		T_{min} , °С
			при $t_3 = -5^\circ\text{C}$	при $t_3 = -24^\circ\text{C}$		при $t_3 = -5^\circ\text{C}$	при $t_3 = -24^\circ\text{C}$	
Вузол 1. Опирання перекриття на зовнішню стіну (в місцях сполучення дерев'яного каркасу)	6,8	3,3	0,58	0,98	4,0	18,82	17,6	12
Вузол 2. Опирання перекриття на зовнішню стіну (між елементами дерев'яного каркасу)	6,8	3,3	0,7	1,54	4,0	19,3	18,46	12
Вузол 3. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на вім.0,000 на конструкцію фундаменту (в місцях сполучення дерев'яного каркасу)	6,7	3,75	1,47	2,98	2,0	18,53	17,02	12
Вузол 4. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на вім.0,000 на конструкцію фундаменту (між елементами дерев'яного каркасу)	6,7	3,75	0,82	1,83	2,0	19,18	18,11	12
Вузол 5. Коньковий вузол даху (в місцях сполучення дерев'яного каркасу)	11,1	4,95	0,62	1,18	3,0	19,38	18,82	12
Вузол 6. Коньковий вузол даху (між елементами дерев'яного каркасу)	11,1	4,95	0,5	1,3	3,0	19,5	18,7	12

Приведений опір теплопередачі конструкцій $R_{\Sigma np}$ всіх розглянутих вузлів в 2 рази перевищує R_{qmin} , тобто виконується перша умова для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд згідно [1].

Стосовно другої умови для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд $\Delta T_{np} \geq \Delta T_{cr}$, то для вузлів 1, 2, 4, 5 і 6 сполучення конструкцій, умова виконується, а в вузлі 3 - опирання зовнішньої стіни і перекриття на вім.0,000 на конструкцію фундаменту (в місцях сполучення дерев'яного каркасу) при зовнішній температурі -24°C $\Delta T_{np} = 2,98^\circ\text{C}$, що на $0,8^\circ\text{C}$ перевищує нормативне значення $\Delta T_{cr} = 2,0^\circ\text{C}$ згідно [1]. Спираючись на викладене вище, можна зробити висновок, що для вузлів опирання зовнішньої стіни і перекриття на вім.0,000 на конструкцію фундаменту необхідно передбачити заходи щодо додаткового теплозахисту конструкції перекриття на

від 0,000 м. Мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальних конструкціях $T_{B\min}$ для всіх розглянутих вузлів перевищує $T_{\min}$

4.2. Лабораторні дослідження легких бетонів на базі коноплі та льону для впровадження в якості ізоляції екологічної будівлі «Потрійний нуль»

Сьогодні однією з найважливіших проблем будівельного сектору є питання енергозбереження та забезпечення високоякісної теплоізоляції стін для будівель. Будівництво є дуже енергоємним процесом, і постійне зростання цін на енергоносії значно збільшує вартість будівництва нових споруд та експлуатації існуючих. Це питання було багато обговорювалося під час Кліматичної конференції у Парижі у 2015 році (COP21). В ході конференції був створений Глобальний Будівельний Альянс, одна з перших і основних цілей формування якого - це розповсюдження зелених та енергоефективних рішень у світовому будівельному секторі. Один з способів економії паливно-енергетичних ресурсів полягає в тому, щоб зменшити втрати тепла через огорожувальні конструкції з урахуванням всього життєвого циклу конструкції та ізоляційних матеріалів. Підвищення теплотехнічних вимог до огорожувальних конструкцій обумовлює необхідність використання високоефективних теплоізоляційних матеріалів.

Важливими характеристиками будівельних матеріалів, що рекомендовані для застосування при проектуванні сталого житла є:

- **коефіцієнт теплопровідності матеріалу** - ця характеристика дорівнює кількості теплоти, що проходить через однорідний зразок матеріалу одиничної довжини і одиничної площі за одиницю часу при одиничній різниці температур (1 К). В системі СІ одиницею вимірювання коефіцієнта теплопровідності є Вт/(м·К). Іншими словами наскільки енергоефективна буде оболонка будівлі великою мірою залежить від даного показника. Рекомендоване мінімальне значення коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу 0,07 Вт / (м · К);

- **паропроникність** - здатність матеріалу пропускати або затримувати пар в результаті різниці парціального тиску водяної пари при однаковому атмосферному тиску по обидва боки матеріалу. Паропроникність характеризується величиною коефіцієнта паропроникності або величиною опору паропрониканію при впливі водяної пари. Коефіцієнт паропроникності вимірюється в мг / (м · год · Па). Якщо у зовнішньої поверхні стіни розташований шар матеріалу, що не пропускає або погано пропускає водяні пари, то волога починає накопичуватися на кордоні паронепроникного шару, викликаючи відсирівання конструкції, що призводить до утворення плісняви, що є негативним фактором як для конструктиву, так і для якості внутрішнього клімату будівлі, а як наслідок здоров'я мешканців. Це дуже розповсюджена проблема при застосуванні високо енергоефективних матеріалів, що «не дихають», тому необхідно передбачати встановлення паробар'єру;

- **склад матеріалу** – важлива характеристика в контексті екологічних показників та оптимізації життєвого циклу будівлі. Звичайно прийнятне при декларуванні екологічності будівлі, максимізувати використання природних матеріалів, з мінімальним компонентним складом в усіх типах конструкцій та елементів інтер'єру будівлі. Варто звернути увагу на матеріали реціклінгу та матеріали рослинного походження. Сьогодні доступний широкий спектр енергоефективних будівельних матеріалів та нових досягнень у еко-будівництві, які є економічно доступними, більш ефективними та екологічними.

Вичерпання деяких видів натуральної невідновлювальної сировини призводить до необхідності використання відходів та вторинної продукції для розробки нових. Відходи сільськогосподарської промисловості - крупи, конопель, лляна солома, стебла з бавовни тощо - утворюють значну сировинну базу. Розробка матеріалів на основі рослинної

сировини дозволяє вирішити проблему утилізації відходів і одночасно одержати недорогі та ефективні теплоізоляційні матеріали.

Сьогодні в Україні понад 50% площ виділяється на вирощування зернових культур, з них 19% - пшениця, 11% - ячмінь, 1% - жито. Технічні культури займають близько 30% площі. Таким чином, площа вирощування зернових культур займає значну частину площ земель, з виходом яких виводяться безліч відходів у вигляді не зернової частини культури - соломи. За статистичними даними, річний об'єм соломи становить від 16 до 24 млн. тонн, з яких не більше 0,2% використовується як промислова сировина. Рослинні матеріали мають ряд переваг, таких як доступність, швидка відновлюваність, низька вартість, екологічність та низька теплопровідність, можливість використання як органічних, так і неорганічних в'язучих. Отримані матеріали охоплюють вимоги до стійкості - енергоефективність, економічність, екологічна сумісність.

Проте такі властивості, як займистість, висока водопоглинання, низька біостабільність, обмежують можливості використання цих матеріалів у будівельній галузі. Використання органічних матеріалів рослинного походження у зв'язаному вигляді є більш прийнятним. Відомі комплексні матеріали на основі соломи рослин: арболіт, фіброліт, дерево бетон, льонові і торф'яні теплоізоляційні плити та ін. Будівельна техніка з використанням цих матеріалів представлена в основному народною архітектурою та сільськими місцевими конструктивними рішеннями. Для розповсюдження, широкомасштабного використання сільськогосподарських відходів у будівельному секторі необхідно вивчити сировину та композити з них, щоб запропонувати промислові рішення, готові застосувати під час монтажу або реконструкції. Для більш ефективного дослідження та встановлення властивостей ізоляційних матеріалів, що пропонується в рамках концепції «Потрійний Нуль», було використано комплексний підхід:

- теоретичне вивчення складу та структури матеріалів органічного походження - пшениці, очерету та льону – запропоновано основні склади;
- дослідження механічних властивостей отриманих матеріалів - щільність при деформації 10%, МПа;
- вивчення фізичних властивостей отриманих матеріалів - вологість, %; коефіцієнт теплопровідності, Вт / (м К);
- дослідження фізико-хімічних властивостей отриманих матеріалів - термічний аналіз в повітрі - зміна маси, термічна стійкість.

Було виконано оцінку загальних властивостей солом'яних ізоляційних матеріалів з урахуванням відповідності основним вимогам сталого розвитку та оптимізації етапів життєвого циклу будівництва.

Представлене дослідження було реалізовано за комплексним підходом, який складався з теоретичного та експериментального вивчення матеріалів сільськогосподарських відходів. Загальна схема дослідження показана на рис. 4.1.

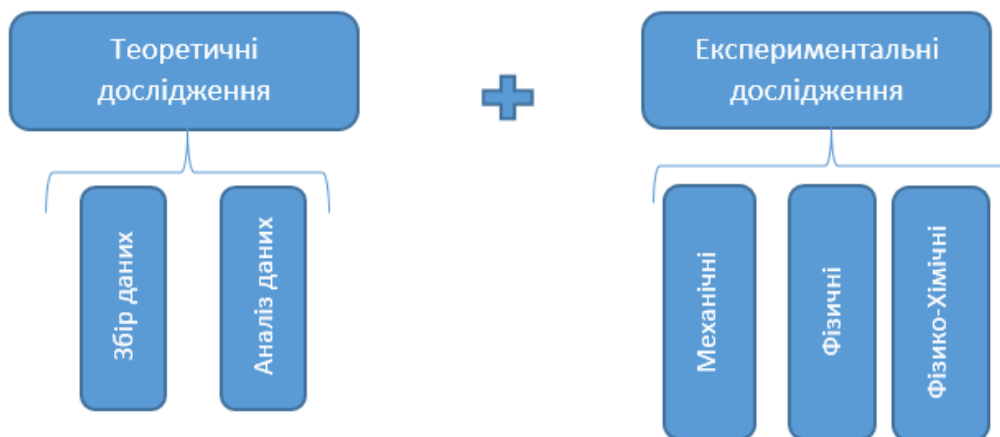


Рис. 4.1. Загальна схема дослідження

Теоретичне дослідження складу та структури матеріалів органічного походження було реалізовано на основі огляду літератури, збору даних у різних джерелах та їх порівняння.

Як відомо, якість багатокомпонентної структури матеріалу визначається характеристиками складових компонентів та фізико-хімічними процесами між ними. Тому для розуміння процесу структурного формування композиційного матеріалу на основі рослинної сировини вивчалась теоретична інформація про хімічний склад рослинних волокон та конструкцію їх структури.

Целюлоза, лігнін, геміцелюлоза, пектин та екстрактивні речовини включені в клітковину рослинної тканини. Целюлоза та лігнін є стійкими речовинами, які негативно впливають на загартовування клінкерних цементів. Пектин і геміцеллюлоза частина рослинного матеріалу в лужному середовищі здатні перейти в водорозчинні цукри (сахароза, фруктоза, глюкоза), які поряд з екстрактивними речовинами є "цементними отрутами". Ці речовини утворюють найтонші оболонки на поверхні частинок цементу, виділяючи їх з води, що уповільнює процес гідратації цементу. Водорозчинні речовини частково промивають гарячою водою або заблокованими розчинами "мінералізатора". Найвідомішими "мінералізаторами" є хлорид кальцію та рідке скло.

Наведені особливості та інші відомі характеристики властивостей солом'яних матеріалів були враховані для подальших досліджень та розробки композитних матеріалів.

Дослідження механічних характеристик. Всі композиції з легкого ізоляційного бетону виготовлялись у такому порядку. По-перше, рідкі компоненти ретельно перемішували протягом 2 хвилин, потім додавали рідке скло, і всю суміш перемішували протягом 2-3 хв, доки не одержали гомогенну масу. Перед додаванням рідкого скла, його розбавляли необхідною кількістю води.

Зразки легкого бетону були виготовлені розміром 70x70x70 мм. Зразки виготовляли методом ручного ущільнення у формах. Суміш у прес-формах наносили шар за шаром (3 шари), з ущільненням кожного шару після укладання. При виготовленні та утриманні зразків температура повітря становила 18-20°C, вологість повітря 45-50%.

Зразки із теплоізоляційних сумішей залишали на добу в умовах лабораторної кімнати, після чого висушували при температурі 60-70 °C до постійної ваги.

Міцність бетону для стиснення в МПа визначалася після сушіння зразків відповідно до нормативних документів. Зразки стискали на 0,4 т пресі зі швидкістю завантаження 4 кгс на секунду. Міцність на стиск визначається співвідношенням розривного навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Об'ємна маса в кг/м³ зразків визначалася їх зважуванням гравіметричним методом. Вологість бетонних зразків після формування визначали відносно зразків, сушених до постійної ваги. Вміст вологості бетону в % визначався за зміною ваги зразків.

Дослідження фізичних характеристик. Визначення теплопровідності легкого бетону проводилось з використанням приладу для визначення теплопровідності будівельних матеріалів - ВІ-ТО21, в лабораторії кафедри залізобетону та кам'яних конструкцій, факультету цивільного будівництва, ДВНЗ ПДАБА (м. Дніпро). Пристрій використовує неруйнівний метод для прискореного визначення теплопровідності. Цей метод полягає у створенні одностороннього короткого теплового імпульсу на вимірюванні температури поверхні виробу та реєстрації на цій поверхні. Пристрій складається з блоку датчиків, вимірювання та обробки. У складі пристрою входить датчик циліндричного полістиролу з вбудованим повітряним нагрівачем і термопарою. Для кожного датчика, який постачається разом із пристроєм, здійснюється калібрування факторів виключення, які вводяться в пам'ять при використанні в калібруванні та вимірюванні. Одиниця вимірювання та обробки стабільного теплового імпульсу, що передаються на підігрівач датчика. Згідно з методом, після отримання теплового імпульсу вбудований

мікропроцесор виконує необхідну кількість вимірювань та обробку даних для відображення індикатора до значення теплопровідності.

Вимірювання теплопровідності матеріалу проводиться у наступній послідовності. Після підготовки приладу до роботи встановіть датчик на підготовлену поверхню виробу. Необхідно провести щонайменше п'ять вимірювань теплопровідності в різних частинах виробу, у тому числі в областях з гетерогенним включенням. Результат вимірювання є середнім для всіх вимірювань.

Дослідження фізико-хімічних характеристик отриманих матеріалів розглядалося як термічний аналіз під впливом повітряного середовища - зміни маси, термічної стабільності, енергетичного балансу. Дослідження було реалізовано на аналізаторі STA 449 F3 Jupiter® в лабораторії кафедри навколишнього середовища факультету цивільного будівництва TUKE (Кошице, Словаччина). Дослідження було здійснено на відібраних зразках легкого бетону на основі коноплі та на основі льону. Параметри тесту представлені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Параметри теплового аналізу легких бетонів на основі солом

Легкі бетони	Початкова маса, mg	Теплова частота, K/min	Температурний ліміт, K	Атмосфера
Бетон на основі льону Л1	17,87	10	27-900	повітря
Бетон на основі коноплі К1	12,73	10	26-900	повітря

Початкові результати комбінованого теоретичного дослідження та використання елементів експериментального вивчення сировинних основних матеріалів для екологічного легкого бетону представлені в табл. 4.4. Проведене дослідження дозволило визначити основні властивості солом різного походження. **Важливо зазначити, що солома з подібним гранулометричним розміром волокон дає різну середню насипну щільність і як результат теплопровідність, а відмінна поверхня солом різного походження, впливає на формування композитів.**

Таблиця 4.4

Властивості похідних матеріалів

Похідний матеріал	Гранулометричний розмір, mm	Середня насипна щільність, kg/m ³	Пористість, %	Коефіцієнт теплопровідності W/m °C при об'ємній вологості, %		
				0	5	10
Коноплі	20-35	70-120	88	0,0465	0,0628	0,077
Пшениця	20-40	38-45	89	0,058	0,0767	0,095
Льон	2-15	120-135	85	0,0481	0,0632	0,085
Очерет	15-42	150-200	84	0,07	0,089	0,105
Деревина	8-15	220-300	82	0,098	0,107	0,145

Характер поверхні наповнювача має велике значення при формуванні структури нового композитного матеріалу. Негладка поверхня частинок солом льону та коноплі має позитивний вплив на ступінь зчеплення заповнювача з матрицею зв'язуючого матеріалу. Отже, наступні дослідження були зосереджені на вивченні легких бетонів на основі солом льону та коноплі.

Головний зв'язуючий компонент суміші був обраний рідким натрієвим склом, він також служить мінеральним наповнювачем. Рідке скло забезпечує вогнебезпечність і біостійкість матеріалу. Кількість рідкого скла в суміші змінювалась для досягнення повного змочування поверхні агрегатних волоконів, щоб поліпшити якість зв'язування волокон із зв'язувачем. Щоб визначити оптимальний вміст рідкого скла в складі суміші, його кількість змінювалася, тоді як масове співвідношення основних компонентів залишалося фіксованим.

Залежності середньої щільності та міцності на стиск від споживання натрієвого рідкого скла показані на рис. 4.2 і 4.3. Споживання рідкого скла беруться у масових фракціях від ваги соломи. Нижня межа зв'язуючого матеріалу пов'язана з необхідністю повного охоплення поверхні наповнювача, а верхня межа - середньою щільністю матеріалу (не більше 400 кг / м³).

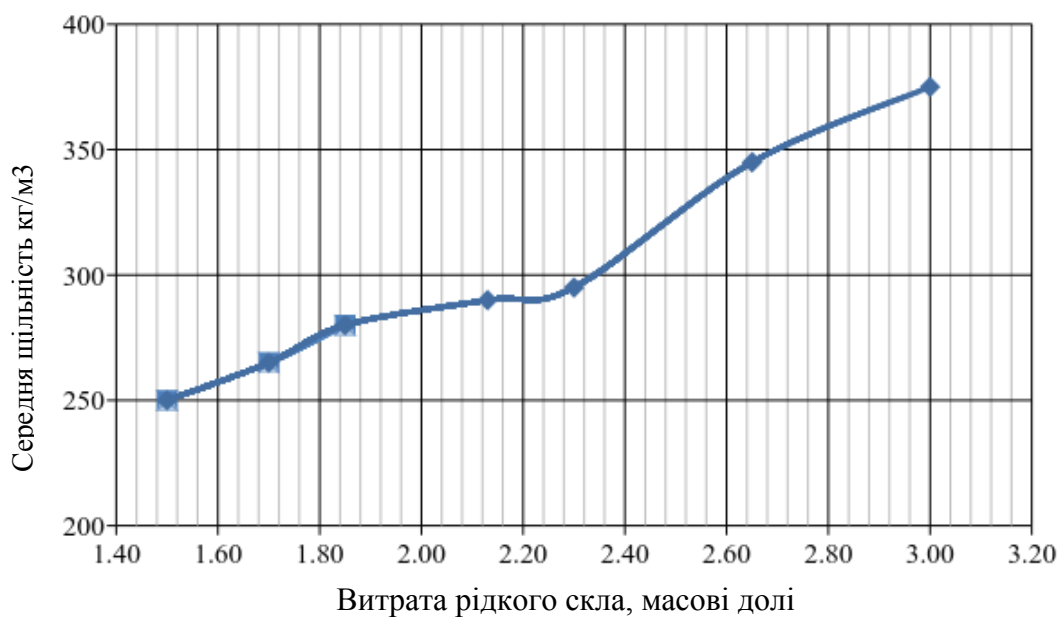


Рис. 4.2. Середня щільність залежно від вмісту рідкого скла



Рис. 4.3. Залежність міцності при стиску при 10% деформації на вміст рідкого скла в суміші

На основі аналізу отриманих залежностей лляної соломи були зроблені співвідношення суміші для легких бетонів на основі льону та на основі коноплі. Композиції бетонів представлені в табл. 4.5, а зразки показані на рис. 4.4.

Таблиця 4.5

Склад суміші легкого бетону на основі льону та коноплі

Легкий бетон	Солома, масова частка	Рідке скло, масова частка	Портландцемент, масова частка	Вода, масова частка
На основі льону Л1	1	1,5	-	-
На основі коноплі К1	1	1	1	4



Рис. 4.4. Зразки легких бетонів на основі лляної соломи (Л12) та соломи коноплі (К12)

Відповідно до визначеної методології були проведені випробування механічних та фізичних властивостей. Результати проведених випробувань під час механічних та фізичних досліджень наведені в табл. 4.6. Бетон на основі лляної соломи показав кращі термічні властивості, а бетон на основі соломи коноплі показав кращі характеристики міцності. В той же час, було відзначено, що різниця в міцності пропорційна різниці в теплопровідності.

Таблиця 4.6

Результати механічного та фізичного вивчення

Найменування зразку легкого бетону	Середня щільність матеріалу, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності Вт/м °С	Міцність при 10% деформації, МПа	Вологість, %
Бетон на основі лляної соломи Л1	250	0,078	0,36	41
Бетон на основі коноплі К1	300	0,09	0.38	38

Як показано на рис. 4.5, втрата ваги зразка в процесі нагрівання характеризується малою кількістю піків, і якщо порівнювати DTG для лляного бетону та бетону з коноплі, ми зазначимо, що є чотири піки масових втрат для льон-бетону та дві для конопляного бетону. Після аналізу кривої термогравіметрії обох зразків таблиця температурних інтервалів розкладання компонентів легких бетонів на основі соломи та відповідних масових втрат була відформатована та показана у табл. 4.7.

Процес розкладання під температурою льняного бетону є більш складним, але в той же час він провокує виділення більшої енергії згідно з рис. 4.6, яка, ймовірно, відноситься до повністю органічного складу льон-бетону. Вона розглядається як важливий аспект в контексті оцінки життєвого циклу на етапі переробки матеріалів, наприклад, як джерело енергії.

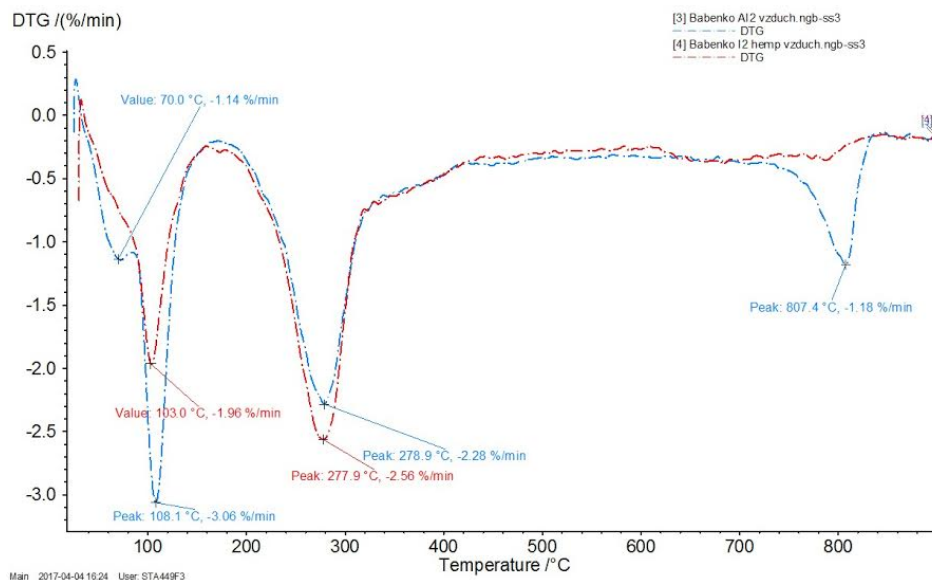


Рис. 4.5. Порівняльна термографія для бетонів на основі льняної соломи та коноплі

Таблиця 4.7

Температурні діапазони розкладання компонентів легких бетонів на основі соломи та відповідних масових втрат (повітряна атмосфера)

Зразок	Температура розкладання компонентів, °C під впливом кисневого середовища				
	1ий пік	2ий пік	3ий пік	4ий пік	Загальна втрата маси, %
Бетон на основі льону Л1	70,0	108,1	278,9	807,4	53,08
Бетон на основі коноплі К1	-	103,0	277,9	-	46,94

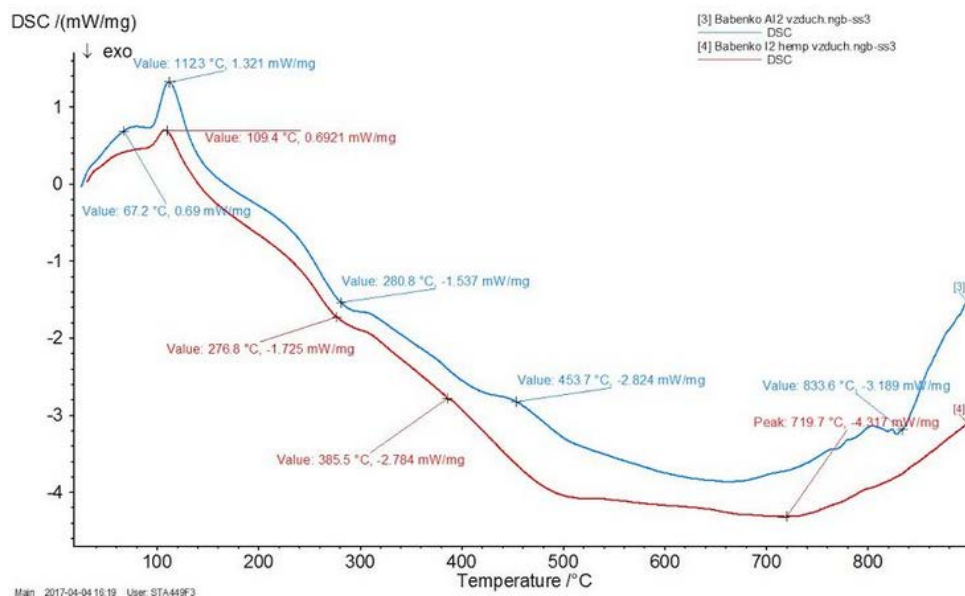


Рис. 4.6. Порівняльна DSC (диференціальна скануюча калориметрія) для бетонів на основі лляної соломи та коноплі в атмосфері повітря

Представлені дослідження визначені як перспективні для впровадження сільськогосподарських відходів для виробництва легких бетонів, на основі соломи лляної та коноплі. Їх важливі властивості в якості сировини - це нерівні поверхні волокна і коефіцієнт теплопровідності в діапазоні 0,0465-0,085 Вт / м ° С, що дозволяє використовувати рослинні сільськогосподарські відходи як ефективний наповнювач для легких бетонів та композитних ізоляційних матеріалів.

Суміші бетонів на основі соломи льону та коноплі розроблений з урахуванням принципів стійкості, таких як екологічність та енергоефективність. Було порівняно легкі бетони на соломі з використанням портландцементу (ПЦ), та без. Було отримано результат, який свідчить **що легкий** бетон на основі соломи з використанням ПЦ має міцність при 10% деформації на 5,6% вище і в той же час на 13% більш високий коефіцієнт теплопровідності, ніж легкий бетон на соломі без ПЦ. Таким чином, з точки зору енергоефективного легкий бетон запропонованого складу на основі костри льону без додавання ПЦ є більш сприятливим у конструкціях, що віжповідають критеріям сталого розвитку.

Фізико-хімічне дослідження на основі термічного аналізу в атмосферному повітрі показало, що загальна картина термічної деградації для бетонів на основі льону та коноплі є аналогічною. Проте додаткові піки масових втрат були визначені для лляного бетону, які супроводжуються екзотермічним процесом, що є позитивним аспектом з урахуванням життєвого циклу матеріалу та стадії переробки.

4.3. Експериментальне дослідження теплофізичних характеристик огорожувальних конструкцій

На підставі результатів дослідження матеріалів та конструкцій в концепції екологічної будівлі «Потрійний Нуль», було розроблено конструктивне рішення стінової конструкції стійкої будівлі, що містить дерев'яну раму, теплоізоляційний шар із матеріалів солом'яного походження, внутрішній масивний шар накопичення тепла та зовнішній захисний шар.

Експеримент з дослідження термотехнічних властивостей запропонованого елемента було виконано у велику кліматичній камері TiR32 у лабораторії будівельної фізики будівельного факультету (Словацький технологічний університет у Братиславі). Тестовий елемент - фрагмент збірної дерев'яної панелі із шириною 250 мм та загальними

розмірами - 1000x1000 мм (теплоізоляційний шар); інфрачервона нагрівальна плівка (нагрівальний шар) та аккумуляючий шар з цегли - 120 мм (рис. 4.7). Випробування реалізовано в два етапи, описані у табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Етапи випробовування конструкції стіни для будівлі «Потрійний нуль»

Етап (тип зразка)	Температура в зовнішній камері *, t_{ex} , °C	Температура у внутрішній камері, t_{in} , °C	Рівень опалення, температура нагрівального плівки, t_h , °C	Відносна вологість у зовнішній камері, W_{ex} , %	Відносна вологість у внутрішній камері, W_{in} , %
Перший етап збірна дерев'яна панель	-15	20	0	50	50
	-5		0	50	50
	+5		0	50	50
Другий етап багатошарова конструкція з нагрівальним та аккумуляючим шаром	-15	20	28	50	50
	-5		28	50	50
	+5		28	50	50

* Кожний режим температури-вологості вважається підтриманим певний період часу принаймні 24 години

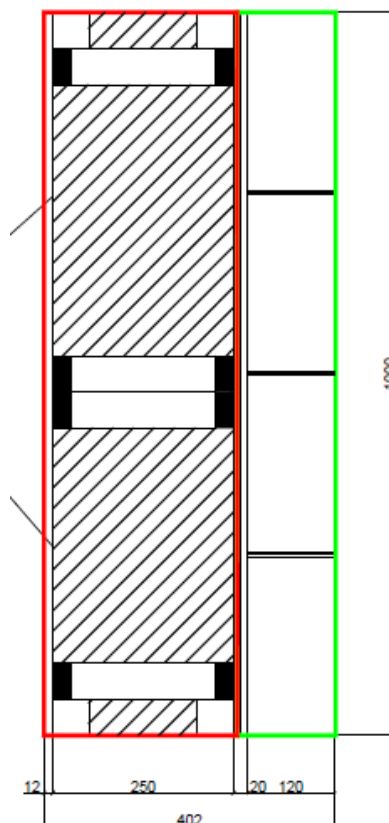
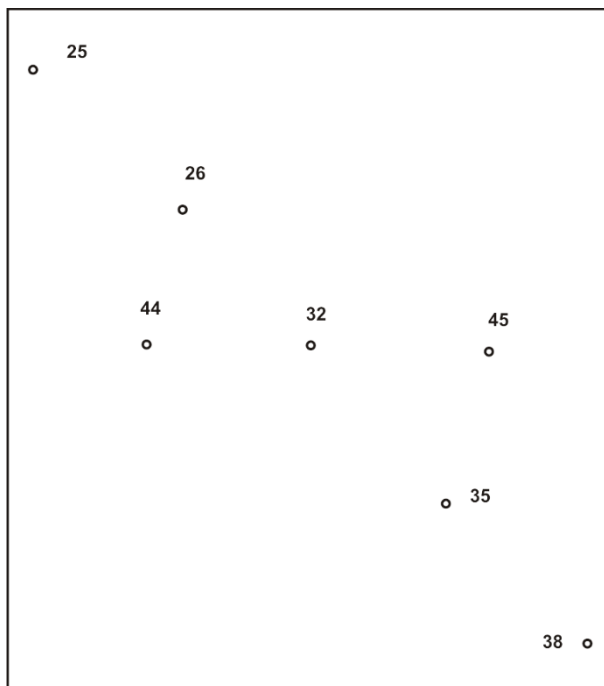
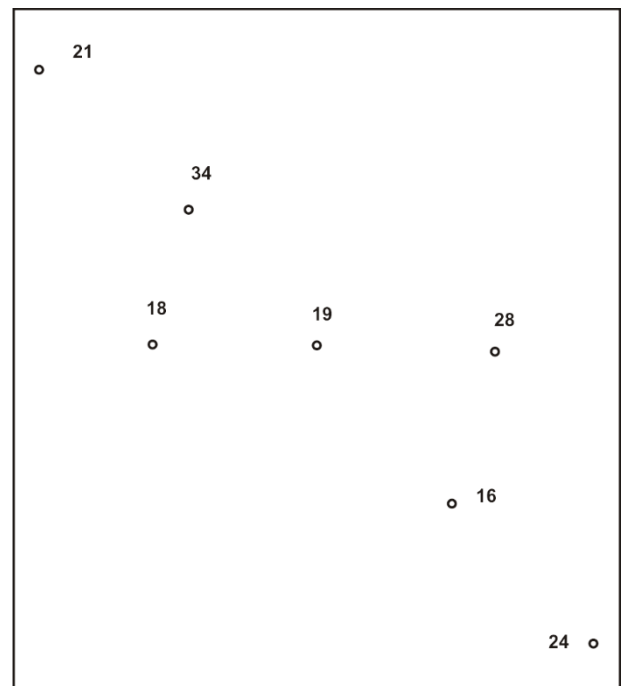


Рис. 4.7. Параметри досліджуваного зразка

Для підвищення точності вимірювання було використано 14 датчиків температур – 7 зі сторони внутрішнього блоку камери та 7 – з зовнішньої сторони. На другому етапі експерименту додаткові 3 датчика було встановлено між акумуляційним та нагрівальним шарами.



Зовнішня камера



Внутрішня камера

Рис. 4.8. Розстановка вимірювальних елементів для першого етапу експерименту



Рис. 4.9. Солом'яно-дерев'яна панель виготовлена для дослідження в кліматичній камері

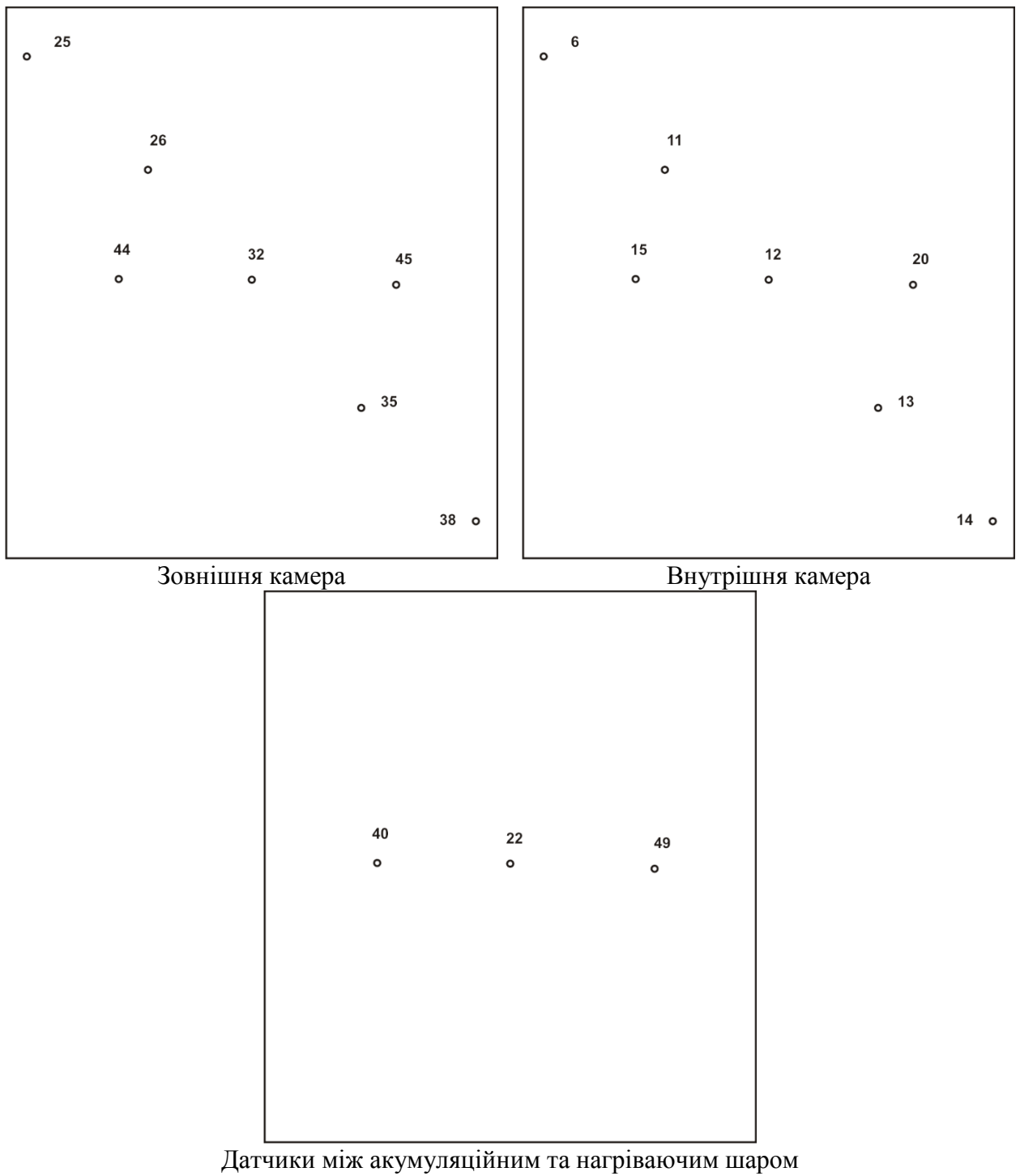


Рис. 4.10. Розстановка вимірювальних елементів для другого етапу експерименту

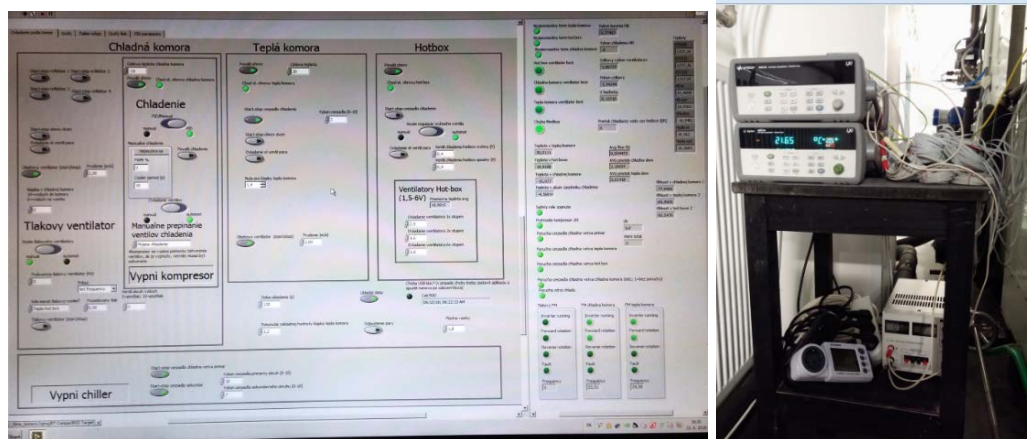


Рис.4.11. Налаштування кліматичної комори



А



Б

Рис. 4.12. Влаштування датчиків для вимірювання температури на поверхні
А – внутрішній блок; Б – зовнішній блок



А



Б

Рис. 4.13. Влаштування додаткових шарів:

А – нагрівальний шар, інфрачервона плівка; Б – акумуляційний шар, силікатна цегла

Результати вимірювання температур при першому та другому етапах експерименту представлені відповідно у табл. 4.9 та табл. 4.10.

Передача тепла через будівельну стінку може розглядатися як мережа з трьома опорами в серії. Загальний коефіцієнт теплопередачі U стає:

$$U=1/R \quad (4.1)$$

$$R=R_1+R_2+R_3 \quad (4.2)$$

де $R_1=1/\alpha_{inside}$; $R_2=d/\lambda_{wall}$; $R_3=1/\alpha_{outside}$.

Отримуємо:

$$\lambda_{wall} = d \cdot (R_1 + R_2 + U). \quad (4.3.)$$

Результати оцінки теплотехнічних характеристик екологічної огорожувальної конструкції для будівлі «Потрійний Нуль» приведено у табл. 4.11.

Таблиця 4.9

Розподіл температур на першому етапі експерименту

Розт-ння датчик	Зов.	Внут.	Зов.	Внут.	Зов.	Внут.	Зов.	Внут.	Зов.	Внут.	Зов.	Внут.	Зов.	Внут.
-15	25	21	26	34	26	18	44	18	32	19	45	28	35	16
-5	-14.5	16.6	-12.2	18.1	-13.4	16.5	-4.1	18.1	-14.2	17.1	-14.4	17.9	-14.8	15.7
+5	-4.7	17.5	-3.4	19.1	-4.1	18.1	5.3	19.1	-4.8	18.0	-4.7	18.7	-4.9	17.7
	5.1	18.4	5.7	19.6					5.4	18.8	5.1	19.3	5.1	19.0

Таблиця 4.10

Розподіл температур на другому етапі експерименту

position meas. point	Зов.	Вн. Цег.	Зов.	Вн. Цег.	Сер. кон.	Зов.	Вн. Цег.	Сер. кон.	Зов.	Вн. Цег.	Сер. кон.	Зов.	Вн. Цег.	Вн. Цег.
-15	25	6	26	11	40	44	15	32	22	12	45	20	35	13
-5	-14.5	19.9	-13.2	20.3	15.8	-14.4	19.4	-4.5	17.1	20.0	-14.7	19.9	-14.9	19.1
+5	-4.8	19.7	-4.0	20.2	17.5	-4.6	19.7	18.1	18.1	20.0	-4.8	19.9	-4.9	19.5
	5.1	19.8	5.4	20.2	19.3	5.2	20.1	19.6	19.6	20.2	5.1	20.1	5.1	19.9

Таблиця 4.11

Теплотехнічні характеристики екологічної огорожувальної конструкції для будівлі «Потрійний Нуль»

Температурний режим, °C	Теплопередача, Вт/м2K	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/мК
-15	0.38	0.095
-5	0.32	0.08
+5	0.27	0.068

Список використаних джерел до розділу 4

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – Київ: Мінрегіонбуд та ЖКГ України, - 2017. – Режим доступу : http://dbn.at.ua/dbn/DBN_V.2.6-31-2016_Teplova_izolyatsiya_budively.pdf
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія – Київ: Мінрегіонбуд України, - 2011.-123 с.
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні. Київ: Мінрегіон України, - 2015. – Режим доступу : https://thermomodernisation.org/wp-content/uploads/2017/11/1781____.2.2-12.pdf.
4. Савицький М.В. Енергоефективний малоповерховий житловий будинок із органічних матеріалів / Савицький М.В., Нікіфорова Т.Д., Несін О.А., Бондаренко О.І., Юрченко Є.Л., Бабенко М.М. // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Вип: 82-2015 – с. 187-197.
5. Савицький М.В. Оптимізація геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності / М.В. Савицький, М.М. Бабенко, О.А. Несін, М.В.Бордун // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Серія: Створення високотехнологічних екокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого (стійкого) розвитку– 2017. – Випуск 100. – с. 124-130.

Розділ 5. Інженерно-технічні рішення автономної екологічної будівлі «Потрійний нуль»

5.1. Методика визначення теплової потужності системи опалення для будинку за концепцією «Потрійний нуль»

Капітальні та експлуатаційні витрати на опалення будівель безпосередньо залежать від рівня термічної однорідності і теплового захисту зовнішніх огорожень та достовірного (максимально наближеного до дійсного) визначення теплової потужності запроектованої системи опалення [1].

Правильне визначення теплових потоків у системі опалення будівлі є основою подальших розрахунків мережі трубопроводів, підбору опалювального обладнання та гарантією ефективної роботи систем опалення на основі відновлювальних джерел енергії.

Далі наведено методику розрахунку теплової потужності системи опалення для будівлі відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [2] та ДСТУ EN 12831-1:2017 (EN 12831-1:2017, IDT) «Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження» [3].

При визначенні проектних теплових навантажень системи опалення для приміщення та будівлі в цілому, згідно з нормативними вимогами, слід враховувати наступні складові, що можуть мати місце при певних архітектурно-планувальних рішеннях приміщень та будівель:

1. Трансмісійні тепловтрати опалюваними приміщеннями через зовнішні огорожувальні будівельні конструкції, що контактують із зовнішнім повітрям.
2. Трансмісійні тепловтрати опалювальними приміщеннями через неопалювані приміщення.
3. Трансмісійні тепловтрати опалюваними приміщеннями через конструкцію підлоги та ґрунт.
4. Трансмісійні тепловтрати опалюваними приміщеннями до приміщень із більш низькою розрахунковою температурою.
5. Вентиляційні тепловтрати на нагрівання інфільтраційного повітря в опалюваних приміщеннях будівлі, за винятком теплоти, що передана з повітрям всередині будівлі.
6. Компенсаційну теплову потужність в опалюваних приміщеннях будівлі при періодичному режимі роботи системи опалення.

Методика розрахунку для будівлі за концепцією «Потрійний нуль» базується на наступних гіпотезах:

- розподіл температури (температура повітря та розрахункова температура) вважається однорідним;
- тепловтрати розраховуються в умовах стабільного стану при постійних властивостях, таких як значення температури, характеристики конструктивних елементів і т.д.

Етапи розрахунку проектної теплової потужності системи опалення приміщення [1]:

1. Визначити розрахункові значення температури зовнішнього повітря θ_e та середньої річної температури зовнішнього повітря θ_{me} ;
2. Встановити тип приміщення (опалюване чи неопалюване) та визначити значення внутрішньої температури кожного опалюваного приміщення $\theta_{int,i}$;
3. Визначити просторові та теплові характеристики ψ_l усіх використаних будівельних матеріалів для опалюваних та неопалюваних приміщень;
4. Обчислити характеристику трансмісійних втрат теплоти приміщенням $H_{T,i}$ та помножити на визначену різницю температур внутрішнього та зовнішнього повітря ($\theta_{int,i} - \theta_e$)

для отримання величини трансмісійних (теплопровідних) тепловтрат даного опалюваного приміщення $\Phi_{T,i}$;

5. Обчислити характеристику вентиляційних теплових втрат приміщення $H_{V,i}$ та помножити на значення різниці температур внутрішнього та зовнішнього повітря ($\theta_{int,i} - \theta_e$) для отримання величини вентиляційних теплових втрат даного опалюваного приміщення $\Phi_{V,i}$;

6. Визначити загальну величину теплових втрат опалюваного приміщення Φ_i додаванням показників трансмісійних $\Phi_{T,i}$ та вентиляційних $\Phi_{V,i}$ тепловтрат;

7. Проаналізувати та визначити інші можливі теплонадходження (або тепловтрати) опалюваного приміщення $\Phi_{Q,i}$, наприклад, наявність додаткового джерела енергії, для врегулювання збалансованості опалення (забезпечення балансу теплоти) або теплонадходження від людей, освітлення тощо;

8. Обчислити загальне теплове навантаження опалення приміщення $\Phi_{HL,i}$ як суму значень загальних теплових втрат приміщення Φ_i та величини інших теплонадходжень (тепловтрат) до приміщення $\Phi_{Q,i}$.

Етапи розрахунку проектної теплової потужності системи опалення будівлі:

Даний метод розрахунку ґрунтується на результатах розрахунку опалюваних приміщень. Етапи розрахунку для будівлі наступні:

1) Визначити загальні трансмісійні втрати будівлі як суму теплопровідних втрат усіх опалюваних приміщень, без врахування теплонадходжень у зазначені межі будівлі;

2) Визначити загальні вентиляційні втрати будівлі як суму вентиляційних втрат усіх опалюваних приміщень без урахування теплонадходжень у зазначені межі будівлі;

3) Обчислити загальні втрати теплоти будівлі як суму загальних трансмісійних та вентиляційних теплових втрат;

4) Визначити інші можливі теплонадходження (або тепловтрати) до всіх опалюваних приміщень, щоб отримати загальне значення теплонадходжень будівлі, необхідне для обчислення теплового балансу;

5) Обчислити загальне теплове навантаження будівельного комплексу чи будівлі як суму значень загальних теплових втрат та інших теплонадходжень (тепловтрат).

5.2. Теплова потужність системи опалення

Відповідно до ДСТУ Б EN 12831-1:2017 [3], проектне теплове навантаження системи опалення приміщення визначають за формулою теплового балансу приміщення:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} + \Phi_{Q,i}, \text{ Вт}, \quad (5.1)$$

де $\Phi_{T,i}$ – трансмісійні тепловтрати через огорожувальні конструкції приміщення, Вт;

$\Phi_{V,i}$ – вентиляційні тепловтрати на нагрівання інфільтраційного повітря, що надходить до приміщення, Вт;

$\Phi_{RH,i}$ – додаткова компенсаційна теплова потужність для системи періодичного опалення, яка враховує ефект тимчасовості обігріву приміщення, Вт;

$\Phi_{Q,i}$ – інші можливі регулярні тепловтрати (із знаком «+») або теплонадходження (із знаком «-») до опалюваного приміщення, Вт.

5.2.1. Трансмісійні тепловтрати опалювального приміщення

Розрахункові теплові втрати приміщення за рахунок теплопередачі через будівельні огороження $\Phi_{T,i}$, Вт, слід обчислювати за формулою, що наведена нижче і враховує основні можливі варіанти влаштування приміщення:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \text{ Вт} \quad (5.2)$$

де $H_{T,ie}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції приміщення назовні, Вт/°С;

$H_{T,iue}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат опалюваного приміщення через неопалюване приміщення назовні, Вт/°С;

$H_{T,ig}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції до ґрунту (в розглянутому проекті до зовнішнього повітря через підлогове покриття), Вт/°С;

$H_{T,ij}$ – характеристика трансмісійних тепловтрат опалюваного приміщення через огорожувальну конструкцію до суміжного опалюваного приміщення із іншою розрахунковою температурою, Вт/°С;

$\theta_{int,i}$ – запроектоване значення внутрішньої температури кожного i -го приміщення;

θ_e – значення зовнішньої температури за [5].

Під характеристикою (коефіцієнтом) тепловтрат приміщення слід розуміти питомі тепловтрати i -го приміщення, віднесені до різниці температур внутрішнього та зовнішнього повітря.

5.2.1.1. Характеристика трансмісійних тепловтрат приміщення до зовнішнього повітря

Розрахункове значення характеристики тепловтрат приміщення при теплопередачі з опалюваного приміщення назовні через будівельні огородження, а саме, стіни, двері, стелю та вікна, обчислюють за формулою:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k, \text{ Вт/°С}, \quad (5.3)$$

де A_k – площа теплопередачі k -ї будівельної конструкції огорожень приміщення, м²;

U_k – коефіцієнт передачі теплоти від внутрішнього повітря через k -ту будівельну конструкцію огороження приміщення до зовнішнього середовища, Вт/м²·°С;

e_k – поправочний коефіцієнт, на додаткові тепловтрати, що враховують випромінюючі властивості поверхні огороження, з урахуванням впливу мікрокліматичних умов, типу ізоляційних матеріалів, їх вологості, швидкості вітру і температури зовнішнього повітря.

У випадку застосування конструктивних рішень запроектованої будівлі за концепцією «Потрійний нуль» тепловтрати в зоні можливих теплопровідних включень не враховуються, тому що вони усуваються однорідною оболонкою огорожувальної конструкції з пресованих солом'яних блоків із зазначеним раніше оздобленням.

Поправочні коефіцієнти e_k згідно з [3] визначаються на підставі даних попередньо чинної в Україні методики [4] за формулою $e_k = 1 + \sum \beta_v$, значення β_v для м.Дніпро наведені в табл. 5.1.

Кліматичні параметри в місті будівництва, а саме, швидкість та повторюваність вітру за сторонами світу, визначають за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [5].

Вертикальні розміри зовнішніх стін визначаються як відстань від поверхні підлоги одного поверху до поверхні підлоги наступного (товщина покриття цокольного поверху не враховується). Горизонтальні розміри зовнішніх стін приміщення визначаються за осями внутрішніх перегородок, а в кутових приміщеннях – від зовнішньої поверхні кута до осі перегородки. Розміри дверей та вікон визначають за найменшими розмірами прорізів.

Коефіцієнт теплопередачі огороження приміщення U_k k -тої будівельної конструкції визначаються на попередніх етапах проектування будівлі при теплотехнічному розрахунку зовнішніх будівельних конструкцій згідно з ДБН В.2.5-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [6]. Розраховані значення термічного опору R_k та коефіцієнту теплопередачі U_k k -тої

будівельної конструкції представлені в таблиці 5.2. Матеріальний склад конструкцій та тепло-фізичні характеристики кожного шару представлені в попередніх розділах.

Таблиця 5.1

Таблиця додаткових тепловитрат $\dot{V}_v$ через зовнішні огороження за напрямками та повторюваністю вітру в м. Дніпро

Для січня	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Повторюваність вітру (П), %	14,9	11,1	11	10,1	11,7	13,7	17,6	9,9
Швидкість вітру V , м/с	5	5	4,9	5	5,1	4,9	5	5,6
Коефіцієнт β_v	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0

Таблиця 5.2

Розраховані значення термічного опору R_k та коефіцієнту теплопередачі U_k k -тої будівельної конструкції

Найменування конструкції	$R_k, \text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	$U_k, \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$
Перекрыття 1-го поверху (підлога)	6,7	0,15
Зовнішня стіна	6,8	0,147
Покрівля	11,1	0,09
Світлопрозорі конструкції Saint Gobain Glass	1,67	0,6
Двері	2	0,5

5.2.2. Вентиляційні тепловтрати опалюваного приміщення

Розрахункові теплові втрати приміщення на нагрівання вентиляційного повітря в опалювальних приміщеннях $\Phi_{v,i}$, слід обчислювати за формулою:

$$\Phi_{v,i} = H_{v,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \text{ Вт}, \quad (5.4)$$

де $H_{v,i}$ – характеристика вентиляційних тепловтрат приміщення, Вт/°С;
 $\theta_{int,i}$, θ_e – те саме, що і у формулі (5.2).

Розрахункове значення характеристики тепловтрат опалювального приміщення при нагріванні зовнішнього вентиляційного повітря, що поступає до нього за рахунок вентиляції (інфільтрації, провітрювання тощо), обчислюють за формулою:

$$H_{v,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p, \text{ Вт} / ^\circ\text{С} \quad (5.5)$$

де ρ – густина повітря при розрахунковій температурі приміщення, кг/м³;
 c_p – питома теплоємність повітря при розрахунковій температурі приміщення, кДж/кг·°С.

Після підстановки відповідних значень рівняння має вигляд:

$$H_{v,i} = 0,34 \cdot V_i, \text{ Вт} / ^\circ\text{С} \quad (5.6)$$

де V_i – витрата повітря, що надходить за годину до опалювального приміщення, м³/год, яка визначається залежно від організації повітрообміну в приміщенні.

Витрата інфільтраційного повітря в основному залежить від кількості та герметичності вікон у приміщенні та зовнішніх аеродинамічних умов, і визначається за формулою:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot v_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.7)$$

де v_i – внутрішній об'єм опалювального приміщення, м^3 ;
 n_{50} – коефіцієнт кратності повітрообміну приміщення при різниці тисків 50 Па на зовнішній та внутрішній поверхнях зовнішніх огорожень, 1/год;
 e_i – коефіцієнт екранування зовнішніх огорожень, приймаємо згідно табл. 6 [1];
 ε_i – поправочний коефіцієнт на висоту розташування огорожень приміщення від земної поверхні, що враховує збільшення вітрового навантаження, приймаємо згідно табл. 7 [1].

Для забезпечення потреб у свіжому повітрі підбираємо точкові рекуператори з різними потужностями у кожне приміщення в залежності від його призначення згідно табл. 8 [1]. Марка і технічні характеристики рекуператорів представлено у табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Марка і технічні характеристики рекуператорів в залежності від приміщення

Найменування приміщення	Марка рекуператора	Припливна об'ємна швидкість, $\text{м}^3/\text{год}$	Витяжна об'ємна швидкість, $\text{м}^3/\text{год}$	Споживання енергії, Вт/год
Кухня, ванна, санітарний вузол	Prana 200c	235	220	12...32
Вітальня, житлові кімнати, гостьова, кабінет	Prana 150	115	105	6...32

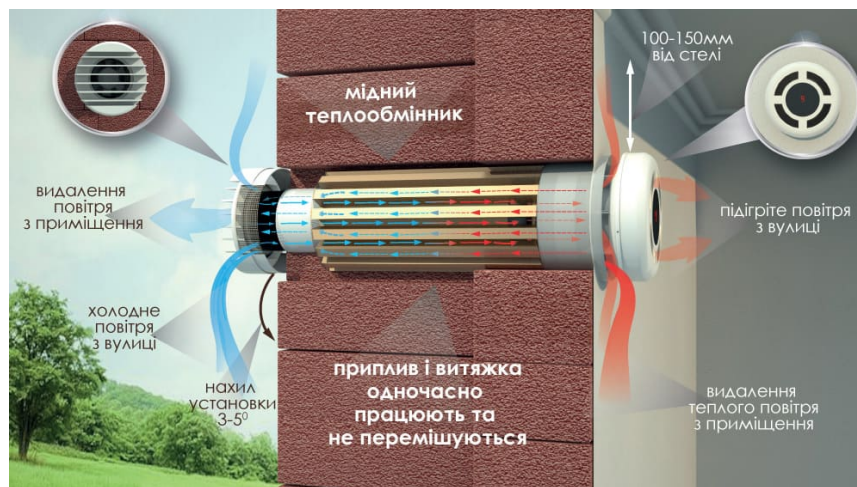


Рис. 5.1. Принцип функціонування точкового рекуператора типу Prana

При організованій подачі в опалюване приміщення повітря через точкові рекуператори слід враховувати, що його температура відрізняється від температури зовнішнього повітря за рахунок попереднього безконтактного нагрівання відпрацьованим повітрям.

У цьому випадку вводиться коефіцієнт $f_{V,i}$, що враховує зменшення різниці розрахункової температури внутрішнього та зовнішнього повітря, яке попередньо було нагріте в приточно-витяжній системі вентиляції кожної кімнати.

Рівняння для визначення витрати зовнішнього повітряного потоку в опалювальному приміщенні, для подальшого отримання характеристики вентиляційних тепловтрат за формулою (5.5), має вигляд:

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{V,i}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.8)$$

де $V_{inf,i}$ – об’ємна швидкість надходження інфільтраційного повітря до опалювального приміщення, м³/год;

$V_{su,i}$ – об’ємна швидкість надходження припливного вентиляційного повітря, м³/год;

$f_{v,i}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення різниці розрахункових температур внутрішнього та зовнішнього повітря, яке попередньо було нагріте в припливній системі вентиляції або в сусідніх приміщеннях.

$$f_{v,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (5.9)$$

де $\theta_{su,i}$ – температура припливного повітря від системи вентиляції до опалюваного приміщення, або від центральної системи повітряного опалення, із сусідніх опалюваних чи неопалюваних приміщень, або від зовнішнього середовища, °С.

В нашому випадку враховуючи використання рекуператорів $\theta_{su,i}$ може бути розрахована на підставі ефективності системи на основі обладнання Prapa, що становить 0,91:

$$\theta_{su,i} = (\theta_{int,i} - \theta_e) \cdot 0,91 + \theta_e \quad (5.10)$$

де $\theta_{int,i}$, θ_e – те саме, що і у формулі (5.2).

5.2.3. Інші можливі регулярні теплонадходження та тепловтрати до опалюваного приміщення

Згідно положень ДСТУ Б EN 12831-1:2017 та підпункту г) п. 6.3.4. ДБН В.2.5-67:2014 в тепловому балансі приміщення для визначення теплової потужності системи опалення слід враховувати «надходження теплоти, що регулярно надходять у приміщення від електричних приладів, приладів освітлення, технологічного обладнання, трубопроводів, людей та інших джерел». Для житлових приміщень, на підставі попередньо діючої в Україні методики [4], побутові теплонадходження від людей, освітлення та побутових приладів визначаються за формулою:

$$\sum \Phi_{Q,i} = \Phi_{Pi} = 10 \cdot A_i, \text{ Вт} \quad (5.11)$$

де A_i – площа опалювального і-го приміщення.

5.3. Обґрунтування теплової потужності системи опалення будинку за концепцією «Потрійний нуль»

У відповідності до [3], проектне теплове навантаження опалення будівлі визначають за формулою:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i}, \text{ Вт} \quad (5.12)$$

Визначення складових у формулі (5.12) наведені у попередніх розділах, при цьому не враховується теплонадходження (тепловтрати), що передаються трансмісійно та з вентиляційним повітрям між приміщеннями в межах опалювального контуру будівлі, наприклад тепловтрати між кімнатами.

5.3.1. Визначення теплової потужності системи опалення будинку

Нижче представлено варіант розрахунку теплової потужності системи опалення запроектованого екологічного будинку, плани поверхів якого з визначеним температурним режимом та маркуванням заповнення прорізів зображені на рис. 5.2 та 5.3. Для проведення розрахунків при проектуванні системи опалення була розроблена Excel-програма яка реалізує вище наведену методику для визначення тепловтрат та теплової потужності системи опалення приміщень. Для зручності та наочності прив'язок та посилань в програмі Excel викреслюємо каркас плану 1-го і 2-го поверхів будинку з нанесенням розмірів приміщень по осям та орієнтації будівлі на сторони світу (див. табл. 5.4, 5.5). В табл. 5.6 формуються дані зовнішніх огорожень для розрахункових приміщень та розраховуються проміжні показники для подальшого визначення теплової потужності системи опалення для приміщень та будинку в цілому.

В колонці 1 вказується номер приміщення та його найменування. Найменування вказуємо в скороченій формі: **ЖК** – житлова кімната, **КХ** – кухня, **СХ** – сходовая клітка.

В колонці 2 розраховується корисна площа приміщення (від внутрішньої поверхні стіни до внутрішньої поверхні стіни).

В колонці 3 вказується розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщенні згідно [2, 6].

В колонці 4 вказується позначення всіх огорожувальних конструкцій, через які відбуваються тепловтрати: **ЗС** – зовнішня стіна, **В** – вікно, **Д** – двері, **ПЛ** – перекриття над підвалом, **ГП** – горищне перекриття.

В колонці 5 вказується орієнтація огорожувальної конструкції за сторонами світу: **Пн, ПнС, С, ПдС, Пд, ПдЗ, З, ПнЗ**.

В колонці 6 вказується довжина огорожувальної конструкції в метрах, яка вимірюється на плані будівлі. Правила обміру вказані в пункті 3.1.1 методики [1].

В колонці 7 вказується ширина (або висота) огорожувальної конструкції в метрах.

В колонці 8 автоматично розраховується площа огорожувальної конструкції в квадратних метрах.

В колонку 9 вноситься коефіцієнт теплопередачі відповідної огорожувальної конструкції U_k , який визначається у теплотехнічному розрахунку огорожувальних конструкцій.

В колонці 10 вказується поправочний коефіцієнт додаткових тепловтрат $e_k = 1 + \Sigma \beta$ через огороження відповідно до таблиці 5.1 п. 5.2.1.1. Цей коефіцієнт залежить від орієнтації за сторонами світу.

В колонці 11 розраховується коефіцієнт кореляції b_u , що враховує різницю температур в неопалювальному приміщенні та розрахункову температуру зовнішнього середовища, згідно п. 3.1.2 методики [1].

В колонку 12 вписуємо розрахований поправочний коефіцієнт f_{ij} , що враховує різницю температур в сусідніх опалювальних приміщеннях. Детальний розрахунок вказаний в пункті 3.1.4, формула 11 [1].

В колонці 13 автоматично розраховується характеристика трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції до зовнішнього повітря, $H_{T,ie}$, Вт/°С (п. 5.2.1.1., формула 5.3).

В колонці 14 розраховується характеристика трансмісійних тепловтрат опалювального приміщення через огорожувальну конструкцію до суміжного опалювального приміщення із іншою розрахунковою температурою, $H_{T,ij}$, Вт/°С (п. 3.1.4., формула 10, [1]).

В колонці 15 автоматично визначаються сумарні трансмісійні тепловтрати приміщення, $\Phi_{T,i}$, Вт (п. 5.2.1., формула 5.2).

В колонці 16 розраховуємо мінімальний санітарно-гігієнічний повітрообмін в приміщенні, $V_{min,i}$, м³/год (п.5.2.2., формула 5.8).

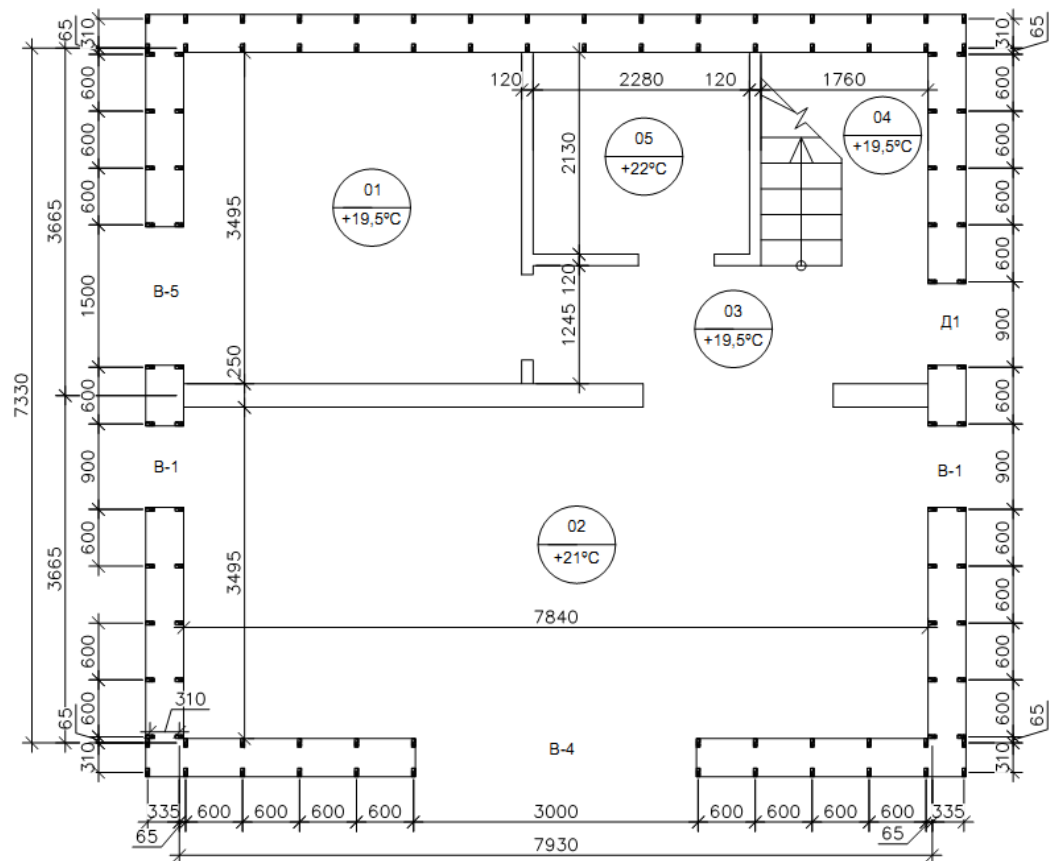


Рис. 5.2. План та температурний режим 1-го поверху

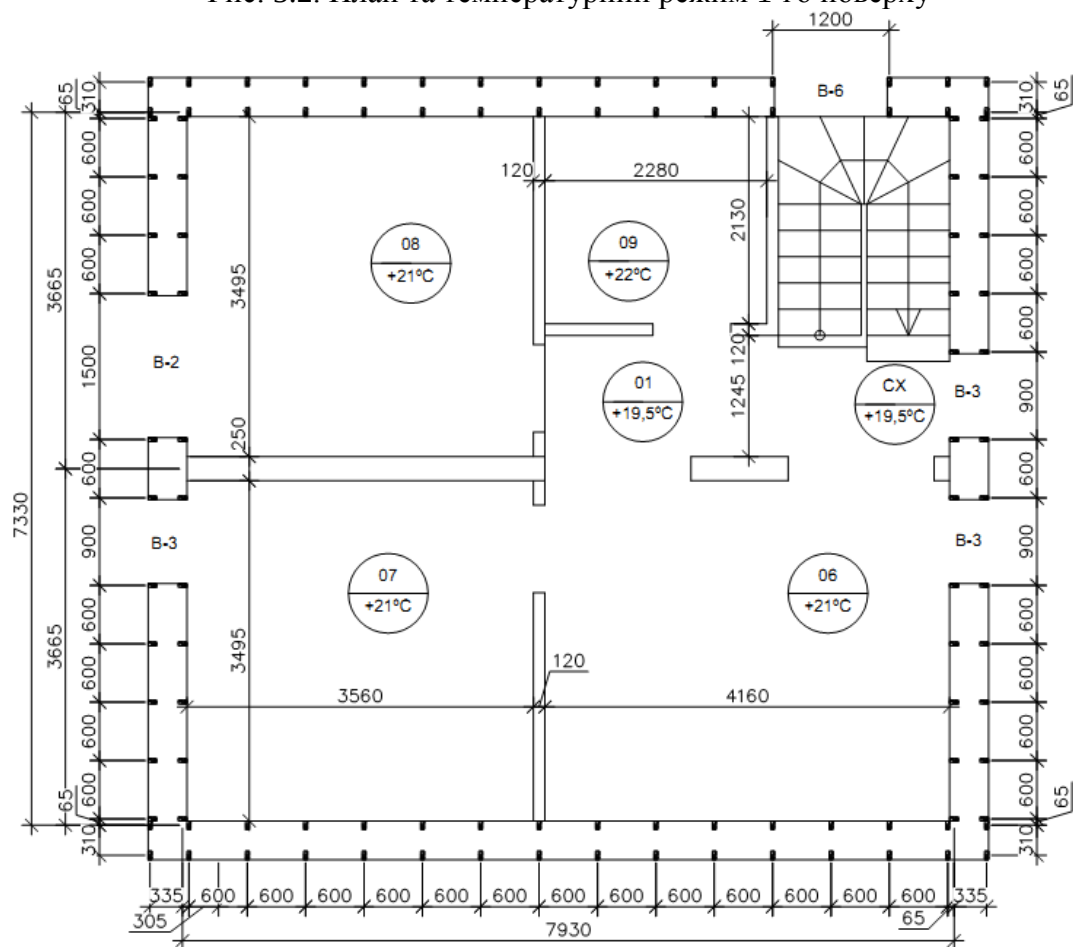
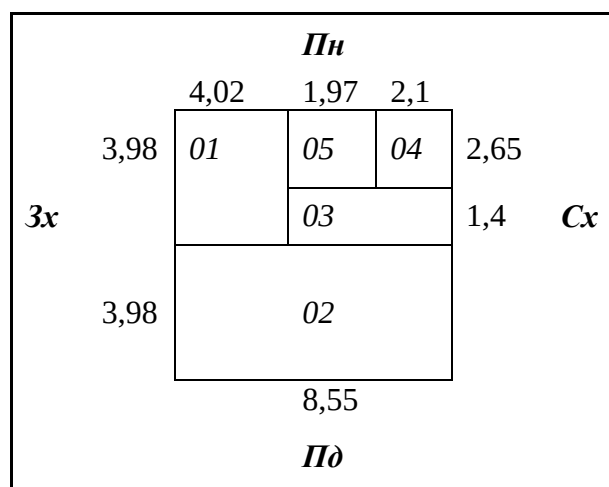


Рис. 5.3. План та температурний режим 2-го поверху

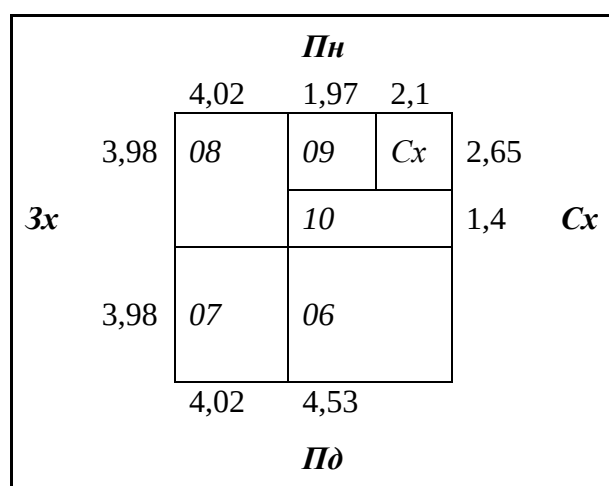
Таблиця 5.4

Схематичне зображення розрахункових розмірів огорожувальних конструкцій 1-го поверху та орієнтація за сторонами світу



Таблиця 5.5

Схематичне зображення розрахункових розмірів огорожувальних конструкцій 2-го поверху та орієнтація за сторонами світу



В колонці 17 розраховується характеристика вентиляційних тепловтрат приміщення, $H_{v,i}$, Вт/°С (п. 5.2.2., формула 5.6).

В колонці 18 розраховуються вентиляційні тепловтрати приміщення (без механічної вентиляції), $\Phi_{v,i}$, Вт (п. 5.2.2., формула 5.4).

В колонці 19 вказуються інші постійні (періодичні) тепловтрати (теплонадходження), $\Phi_{Q,i}$, Вт (п. 5.2.3., формула 5.11).

В колонці 20 розраховується теплова потужність системи опалення приміщення (без вентиляційних тепловтрат), $\Phi_{hl,i}$, Вт.

В колонці 21 розраховується теплова потужність системи опалення приміщення, $\Phi_{HL,i}$, Вт (п. 5.2., формула 5.1).

В кінці таблиці записується сумарні тепловтрати будинку з урахуванням сходової клітки.

Таблиця 5.6

Розрахункова температура зовнішнього повітря, θ_{e} , °C
Середньорічна температура зовнішнього повітря, θ_{me} , °C
Розрахункова температура горища, θ_{hi} , °C
Висота приміщень, м

-24
8,7
5
3

№ Приміщення/Найменування	Приміщення		Огороджувальна конструкція						10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
	Площа приміщення, A, m^2	Температура, $\theta_{int}, ^\circ C$	Позначення	Орієнтація	Довжина, a, m	Ширина (висота), b (h), m	Площа A_k, m^2	Коефіцієнт теплопередачі, $U_k, Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$													
Витрати тепла першого поверху																					
01	7,7	KX +19,5	ЗС	Пн	4,02	3	12,06	0,147	1,1	-	-	1,950102	1	84,829	19,84	6,7468	293,5	129,9	169,0748458	462,6	
			ЗС	Зх	3,98	3	9,825	0,147	1,1	-	-	1,5887025	1	69,109							
			B5	Зх	1,5	1,4	2,1	0,6	1,1	-	-	1,386	1	60,291							
			Пл		3,65	3,56	12,994	0,15	1	-	-	1,9491	1	84,786							
Σ														299,01							

Таблиця 5.6 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
02		Вітальня +21°C	ЗС	Зх	3,98	3	9,765	0,147	1,1	-	-	1,5790005	1	71,055						
			ЗС	Пд	8,55	3	21,72	0,147	1	-	-	3,19284	1	143,68	14,62	4,9705	223,7	255,7	408,2829475	632
			ЗС	Сх	3,98	3	10,575	0,147	1	-	-	1,554525	1	69,954						
			В1	Зх	0,9	2,4	2,16	0,6	1,1	-	-	1,4256	1	64,152						
			В1	Сх	0,9	1,5	1,35	0,6	1	-	-	0,81	1	36,45						
			В4	Пд	3	1,31	3,93	0,6	1	-	-	2,358	1	106,11						
			Пл		7,6	3,37	25,574	0,15	1	-	-	3,8361	1	172,62						
Σ														664,02						
03		Передпо кій +19,5°C	ЗС	Сх	1,4	3	2,04	0,147	1	-	-	0,29988	1	13,045						
			ДП	Сх	0,9	2,4	2,16	0,5	1	-	-	1,08	1	46,98	9,666	3,2865	143	57,4	40,07828	183
			Пл		1,4	4,1	5,74	0,15	1	-	-	0,861	1	37,454						
Σ														97,478						
04		Гардероб на +19,5°C	ЗС	Сх	2,65	3	7,95	0,147	1	-	-	1,16865	1	50,544						
			ЗС	Пн	2,1	3	6,3	0,147	1,1	-	-	1,01871	1	44,059	9,397	3,1949	139	20	87,57832	226,6
			Пл		2	1	2	0,15	1	-	-	0,3	1	12,975						
Σ														107,58						
05		Ванна +22°C	ЗС	Пн	1,97	3	5,91	0,147	1,1	-	-	0,955647	1	43,96						
			Пл		2,02	2,01	4,0602	0,15	1	-	-	0,60903	1	28,015	15,29	5,1994	239,2	40,6	31,373142	270,5
Σ														71,975						

Таблиця 5.6 (продовження)

Витрати тепла другого поверху																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
06		ЖК1 +21°C	ЗС	Пд	4,53	1,5	6,795	0,147	1	-	-	0,998865	1	44,949						
			ЗС	Сх	3,98	1,5	7,7475	0,147	1	-	-	1,1388825	1	51,25						
			Покр	Пд	4,53	2,25	10,1925	0,09	1	-	-	0,917325	1	41,28						
			В	Сх	0,9	1,5	1,35	0,6	1	-	-	0,81	1	36,45	13,61	4,6283	208,3	136,4	124,4797375	332,8
			МВ	Пд	1,2	0,9	1,08	0,6	1	-	-	0,648	1	29,16						
			Ст		4,53	2,7	12,231	0,15	1	0,7	-	1,284255	1	57,791						
Σ														260,88						
07		ЖК2 +21°C	ЗС	Пд	3,91	1,5	5,865	0,147	1	-	-	0,862155	1	38,797						
			ЗС	Зх	3,98	1,5	7,7475	0,147	1,1	-	-	1,25277075	1	56,375						
			Покр	Пд	3,91	2,25	8,7975	0,09	1	-	-	0,791775	1	35,63	13,49	4,586	206,4	116,1	133,8383588	340,2
			В	Зх	0,9	1,5	1,35	0,6	1,1	-	-	0,891	1	40,095						
			МВ	Пд	1,2	0,9	1,08	0,6	1	-	-	0,648	1	29,16						
			Ст		3,91	2,7	10,557	0,15	1	0,7	-	1,108485	1	49,882						
Σ														249,94						
08		Кабинет +21°C	ЗС	Пн	4,02	1,5	6,03	0,147	1,1	-	-	0,975051	1	43,877						
			ЗС	Зх	3,98	1,5	6,8475	0,147	1,1	-	-	1,10724075	1	49,826						
			Покр	Пн	3,91	2,25	8,7975	0,09	1,1	-	-	0,8709525	1	39,193	13,49	4,586	206,4	116,1	133,5028163	339,9
			В	Зх	1,5	1,5	2,25	0,6	1,1	-	-	1,485	1	66,825						
			МВ	Пд	1,2	0,9	1,08	0,6	1	-	-	0,648	1	29,16						
			Ст		3,91	2,7	10,557	0,15	1	0,7	-	1,108485	1	49,882						
Σ														249,6						

Таблица 5.6 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
09		Ванна +22°C	ЗС	Пн	2,4	1,5	3,6	0,147	1,1	-	-	0,58212	1	26,778						
			Поср	Пн	2,4	2,25	5,4	0,09	1,1	-	-	0,5346	1	24,592	15,26	5,1874	238,6	42	25,01832	263,6
			Ст		2,4	1,35	3,24	0,15	1	0,7	-	0,3402	1	15,649						
Σ														67,018						
10		Холл +19,5°C	ЗС	Сх	1,4	3	2,85	0,147	1	-	-	0,41895	1	18,224						
			В	Сх	0,9	1,5	1,35	0,6	1	-	-	0,81	1	35,235	15,23	5,1793	225,3	32,4	35,858025	261,2
			Ст		2,4	1,35	3,24	0,15	1	0,7	-	0,3402	1	14,799						
Σ														68,258						
СХ		Сходи +19,5°C	ЗС	Пн	2,14	4,5	7,3155	0,147	1,1	-	-	1,18291635	1	51,457						
			Поср	Пн	2,14	2,25	4,815	0,09	1,1	-	-	0,476685	1	20,736						
			В	Пн	1,2	1,91	2,292	0,6	1,1	-	-	1,51272	1	65,803	9,738	3,3108	152,3	-	176,8349972	329,1
			Ст		2,14	1,33	2,8462	0,15	1	0,7	-	0,298851	1	13						
			Пл		1,76	2,25	3,96	0,15	1	-	-	0,594	1	25,839						
Σ														176,83						
Всього Σ																				3641

5.4. Визначення витрат теплоти на нагрів води для господарсько-побутового використання

Розрахунок витрат теплоти на нагрів води для господарсько-побутового використання здійснено за нормативним документом ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація» [8].

Необхідна потужність:

$$Q = w \cdot c \cdot (t_{\text{вик}} - t_{\text{поч}}) \cdot \rho_{\text{води}}, \quad (5.13)$$

де w – витрати гарячої води на розрахункову кількість мешканців 2 особи;
 $w = 50 \cdot 2 = 100 \text{ л} = 0,1 \text{ м}^3$

c – теплоємність води, $c = 4,19 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$

$\rho_{\text{води}}$ – густина води, $\rho_{\text{води}} = 1000 \text{ кг/м}^3$

$t_{\text{вик}}$ – температура води, що використовується споживачами, $t_{\text{вик}} = +65^\circ\text{С}$;

$t_{\text{поч}}$ – температура води, що надходить до нагрівального пристрою, $t_{\text{поч}} = 10^\circ\text{С}$;

В середньому водонагрівач забезпечує нагрів води з $+10^\circ\text{С}$ до $+65^\circ\text{С}$ за 4 години.

$$Q = w \cdot c \cdot (t_{\text{вик}} - t_{\text{поч}}) \cdot \rho_{\text{води}} = 0,1 \cdot 4,19 \cdot 55 \cdot 1000 = 23045 \text{ кДж} = 23045 \cdot 10^{-3} \cdot 0,277 = 6,383 \text{ кВт}$$

Отже, необхідна потужність з урахуванням часу необхідного на нагрів води:

$$6,383 : 4 = 1,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

5.5. Вибір обладнання для опалення, кондиціонування та забезпечення гарячою водою будівлі на основі відновлювальних джерел енергії

Котедж житловою площею $51,1 \text{ м}^2$ обладнуємо ґрунтовим тепловим насосом NIBE F1255PC типу «розсіл-вода» потужністю 6 кВт (згідно розрахунку на максимальну пікову потужність опалення та забезпечення гарячою водою 5,3 кВт. Інтелектуальний тепловий насос розсіл/вода оснащений інверторним керуванням компресора та автоматичним керуванням циркуляційними насосами зі змінною потужністю та енергоефективністю класу "А". ТН F1255PC автоматично підлаштовується до змін теплового навантаження протягом року без стрибків у роботі, що забезпечує ще менші рахунки за опалення та гарячу воду, а також найліпший рівень комфорту в приміщенні. Тепловий насос можна підключити до бойлеру гарячої води необхідного об'єму, поєднати з іншими теплогенеруючими пристроями: стороннім котлом будь-якого типу та виробника, сонячним колектором. Клас енергоефективності ТН А⁺⁺⁺. Коефіцієнт енергоефективності (SCOPE) 5,5. Технічні характеристики представлені в табл. 5.7.

В будинку передбачено систему опалення обладнану фанкойлами. Тепловий насос (ТН) буде забезпечувати опалення протягом 5 місяців та здійснювати нагрів води для побутових потреб протягом 7,5 місяців. В теплий період року (4,5 місяців) тепловий насос автоматично вмикається у реверсний режим і працює на охолодження приміщень. Для досягнення необхідної тепловіддачі ґрунту (за умови тепловіддачі 50 Вт/м.п.) потрібно пробурити 2 свердловини глибиною 50м і 1 свердловину глибиною 25м. Влітку забезпечення гарячою водою здійснюється за допомогою сонячного колектора Hewalex KS2000 TP (2 одиниці) або вбудованого електронагрівача (бойлер об'ємом 180л) у ТН (у випадку відсутності достатньої сонячної активності).

Таблиця 5.7

Технічні характеристики ґрунтового теплового насосу

Технічні характеристики	Од.	Значення
Зміна теплової потужності	кВт	1,5...6
Електрична потужність номінальна, що витрачається EN14511, 0/35°C	кВт	0,67
Теплова потужність номінальна, що продукується, EN14511, 0/35°C	кВт	3,15
COP (згідно EN14511, 0/35°C)	-	4,72
SCOP (EN14511, 0/35°C)	-	5,55
Максимальна температура теплоносія після компресора	°C	65
Вбудований електронагрівач	кВт	6,5 (0,5...6,5)
Холодоагент	-	R407C
Об'єм вбудованого бойлера	л	180
Рівень звукового тиску	дБ(А)	21...32
Вага	кг	245

5.6. Потреби в електроенергії та вибір обладнання на основі альтернативних джерел енергії

Необхідна потужність виробництва електроенергії фотовольтаїчними панелями має забезпечувати потреби мешканців у використанні побутових приладів та інженерного обладнання. Приблизний перелік приладів та навантаження на систему електропостачання представлено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Перелік обладнання, що використовує електроенергію

Прилад/обладнання	Споживання електроенергії у повному обсязі, кВт	Споживання електроенергії у помірному режимі, кВт
Тепловий насос	0,67	0,67
Циркуляційний насос для сонячного колектора	0,042	0,042
Контролери	0,1	0,1
Рекуператори	0,14	0,14
Освітлення	0,48	0,48
Телевізор	0,12	0,12
Холодильник	0,2	0,2
Пилосос	2	-
Чайник	1,2	-
Праска	1,1	1,1
Фен	0,8	0,8
Електроплита	8	3
Пральна машинка	0,6	0,6
Миксер (соковыжималка)	2	-
Комп'ютер	0,22	0,22
Необхідна потужність	17,67	7,48

Особливості літнього та зимового споживання в більшості випадків взаємно нівелюються. Наприклад, літнє скорочення потреб у підігріві компенсується зростанням

витрат на охолодження. Тим не менш, у зимовий період споживання електроенергії дещо більше ніж у літній. У таблиці вказані дані для сезону з найбільшим споживанням. Сюди ж входить і потужність, споживана обладнанням самої системи енергопостачання – контролерами і інверторами [9].

Для забезпечення вказаних потреб в якості фотоелектричних модулів обираємо продукцію українського виробника «КВАЗАР» KV 220-255M у кількості 70 одиниць (для участі у програмі «зелений тариф»), технічні характеристики яких представлено в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Технічні характеристики фотоелектричного модуля «КВАЗАР» KV 220-255M

Технологія модуля	Скло-EVA-полімерна плівка
Номінальна потужність	255 Вт
Рама	Анодований алюміній
Розміри	1665x997x40 мм
Фронтальне покриття	Загартоване скло з високою світлопропускну здатністю
Тильне покриття	Полімерна плівка
Тип ФЕП	Монокристалічні, 60 шт
Розмір ФЕП	156x156мм
Вага	23 кг

Найважливішим питанням є вибір кута нахилу панелі. Маючи на увазі можливість цілорічного використання, слід віддати перевагу куту на 15° більшому географічної широти. Тобто, для Дніпра це 63°.

Таким чином, згідно запропонованої методики розрахунку теплової потужності системи опалення для будівлі за концепцією «Потрійний нуль» відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та ДСТУ EN 12831-1:2017 (EN 12831-1:2017, IDT) «Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження», проектне навантаження на опалення сягає 47,52 кВтгод/м² в опалювальний сезон за умови середньої температури зовнішнього повітря -4,7°C. У випадку застосування теплового насоса з COP 4,72 витрати енергії на опалення знижуються до 10,07 кВтгод/м² в опалювальний сезон. Попередньо отримана цифра енергоспоживання на опалення не перевищує стандарт Інституту пасивного будинку 15 кВтгод/м² та в середньому такий показник відповідає європейським аналогам будівель з нульовим енергоспоживанням (національний стандарт щодо будівель нульового енергоспоживання в Україні не затверджено).

Для забезпечення потреб у свіжому повітрі підібрано точкові рекуператори з різними потужностями типу Pupa у кожне приміщення в залежності від його призначення. Такі інженерні рішення, на відміну від каналної системи вентиляції з рекуператором, дозволяють скоротити тепловитрати повітря на шляху від рекуператора і знизити вартість обладнання. Температура приточного повітря сягає +16°C при зовнішній температурі -24°C (мінімальна температура для м.Дніпро) та 17,8 °C при -4,7 °C (середня температура для м.Дніпро) при споживанні до 32 Вт/год.

В будинку передбачено систему опалення обладнану фанкойлами. Тепловий насос (ТН) буде забезпечувати опалення протягом 5 місяців та здійснювати нагрів води для побутових потреб протягом 7,5 місяців. В теплий період року (4,5 місяців) тепловий насос автоматично вмикається у реверсний режим і працює на охолодження приміщень. Для досягнення необхідної тепловіддачі ґрунту (за умови тепловіддачі 50 Вт/м.п.) потрібно пробурити 2 свердловини глибиною 50м і 1 свердловину глибиною 25м. Влітку забезпечення гарячою водою здійснюється за допомогою сонячного колектора Hewalex KS2000 TP (2 одиниці) або

вбудованого електронагрівача (бойлер об'ємом 180л) у ТН (у випадку відсутності достатньої сонячної активності).

Для забезпечення розрахункових потреб в електроенергії в якості фотоелектричних модулів обираємо продукцію українського виробника «КВАЗАР» KV 220-255М у кількості 70 одиниць (для участі у програмі «зелений тариф»).

Виявлення загального річного енергоспоживання будинку (для задоволення усіх потреб) за концепцією «Потрійний нуль» є наступним етапом досліджень і буде здійснено шляхом подальших деталізованих розрахунків за кожен місяць експлуатації будівлі «Потрійний нуль».

Список використаних джерел до розділу 5

1. Методичні вказівки «Визначення теплової потужності системи опалення» для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія.» (спеціалізація «Теплогазопостачання і вентиляція»)/ Уклад.: О.П.Любарець, М.П.Сенчук, В.О.Любарець. – К.: КНУБА, 2016. – 34с.
2. ДБН В.2.5-67:2014. Опалення, вентиляція та кондиціонування./ Мінрегіонбуд та ЖКГ України.- К.: ДП „Укрархбудінформ” Мінбуду України, 2013.- 141 с.
3. ДСТУ Б EN 12831:2017. Енергоефективність будівель. Метод визначення проектного теплового навантаження.
4. Гершкович В.Ф. Пособие по проектированию систем водяного отопления к СНиП 2.04.05-91. – К: КиевЗНИИЭП, 1996.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127с.
6. ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», К.: Мінбуд України, 2017 – 30 с.
7. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики.
8. ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація», К.: Мінрегіон України, 2013 – 113 с.
9. Казіміров О. О. и др. Дослідження можливостей використання сонячної енергії для автономного живлення об'єкту //Системи обробки інформації. – 2017. – №. 1. – С. 58-61.

ВИСНОВКИ

1. Концепція будівлі «Потрійний нуль» як шлях впровадження принципів сталого розвитку та циркулярної економіки пропонує альтернативний підхід до проектування, будівництва, експлуатації та утилізації, який є можливістю оптимізувати складний та багатовимірний характер будівлі як штучно створеного середовища. Системне використання цієї концепції в масштабах кварталів, міст, регіонів або країни в цілому сприятиме зменшенню використання невідновлюваних природних ресурсів, зниженню впливу будівельної галузі на навколишнє середовище, зменшенню залежності від нестабільних ринків, забезпеченню переходу до більш стійких форм економічного зростання, міського життя та створення цінностей.

2. Для обґрунтування можливості реалізації запропонованої концепції розроблено архітектурно-конструктивне рішення екологічної будівлі «Потрійний нуль» з урахуванням критеріїв екологічності, автономності, компактності, раціональності, клімато- та біоадаптивності, інноваційності. Детально описані структурно-функціональна організація, архітектурно-планувальні і композиційно-просторові рішення будівлі, обґрунтовано вибір матеріалів для несучих конструкцій, внутрішнього та зовнішнього оздоблення, приведені загальні рекомендації щодо просторового розміщення та вибору обладнання в контексті сталого розвитку та циркулярної економіки.

3. Для обґрунтування запропонованих архітектурно-конструктивних рішень виконано аналіз напружено-деформованого стану несучих конструкцій будівлі та їх відповідність чинним нормам проектування. З метою підвищення несучої здатності і просторової жорсткості будівлі, а також оптимізації використання деревини в конструкціях, запропоновано конструктивне рішення та методику розрахунку композитного деревогрунтобетонного перекриття по дерев'яним фермам. Для обґрунтування можливості використання в якості опорного елемента для стінової конструкції будівлі виконано експериментальне дослідження несучої здатності та експлуатаційної придатності дерев'яних клеєних балок, як ресурсоефективної конструкції.

4. Розроблено основні типові вузли сполучення конструкцій для екобудівлі за концепцією «Потрійний нуль». Для обґрунтування відповідності вузлів основним критеріям концепції, було реалізовано моделювання тепловитрат через з'єднання та аналіз можливості забезпечити однорідність оболонки будівлі при їх впровадженні. Аналіз результатів розрахунків засвідчує, що найбільші втрати тепла спостерігаються в зоні сполучення зовнішньої стіни, перекриття і фундаментної конструкції (вузли 3,4), де середнє значення теплового потоку на внутрішній поверхні конструкції дорівнює $13,46 \text{ Вт/м}^2$ при температурі зовнішнього повітря -5°C і $27,11 \text{ Вт/м}^2$ при температурі -24°C ; найменші втрати – через коньковий вузол даху (вузли 5,6), середнє значення теплового потоку становить $5,4 \text{ Вт/м}^2$ при температурі зовнішнього повітря -5°C і $10,43 \text{ Вт/м}^2$ при температурі -24°C .

5. Виходячи з принципів концепції екологічної будівлі «Потрійний нуль» для умов України, було запропоновано використання рослинних сільськогосподарських відходів в якості основного ізоляційного матеріалу. Суміші бетонів на основі соломи льону та коноплі розроблений з урахуванням принципів стійкості, таких як екологічність та енергоефективність. Було порівняно легкі бетони на соломі з використанням портландцементу (ПЦ), та без. Було отримано результат, який свідчить, що легкий бетон на основі соломи з використанням ПЦ має міцність при 10% деформації на 5,6% вище і в той же час на 13% більш високий коефіцієнт теплопровідності, ніж легкий бетон на соломі без ПЦ. Таким чином, з точки зору енергоефективного легкого бетону запропонованого складу на основі костри льону без додавання ПЦ є більш сприятливим у конструкціях, що віжповідають критеріям сталого розвитку.

6. Фізико-хімічне дослідження на основі термічного аналізу в атмосферному повітрі показало, що загальна картина термічної деградації для бетонів на основі льону та

коноплі є аналогічною. Проте додаткові піки масових втрат були визначені для льняного бетону (без ПЦ), які супроводжуються екзотермічним процесом, що є позитивним аспектом з урахуванням життєвого циклу матеріалу та стадії переробки.

7. На підставі результатів дослідження матеріалів та конструкцій в концепції екологічної будівлі «Потрійний Нуль», було розроблено конструктивне рішення стінової конструкції стійкої будівлі, що містить дерев'яну раму, теплоізоляційний шар із матеріалів солом'яного походження, внутрішній масивний шар накопичення тепла та зовнішній захисний шар. Для обґрунтування можливості використання розробленої конструкції, в якості зовнішніх огорожувальних стінових конструкцій, було проведено експериментальне дослідження теплотехнічних характеристик в кліматичній камері при різниатурних температурних режимах.

8. Проектне навантаження на опалення будівлі «Потрійний нуль» сягає $47,52 \text{ кВтгод/м}^2$ в опалювальний сезон за умови середньої температури зовнішнього повітря $-4,7^\circ\text{C}$. У випадку застосування теплового насосу з COP 4,72 витрати енергії на опалення знижуються до $10,07 \text{ кВтгод/м}^2$ в опалювальний сезон. Попередньо отримана цифра енергоспоживання на опалення не перевищує стандарт Інституту пасивного будинку 15 кВтгод/м^2 та в середньому такий показник відповідає європейським аналогам будівель з нульовим енергоспоживанням.

9. В якості інженерного забезпечення будівлі було обрано наступне обладнання на основі відновлювальних джерел енергії: фотовольтаїчні панелі, сонячні колектори, ґрунтовий тепловий насос типу "розсіл-вода", який буде забезпечувати потреби в опаленні та здійснювати нагрів води для побутових потреб взимку. В теплий період року тепловий насос автоматично вмикається у реверсний режим і працює на охолодження приміщень. Влітку забезпечення гарячою водою здійснюється за допомогою сонячного колектора або вбудованого електронагрівача (покриття ризиків). Для забезпечення потреб у свіжому повітрі підібрано точкові рекуператори з різними потужностями типу Prana у кожне приміщення в залежності від його призначення.

ГЛОСАРІЙ ПРОЕКТАНТА БУДІВЛІ «ПОТРІЙНИЙ НУЛЬ»

Стійкий розвиток в будівництві	- забезпечення при здійсненні містобудівної діяльності безпеки і сприятливих умов життєдіяльності людини, обмеження негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє середовище та забезпечення охорони і раціонального використання природних ресурсів в інтересах нинішнього і майбутнього поколінь.
Енергозбереження	- реалізація правових, організаційних, наукових, технічних та економічних заходів, спрямованих на ефективне (раціональне) використання (і економне витрачання) паливно -енергетичних ресурсів та на залучення в господарський оборот відновлюваних джерел енергії.
Енергетична ефективність	- ефективне (раціональне) використання енергетичних ресурсів. Використання меншої кількості енергії для забезпечення того ж рівня енергетичного забезпечення будівель або технологічних процесів.
Клас енергетичної ефективності	- рівень енергетичної ефективності будинку за інтервалом значень питомої витрати теплової енергії на опалення будинку за опалювальний період.
Енергетичний паспорт будівлі	- документ, що містить геометричні, енергетичні й теплотехнічні характеристики будинку, що спроектован або експлуатується, теплоізоляційної оболонки будинку, та встановлює їх відповідність до вимог нормативних документів
Екологічна ефективність Навколишнє середовище	-результати управління екологічними аспектами організації. -сукупність компонентів природного середовища, природних і природно-антропогенних об'єктів, а також антропогенних об'єктів.
Вплив на навколишнє середовище	- будь-яка зміна в навколишньому середовищі негативного чи позитивного характеру , повністю або частково що є результатом екологічних аспектів діяльності людини.
Природне освітлення	- освітлення приміщень світлом неба (прямим або відбитим), що проникає через світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях.
Інвестиційна вартість	- вартість капітальних витрат по створенню будівельного об'єкта.
Експлуатаційна вартість	- вартість річних витрат експлуатуючої організації з утримання експлуатованого нею будівлі, споруди, комплексу
Використання природних ресурсів	- залучення природних ресурсів у господарський оборот на всьому життєвому циклі об'єкту.
Інсоляція	-опромінення поверхонь і просторів прямими сонячними променями.
Мікроклімат приміщення	- стан внутрішнього середовища приміщення , що має вплив на людину, що характеризується показниками температури повітря та огорожувальних конструкцій, вологістю і рухливістю повітря.
Мінімальні екологічні	- екологічні вимоги, встановлені в законодавчих і нормативних

вимоги	документах.
Санітарний захист	- сукупність заходів щодо збереження санітарно гігієнічного та санітарно-епідеміологічного благополуччя на даній території.
Відходи споживання	- залишки речовин, матеріалів, предметів, виробів, товарів (продукції чи виробів), частково або повністю втратили свої первинні споживчі властивості для використання за прямим або непрямому призначенням внаслідок фізичного або морального зносу в процесах суспільного або особистого вжитку (життєдіяльності), експлуатації.
Сепарація відходів	- механізована обробка неоднорідних відходів, що має на меті їх поділ на однорідні складові.
Утилізація	- види робіт із забезпечення ресурсозбереження (з урахуванням вимог екології та безпеки), при яких здійснюються із заданою інтенсивністю переробка та / або вторинне використання відслужили установлений термін і / або відбракованих виробів, матеріалів, упаковки і т. п., а також технологічних відходів і вторинних матеріалів.
Утилізація відходів	- діяльність, пов'язана з використанням відходів на етапах їх технологічного циклу, та /або забезпечення повторного (вторинного) використання або переробки списаних виробів.
Стокові води	- будь-які води та атмосферні опади, що відводяться у водойми з територій промислових підприємств і населених місць через систему каналізації або самопливом, властивості яких виявилися погіршеними в результаті діяльності людини.
Показник теплової енергоефективності	- відношення розрахункової питомої витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі до мінімального нормативного питомій витраті теплової енергії на опалення і вентиляцію будівлі.
Прилад обліку	- технічний засіб, призначений для вимірювань, відповідне обов'язковим метрологічним вимогам.
Прибудинкова територія	- земельна ділянка у встановлених межах і розташоване на ньому житловий будинок, інші об'єкти нерухомості, в яких окремі частини, призначені для житлових або інших цілей (приміщення), перебувають у приватній, державній, муніципальній та інших формах власності, а решта частини (спільне майно) знаходяться в спільній дольової власності.
Природні ресурси	- компоненти природного середовища, природні об'єкти і природно-антропогенні об'єкти, які використовуються або можуть бути використані при здійсненні господарської та іншої діяльності в якості джерел виробництва і предметів споживання і мають споживчу цінність.
Поновлювальні енергетичні ресурси	- енергія з джерел, які за людськими масштабами є невичерпними. Основний принцип використання відновлюваної енергії полягає в її вилученні з постійно відбуваються в навколишньому середовищі процесів і надання для технічного застосування. Поновлювану енергію отримують із природних ресурсів, таких як: сонячне світло, вітер, дощ, припливи і геотермальна теплота, які є поновлюваними (поповнюються природним шляхом).
Вторинні енергетичні ресурси	- відходи виробництва і споживання, використовувані повторно, з виділенням теплової та / або електричної енергії.

Радіаційний фон	- доза випромінювання, створювана космічним випромінюванням і випромінюванням природних радіонуклідів, природно розподілених у землі, воді, повітрі, інших елементах біосфери, харчових продуктах і організмі людини.
Реконструкція	- зміна параметрів об'єктів капітального будівництва, їх частин - кількості приміщень, висоти, кількості поверхів, площі, показників продуктивної потужності, об'єму, інженерно-технічного забезпечення.
Системи інженерного забезпечення будівлі	-системи опалення, вентиляції, кондиціонування, гарячого водопостачання та електропостачання.
Соціально-побутова інфраструктура	- об'єкти, що забезпечують життєдіяльність людей. Включає в себе організації, установи та підприємства, охорони здоров'я, освіти, торгівлі, пасажирського транспорту і зв'язку, банківських та поштових послуг, громадського харчування, побутового і комунального господарства, міські комунікації.
Фізкультурно - оздоровчі та спортивні споруди	-будинки, споруди, обладнані майданчики і приміщення, оснащені спеціальними технічними засобами і призначені для фізкультурно - оздоровчих, спортивних послуг, спортивно - видовищних заходів, а також для організації фізкультурно - оздоровчого та спортивного дозвілля
Екологічний транспорт	- засоби пересування, які мінімізують вплив людини на навколишнє середовище.
Середовище проживання людини	- сукупність об'єктів, явищ та чинників навколишнього (природного та штучного) середовища проживання, визначальна умови життєдіяльності людини.
Стійкість середовища проживання	- інтегральна категорія, яка характеризує максимальне задоволення потреб людини в будівлі як в середовищі його життєдіяльності при мінімальному впливі на екологію та споживанні невідновлюваних ресурсів протягом усього циклу життя об'єкта нерухомості.
Вартість життєвого циклу будівлі або споруди	-загальна вартість періоду, протягом якого здійснюються інженерні вишукування, проектування, будівництво (у т. ч. консервація), експлуатація (у т. ч. поточні ремонти), реконструкція, капітальний ремонт, знесення будівлі або споруди.
Питома річна витрата теплової енергії на систему гарячого водопостачання	- кількість теплової енергії на гаряче водопостачання, віднесена до квадратного метру площі квартир або корисної площі громадської будівлі.
Питома річна витрата енергії на систему кондиціонування	-кількість енергії за рік, спожите системою кондиціонування, віднесена до квадратному метру площі квартир або корисної площі громадської будівлі.
Питоме споживання теплової енергії на опалення і вентиляцію будівлі за опалювальний період	- кількість корисної теплової енергії за опалювальний період, витрачений на компенсацію тепловтрат будівлі з урахуванням повітрообміну і додаткових тепловиділень при нормованих параметрах мікроклімату приміщень у ньому, віднесене до одиниці площі квартир будинку (або опалювальної площі одноквартирних будинків) та градусо - діб опалювального періоду.
Питома річна витрата	- кількість електроенергії за рік, спожите будівлею на

електроенергії на освітлення Питома річна витрата електроенергії на електропостачання інженерних систем Екологічні вимоги	освітлення, віднесене до площі підлоги квартир будівлі або корисної площі приміщень громадської будівлі. - кількість електроенергії за рік, спожите будівлею на електропостачання інженерних систем, віднесене до площі підлоги квартир будівлі або корисної площі приміщень громадського будинку.
Екологічна сертифікація Екологічний сертифікат	- вимоги, спрямовані на забезпечення раціонального природокористування, охорону навколишнього середовища , захист здоров'я і генетичного фонду людини. - діяльність з підтвердження відповідності об'єкта, що сертифікується пропонованим до нього екологічним вимогам. - документ, який видається відповідно до правил системи екологічної сертифікації, що засвідчують відповідність певним екологічним стандартам і вимогам готової продукції, технології її виробництва і життєвого циклу в цілому.
Енергетичний баланс	стан енергозабезпечення, згідно з яким витрати енергії компенсуються надходженням енергії із зовнішнього середовища.
Циркулярна економіка	в загальному сенсі це економіка, заснована на відновлення ресурсів, альтернатива традиційної, лінійної економіки

Вибір будівельних матеріалів

Назва, та призначення в конструкції	Фізичні характеристики	Довговічність	Переваги та недоліки	Викиди CO ₂	Географічне розповсюдження	Переробка	Сировинний склад
Пегла керамічна (глиняна), отороджувальні несучі та самонесучі конструкції	Питома вага – 2100-2400 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровідності – 0,2-0,46 Вт/(м·К) Міцність на стиск – 2,5(M25) – 50 (M500) МПа Морозостійкість – 15(F15)-100(F100) циклів Водопоглинання – 8 – 12%	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу, термін служби складає від 100 років.	Переваги: - розмаїття кольорів і форм; - гарна звукоізоляція; - екологічність; - висока вогнестійкість. Недоліки: - можливі висоли; - може легко пошкоджуватися при транспортуванні	У процесі випалу, при температурі 750-900 C ⁰ , при розкладанні карбонатів виділяється значна кількість CO ₂	Виробництво в Україні розташовано: - Суми, Сумська область, підприємство Карамейня; - Луцьк, Волинська область, підприємство Євротон; - Суми, Сумська область, підприємство СБК; - Біла Церква, київська область, підприємство ТОВ «Білоцерківські матеріали».	- відсіпання ґрунтових доріг; - застосування в якості декоративного оздоблення; - застосування в якості тепло-звукоізоляції; - при влаштуванні дренажного шару.	Різні глини (в основному середньої жирності)
Натуральне дерево, елементи каркасу, та декоративні елементи	Питома вага – 0,15 - 1,28 г/см ³ Міцність на стиск – від 40 до 80 МПа Коефіцієнт теплопровідності – від 0,09 до 0,13 Вт/(м·К) Середня вологість – від 38 до 91 % Усушка деревини – від 0,2 до 5 %	При дотриманні температурно-вологісного режиму строк служби може складати від 5 до 250 років.	Переваги: мала щільність при відносно високій міцності; хороша оброблюваність ріжучими інструментами; висока тепло і звукоізоляція; екологічність. Недоліки: загнивання; ушкодження комахами; загоряння в несприятливих умовах.	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі заготівлі лісу і при його транспортуванні	Виробництво в Україні розташовано: - Вінницька обл., м Козятин, підприємство Агроліс; - Кіровоградська обл., м. Олександрівка, підприємство Олександрівське лісове господарство; - Харківська обл., Балаклійський р-н, м Балаклія, Балаклійське лісове господарство.	- в якості вихідного матеріалу для виробництва меблів; - повторне використання в будівельних конструкціях	Деревина складається з органічних речовин, до складу яких входять вуглець С, водень Н, кисень О і трохи азоту. В середньому абсолютно суха деревина незалежно від породи містить 49,5% вуглецю, 44,2% кисню (з азотом) і 6,3% водню.

Додаток 2 (продовження)

Природний камінь, декоративне оздоблювання	Питома вага – від 250-2800 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровідності – 0,88 Вт/(м·К) Міцність на стиск – від 2-350 МПа Пористість – від 1 - 40% Водопоглинання – від 1 – 35%	Залежно від типу породи, умов експлуатації і класу термін служби складає від 5 до 2000 років	переваги: - довговічність; - естетичність; недоліки: - значна питома вага; - можлива радіоактивність.	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі видобутку каменю, обробки та при його транспортуванні	Виробництво в Україні розташовано: - Закарпатська обл., м. Ужгород, підприємство Андезіт; - Рівненська обл., Костопільський р-н, с. Берестовець, підприємство Берестовський спецкар'єр; - Дніпропетровська область м. Дніпро, підприємство Бенотага.	в якості декоративного оздоблення; при влаштуванні дренажу	Практично всі елементи періодичної таблиці в різних комбінаціях.
	Керамічна піна "Керпен", самонесучий теплоізоляційний матеріал отримувальних конструкцій	Питома вага – 350 -600 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровідності – 0,2-0,4 Вт/(м·К) Міцність на стиск – 10 - 15 МПа Пористість – 80 - 90%	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу термін служби складає від 50 років.	переваги: - висока зносостійкість; - мала питома вага; недоліки: - може легко пошкоджуватися при транспортуванні.	У процесі випалу, при температурі 750-900 С ⁰ , при розкладанні карбонатів виділяється значна кількість CO ₂	відсіпання ґрунтових доріг; застосування в якості декоративного оздоблення; застосування в якості тепло-звукоізоляції; при влаштуванні дренажного шару.	легкоплавких глин, перлітів, цеолітів, базальтів і відходів промисловості склобій, розкриті породи, відходи шліфування скловиробів

Додаток 2 (продовження)

Зидарит, самонесучий теплоізоляційний матеріал отопоряджувальних конструкцій	Питома вага – 700-850 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровідн ості – 0,145- 0,165 Вт/(м·К) Міцність на стиск – 2,3 МПа Вогнестійкіст ь 0,75 – 1,5 години	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу термін служби складає від 45 років.	переваги: - високі теплоізоляційні характеристики; - простий в монтажі; - добра звукоізоляція. недоліки: - при довготривалому контакті з вологою середовищем можлива поява грибка.	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі заготівлі та переробки деревини.		Після закінчення терміну експлуатації матеріал розкладається природним шляхом.	Деревини (89%), цементу (10%), води з рідким склом (1%)
Теркар, самонесучий теплоізоляційний матеріал отопоряджувальних конструкцій	Питома вага – 250-450 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровідн ості – 0,047- 0,08 Вт/(м·К) Міцність на стиск – 4 МПа	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу термін служби складає від 75 років.	переваги: - довговічність; - легкість в монтажі; - має бактеріцидні властивості; - висока шумоізоляція; недоліки: - мала поширеність; - середня вогнестійкість.	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі заготівлі та переробки деревини.		Після закінчення терміну експлуатації матеріал розкладається природним шляхом.	Торф (85%), стружка і тирса (5%)
Грунтобетон, отопоряджувальні несутчі та самонесучі конструкції	Питома вага – 1300-1500 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровідн ості – 0,047- 0,08 Вт/(м·К) Міцність на стиск – 10 - 25 МПа	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу термін служби складає від 75 та більше років.	переваги: - розповсюдженість і доступність сировини; - довговічність; - вогнестійкість. недоліки: - обмежена поверховість будівлі	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі видобування та формування сировини.	Виробля- ється в Україні практично у всіх регіонах.	Після закінчення терміну експлуатації матеріал розкладається природним шляхом.	Грунт (глин, суглинків, супісків) 90- 92%, в'язуче (цемент) 8-10%

Додаток 2 (продовження)

Пресована солома теплоізоляційний матеріал огороджувальних конструкцій	Питома вага – 100-150 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровід ності – 0,047-0,05 Вт/(м·К)	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу термін служби складає від 20 та більше років.	переваги: - поширення і доступність сировини; - екологічність; недоліки: - при намоканні схильні до гниття; - низька вогнестійкість, вимагає обробки антиперенами.	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі вирощування сировини.	Виробляється в Україні можливо практично у всіх регіонах.	Після закінчення терміну експлуатації матеріал розкладається природним шляхом.	Солома злакових культур
Легкий саман, самонесучий теплоізоляційний матеріал огороджувальних конструкцій	Питома вага –400-420 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровід ності – 0,065-0,071 Вт/(м·К)	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу термін служби складає від 75 та більше років.	переваги: - простий у виготовленні; - доступність матеріалів; - хороша тепло і звукоізоляція; недоліки: - конструкція будинку вимагає каркас; - тривалий термін висихання;	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі вирощування сировини.	Виробляється в Україні можливо практично у всіх регіонах.	Після закінчення терміну експлуатації матеріал розкладається природним шляхом.	Глина середньої жирності, солома, вода.
Легкий костробетон, самонесучий теплоізоляційний матеріал огороджувальних конструкцій	Питома вага –350-400 кг/м ³ Коефіцієнт теплопровід ності – 0,08 Вт/(м·К) Міцність на стиск – 1,2 МПа	При дотриманні технології виробництва і умов експлуатації виробу термін служби складає від 75 років.	переваги: - довговічність; - легкість в монтажі; - вогнестійкість; - висока шумоізоляція; - екологічність. недоліки: - складність у визначенні звідки саме взята костра для бетону.	Викиди CO ₂ відбуваються в процесі вирощування сировини.	Виробництво в Україні розташовано: Київ, Києво- Святошинський район, ЖК "Чайка".	Після закінчення терміну експлуатації матеріал розкладається природним шляхом.	Цемент, вапно або гіпс, костра, вода.