

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

на тему: **Застосування технології «Зелене будівництво» при зведенні
будівель та споруд**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб-з
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія»

освітньої програми «Промислове і цивільне
будівництво»

Рябих Я.М.

Керівник доц., к.т.н. Самченко Р.В.


Рецензент проф., д.е.н. Анін В.І.

Запоріжжя
2023 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр та назва)
Освітньо-професійна програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЦБ
проф. Арутюнян І.А.
«» 20 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Рябих Ярослав Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Застосування технології «Зелене будівництво»
при зведенні будівель та споруд

Керівник роботи Самченко Роман Васильович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «01» травня 2023 року №635-с





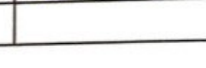

2 Строк подання студентом роботи 30.11.2023 р.

3 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень,
значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики,
перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до
виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити) Провести аналіз літературних джерел присвячених
зеленому будівництву та виконати систематизацію інформації щодо
сучасних технологій. Визначити основні технології та інновації, провести
розгляд сучасних підходів та інноваційних рішень. Розробити рекомендації
для забезпечення успішного впровадження зелених технологій у
будівництво.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напрямку досліджень, результатами експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

6 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|----------|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 1 | Самченко Р.В., доц. |  |  |
| Розділ 2 | Самченко Р.В., доц. |  |  |
| Розділ 3 | Самченко Р.В., доц. |  |  |

7 Дата видачі завдання 19.05.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Розділ 1 Аналіз та досвід енергоефективного «зеленого будівництва» у світовій практиці | 26 вересня | |
| 2 | Розділ 2 Дослідження основних аспектів «зеленого будівництва» | 22 жовтня | |
| 3 | Розділ 3 Впровадження елементу технології «зелене будівництво» для підвищення енергоефективності будівлі | 28 листопада | |

Студент


(підпис)

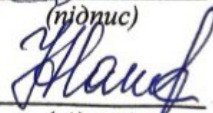
Я.М. Рябих
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Р.В. Самченко
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено


(підпис)

Н.О. Данкевич
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Рябих Я.М. Застосування технології «Зелене будівництво» при зведенні будівель та споруд.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Р.В. Самченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2023.

Впровадження технології "Зеленого будівництва" сприяє підвищенню енергоефективності будівель. Застосування теплоізоляційних матеріалів, ефективної системи вентиляції та інших зелених рішень допомагає зменшити споживання енергії на опалення та кондиціювання приміщень. Використання зелених технологій сприяє створенню здорового мікроклімату усередині будівель. Рослинність, вентиляція та системи очищення повітря допомагають забезпечити чисте та свіже повітря для мешканців та працівників. Зелене будівництво спрямоване на зменшення негативного впливу будівельної діяльності на навколишнє середовище.

Ключові слова: зелене будівництво, BIM технології, екологія, економія, енергоефективність.

Список публікацій магістранта:

Рябих Я.М., Самченко Р.В. Застосування технології «Зелене будівництво» при зведенні будівель та споруд. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (17-20 жовтня 2023 р., м. Запоріжжя). Запоріжжя: ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, 2023.

ABSTRAKT

Ryabykh Y.M. Application of "Green construction" technology in the construction of buildings and structures.

Qualifying thesis for obtaining a master's degree of higher education in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor R.V. Samchenko. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny, Department of Industrial and Civil Engineering, 2023.

The implementation of "Green Building" technology contributes to increasing the energy efficiency of buildings. The use of thermal insulation materials, an efficient ventilation system and other green solutions helps to reduce energy consumption for heating and air conditioning of premises. The use of green technologies contributes to the creation of a healthy microclimate inside buildings. Vegetation, ventilation and air purification systems help provide clean and fresh air for residents and workers. Green construction is aimed at reducing the negative impact of construction activities on the environment.

Keywords: green construction, BIM technologies, ecology, economy, energy efficiency.

List of publications of the master's student:

Рябих Я.М., Самченко Р.В. Застосування технології «Зелене будівництво» при зведенні будівель та споруд. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (17-20 жовтня 2023 р., м. Запоріжжя). Запоріжжя: ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, 2023.

ЗМІСТ:

| | |
|--|-----------|
| ВСТУП | 8 |
| 1 АНАЛІЗ ТА ДОСВІД ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО «ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА» У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ | 11 |
| 1.1 Поняття «зеленого будівництва» | 11 |
| 1.2 Загальна характеристика енергоефективних будівель та історія їх світового розвитку | 16 |
| 1.3 Перспективи розвитку «зеленого будівництва» | 26 |
| 1.4 Перспективи зеленого будівництва у майбутньому відновленні України | 37 |
| 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ «ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА» | 42 |
| 2.1 Концепція «зеленого будівництва» в рамках парадигми сталого розвитку | 42 |
| 2.2 Екологічний аспект зеленого будівництва, як складової стратегії сталого розвитку | 56 |
| 2.3 Економічні цілі сталого розвитку та зелене будівництво | 62 |
| 2.4 Значення зеленого будівництва у справі досягнення соціальних цілей сталого розвитку | 66 |
| 2.5 Сучасні будівельні матеріали для використання у зеленому будівництві | 74 |
| 3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТУ ТЕХНОЛОГІЇ «ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО» ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ | 77 |
| 3.1 «Зелена покрівля» як елемент зеленого будівництва | 77 |
| 3.2 Інформація про об'єкт дослідження | 85 |
| 3.3 Техніко-економічний аналіз споживання тепла | 86 |

| | |
|--|-----|
| 3.4 Розрахунок тепловтрат | 88 |
| 3.5 Методика розрахунку теплотехнічних характеристик покрівель | 92 |
| 3.6 Результати експериментального дослідження | 95 |
| ВИСНОВКИ | 100 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 101 |

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі проблема забезпечення сталого розвитку та збереження природних ресурсів стає дедалі актуальнішою. Зелене будівництво виступає однією з ключових стратегій у зусиллях зменшення негативного впливу будівельної діяльності на навколишнє середовище. Споживання енергії, використання ресурсів та викиди в атмосферу – усе це вимагає новаторських рішень, серед яких вирізняється технологія "Зеленого будівництва".

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю шукати ефективні та екологічно безпечні рішення в будівельній галузі, спрямовані на забезпечення сталого розвитку та збереження природних ресурсів. Виходячи з цього, мета дослідження полягає у визначенні можливостей та перешкод впровадження зелених технологій у будівництві, а також у визначенні їх впливу на якість та стійкість будівельних об'єктів.

Метою **магістерської роботи** є глибокий аналіз та оцінка застосування технології "Зелене будівництво" при зведенні будівель та споруд. Робота має на меті розкрити переваги та виклики впровадження зелених технологій, а також дослідити їх вплив на якість та стійкість будівель та споруд.

Для досягнення поставленої мети в магістерській роботі вирішуються такі основні **завдання дослідження**:

- провести аналіз літературних джерел присвячених зеленому будівництву та виконати систематизацію інформації щодо сучасних тенденцій, технологій та методів, які використовуються в зеленому будівництві.

- визначити основні технології та інновації, провести розгляд сучасних підходів та інноваційних рішень, що впроваджуються у зеленому будівництві та визначити технічні, екологічні та економічні аспекти застосування кожної конкретної технології.

- розробити рекомендації для забезпечення успішного впровадження зелених технологій у будівництво.

Об'єкт дослідження — процес будівництва та експлуатації будівель і споруд.

Предмет дослідження — застосування технології "зелене будівництво" при зведенні будівель та споруд.

Методи досліджень: для досягнення поставлених цілей та вирішення завдань дослідження буде використано комплекс різноманітних методів. Серед них:

Літературний аналіз: Здійснення огляду наукових публікацій, монографій, тез та статей, що стосуються зеленого будівництва та технологій в будівельній сфері. Систематизація та аналіз інформації з питань принципів та практик зеленого будівництва, інновацій у будівельних матеріалах та технологіях.

Аналіз будівельних проектів: Систематичний аналіз існуючих будівельних проектів, в яких застосовуються зелені технології. Оцінка реальних результатів, досягнутих вже завершеними проектами, та вивчення їхнього впливу на якість та ефективність будівлі.

Математичне моделювання: Використання математичних моделей для прогнозування впливу зелених технологій на енергоефективність та стійкість будівель. Розробка математичних моделей для оцінки витрат та користі від впровадження зелених технологій.

Статистичний аналіз даних: Зібрання та обробка статистичних даних щодо витрат, якості та ефективності будівництва з використанням зелених технологій. Статистичний порівняльний аналіз з традиційними методами будівництва.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- розроблені рекомендації для впровадження елементу технологій "зеленого будівництва" у будівельну галузь, що має безпосереднє значення для практикуючих фахівців та розвитку сучасного будівельного сектору.

- доведено, що використання технологій "зеленого будівництва" вирішить проблеми та цілі сталого розвитку у сферах «екологія – економіка – соціум».

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» у секції «Промислове та цивільне будівництво» (2023, м. Запоріжжя).

Структура роботи. Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 102 сторінки. Включає 46 рисунків, 4 таблиці, список використаних джерел з 19 пунктів.

1 АНАЛІЗ ТА ДОСВІД ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО «ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА» У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ

1.1 Поняття «зеленого будівництва»

Упродовж останніх 30-40 років у багатьох галузях, де взяли активну участь люди, концепція "лікування" почала змінюватися на "профілактику". У будівельній галузі концепція зеленого будівництва розвивалася і існувала в різних формах, а зараз набуває популярності у всьому світі. Концепція зеленого будівництва, у широкому розумінні, передбачає створення будівель, які проектуються, будуються, експлуатуються, підтримуються або використовуються повторно для забезпечення захисту здоров'я, підвищення продуктивності працівників, раціонального використання природних ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля. Іншими словами, процес зеленого будівництва враховує екологічні аспекти на кожному етапі будівництва, зосереджуючись на етапах проектування, будівництва, експлуатації та технічного обслуговування. Цей процес охоплює ефективність проектування, енергоефективність, використання ресурсів та вплив будівлі на довкілля, враховуючи якість приміщення та обслуговування власників будівель.

Основні аспекти зеленої будівлі включають проекти, спрямовані на збереження дерев, будівництво на місці утримання/інфільтрації зливової води та орієнтацію будівлі для максимізації сонячної енергії. Надалі будуть розглянуті фактори, які враховуються у концепції "зеленого" будівництва:

1) Ефективне використання ресурсів в зеленому будівництві:

Успішність зеленого будівництва визначається інтеграцією та впровадженням концепцій на етапі проектування, коли вирішується, які

матеріали, продукти та системи будуть використовуватися. Створення конструкцій, які ефективно використовують ресурси та використовують матеріали, які зберігають ресурси, може оптимізувати використання природних ресурсів. Наприклад, вироби з дерева можуть сприяти оптимізації ресурсів, використовуючи матеріали, з яких понад 50% перетворюються на структурну деревину, а не використовуються типові деревини. Проте потрібно уважно зважити на вартість виробництва таких продуктів та кількість енергії, витраченої під час процесу виготовлення, для вибору оптимального варіанту.

2) Мінімізація відходів на будівельних майданчиках:

Однією з ключових мет цілісного зеленого будівництва є зменшення обсягу відходів на будівельних майданчиках. Все ще існують залишки матеріалів після завершення будівельного процесу. Ефективне використання будівельних відходів допомагає зменшити обсяг сміття на полігоні. Це досягається за допомогою управління відходами від будівельного процесу та використанням переробних підприємств та вторинних ринків сировини. Такий підхід може зменшити кількість будівельних відходів принаймні на дві третини, створити потенційні економії для будівельників та розгрузити звалище.

3) Енергоефективність як пріоритет зеленого будівництва:

В більшості програм зеленого будівництва великий акцент приділяється енергоефективності. Залучення комплексного системного підходу при врахуванні цього аспекту дозволяє не лише отримувати позитивні результати, але й зменшувати витрати на споживання енергії. Важливо правильно обирати вікна, герметизувати повітряну оболонку будівлі, коректно розміщувати повітряні та пароізоляційні бар'єри, а також використовувати системи опалення/охолодження на сонячній енергії для досягнення максимальної енергоефективності будівлі. Такий підхід сприяє забезпеченню сталого та раціонального використання енергії, що є ключовим аспектом зеленого будівництва.

4) Ефективне використання води в зелених будівлях:

Зелені будівлі акцентують увагу на технологіях, які зберігають воду як усередині приміщень, так і на відкритих територіях. Впровадження більш ефективних систем водопостачання у приміщеннях та ландшафтних зонах може сприяти уникненню зайвого використання цінних водних ресурсів. Використання різних режимів змиву ванних кімнат (застосовано в готелі The Tea Factory на Шрі-Ланці) є прикладом, який дозволяє зекономити воду в приміщенні. Недавні дослідження та практика вказують, що природні процеси можуть ефективно фільтрувати та очищати зливові та стічні води для їх подальшого використання, наприклад, для поливу.

5) Якість внутрішнього середовища:

Збільшення випадків захворювань дихальних шляхів та алергій, пов'язаних з використанням хімічних речовин, що видаляють токсичні речовини, робить актуальною турботу про якість повітря усередині будівель. Концепція "зеленого" будівництва включає заходи, спрямовані на зменшення можливих забруднень, зокрема, контроль викидів та фільтрація забруднювачів.

б) Експлуатація, технічне обслуговування та екологічна свідомість власників будівель:

Правильне технічне обслуговування є ключовим елементом для збереження екологічно чистого будинку, створеного зусиллями проектувальників та підрядників. Заохочення власників використовувати екологічно чисті продукти та системи при технічному обслуговуванні будинків, а також забезпечення їм ефективних інструкцій з експлуатації та технічного обслуговування, сприятиме розвитку екологічного будівництва.

Протягом останніх 30-40 років свідчили від гострого впливу глобального потепління, руйнівного виснаження озонового шару, виснаження природних ресурсів, енергетичного дефіциту та інших негативних явищ. Ці виклики спонукали людство переглянути свій спосіб життя на планеті. Хоча повний уникнення впливу на навколишнє середовище неможливе, зелені будівлі

націлені на мінімізацію цього впливу. Важливо підкреслити, що зелені будівлі не лише сприяють сталому будівництву та охороні навколишнього середовища, але й приносять численні переваги власникам і користувачам. Ці переваги включають зниження витрат на розробку, оптимізацію експлуатаційних витрат, поліпшення комфорту, покращення якості повітря в приміщенні, подовження терміну служби будівель і зменшення витрат на їх обслуговування.

Невизначеність у застосуванні концепції зеленого будівництва. Навіть при існуючих настановах щодо впровадження концепцій зеленого будівництва виникає багато невизначеностей і викликів, що ускладнюють успішну їх реалізацію. Однією з ключових проблем є обмежена доступність загальних даних про виробничі процеси, які б документували споживання енергії, вплив на природні ресурси, викиди CO₂ для кожного будівельного матеріалу та інші аспекти. Таким чином, процес прийняття рішень у значній мірі ґрунтується на оцінці особистих та місцевих цінностей. Хоча дані, зібрані в рамках оцінок вартості життєвого циклу, можуть вирішити ці проблеми, цей інструмент все ще перебуває на етапі розвитку, і йому потрібен час для надання точних та вичерпних даних про будівельні матеріали, вироби та системи. У таблиці 1.1 подано порівняльні характеристики зеленого будівництва і традиційного будівництва.

Хоча у багатьох країнах концепція зеленого будівництва ще завжди вважається новизною, насправді ця технологія відома століттями. Протягом останнього десятиліття міська політика та будівельні норми у багатьох країнах світу призвели до збільшення популярності цього підходу, основним чином завдяки переконанню, що зелене будівництво відіграє ключову роль у відновленні довкілля в тих міських областях, де зростання міського населення призводить до значного погіршення міського клімату та збільшення енергоспоживання будівель.

До нещодавнього часу переваги цієї технології були більше якісного характеру, а не кількісного, і їх порівнювали з перевагами природних зелених об'єктів. Однак останнє десятиліття принесло значний науковий прогрес, і тепер маємо важливі дані, отримані внаслідок численних досліджень у різних галузях науки. Ці дослідження дали можливість якісно та кількісно оцінити ефективність зеленого будівництва, використовуючи математичний або експериментальний підхід.

Останнім часом було представлено ряд комп'ютерних моделей, які, очікується, сприятимуть більш швидкому та ефективному впровадженню зелених технологій у будівництво.

Таблиця 1.1 - Порівняльні характеристики традиційного та зеленого будівництва

| Показники | Зелене будівництво | Традиційне будівництво |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Споживання електроенергії | Низьке | Високе |
| Якість середовища в приміщенні | Дуже висока | Висока |
| Рівень викидів | Низький | Високий |
| Система управління відходами | Високоєфективна | Ефективна |
| Будівельні матеріали | «Дружні» до оточуючого середовища | «Не дружні» до оточуючого середовища |
| Проектні практики | Складні | Нормальні |
| Здійсненність | >5% ніж порогова величина | Порогова величина |

1.2 Загальна характеристика енергоефективних будівель та історія їх світового розвитку

Енергоефективні будинки як новий напрям у будівництві з'явилися після світової енергетичної кривої 1974 року. З перших експериментальних проєктів вони перетворилися в реальні енергоефективні будівельні об'єкти, як синтез архітектурно-планувальних, конструкторських, інженерних рішень, спрямованих на зниження використаних енергоресурсів без втрати їхньої надійності та комфортності.

Накопичений досвід проєктування і будівництва енергоефективних будівель свідчить про те, що енергоефективність не статична характеристика, що задана на стадії проєктування, а динамічна, яка формується протягом усього життєвого циклу будівлі.

Поняття "енергоефективний будинок" існує, у теорії і практиці будівництва 50 років, і протягом цього періоду часу не втрачається інтерес до даних будинків, а проблема забезпечення енергетичної ефективності є сучасною і актуальною. За цей час окрім поняття "енергоефективний будинок" з'явилися такі як "пасивні будинки", "енергоактивні будинки", "нульові будинки", "будинки високих технологій" і т.п.

Перша енергоефективна будівля була побудована в штаті Нью-Хемпшир (США) у 1972 році (рис. 1.1).

Енергетичну ефективність будівлі формували наступні фактори:

- мінімальна площа поверхні будинку (куб);
- невелика площа скління (10%);
- світлофарбована покрівля (низький коефіцієнт поглинання сонячної радіації);
- не засклена північна сторона;
- вертикальні й горизонтальні сонцезахисні пристрої для вікон.



Рисунок 1.1 – Перша енергоефективна будівля , США, Нью-Хемпшир

Перші пілотні проекти енергоефективних будинків були реалізовані у північних країнах з холодним кліматом (Фінляндія, Канада, Швеція та ш). де питання опалення будинків, збереження накопиченого тепла гостро постають протягом тривалого опалювального періоду. Так. інноваційний енергоощадний будинок "EKONO-house" був побудовано у м. Отаніємі біля Гельсінкі (Фінляндія) у 1973 р. (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Енергоефективна будівля "EKONO-house", Фінляндія

Енергетичну ефективність цього будинку формували наступні фактори:

- ефективне використання внутрішнього обсягу, що полягає в модульній системі конструювання (розташування ліфтів, санвузлів і вентканалів у центрі будинку як опорний вузол),

- огорожувальні конструкції з підвищеною теплоємністю за рахунок улаштування циліндричних коаксіальних воздуховодів й ущільненням притворів для зменшення інфільтраційних тепловтрат;

- використання тепловиделень від людей, побутових приладів і устаткування;

- порожні плити перекриття, що забезпечують додаткові поверхні для передачі огорожувальним конструкціям, тепла від рециркуляційного повітря:

- вентильовані вікна: використання щілин для проходження повітря, нагрівання вікон узимку і охолодження їх улітку;

- сонячні колектори, що збирають тепло від сонячної радіації і передають у теплообмінник, з наступним акумулюванням його в основі будинку, що служить акумулятором тепла:

- система повітряного опалення, сполученого а вентиляцією, з автоматичним додаванням необхідної кількості зовнішнього повітря до рециркуляційного;

- енергозберігаюча система освітлення з автоматичним регулюванням рівня освітленості а урахуванням природної інсоляції:

- Енергетична ефективність будинків може бути досягнута і у процесі їх реконструкції. Прикладом є реконструкція багатоквартирного житлового будинку в м. Копенгаген (Данія) (рис.1.3).

Енергетичну ефективність будинку характеризують такі фактори:

- заміна вікон на нові конструкції з підвищеними теплозахисними властивостями;

- додаткова теплоізоляція зовнішній огорожувальних конструкцій і горища:



Рисунок 1.3 – Енергоефективний будинок після реконструкції, Данія

- влаштування механічної системи вентиляції з рекуперацією тепла з коефіцієнтом ефективності 80% і низьким споживанням енергії (30-35 Вт на квартиру);

- застосування конструкції так званих "сонячних стін" на південному фасаді будинку для попереднього підігріву припливного повітря системи вентиляції;

- використання сонячних колекторів для гарячого водопостачання. вмонтованих у дах: площею 138 м² з орієнтацією на південь. 50 м² з орієнтацією на схід і 50 м² з орієнтацією на захід;

- використання низькотемпературних радіаторів для опалення:

- використання систем контролю и керування.

З накопиченням досвіду проектування, будівництва, експлуатації і реконструкції будинків до досягнення певного рівня енергоефективності було розпочато будівництво цілих мікрорайонів. Прикладом може слугувати будівництво енергоефективного району Eco-Viikki - університетський кампус та дослідницький центр біотехнологій Технологічного університету у передмісті Гельсінкі (Фінляндія) (рис.1 .4).



Рисунок 1.4 – Район Есо-Viikki, Фінляндія

Енергетичну ефективність мікрорайону формував наступний комплекс факторів:

- врахування місцевих кліматичних особливостей (орієнтація будинку на південь для максимального використання сонячної радіації конфігурація зі зменшенням впливу вітрових потоків):

- використання тепла "сірих стоків" для напольной системи тепlopостачання і низькотемпературних опалювальних систем:

- індивідуальна механічна вентиляція з утилізацією тепла для кожної квартири;

- підвищення ефективності систем природної вентиляції за рахунок спеціальної конструкції дефлекторів, вентиляція приміщень попередньо підігрітим повітрям:

- використання сонячних колекторів, підключених до магістралей гарячої води;

- індивідуальний контроль температури у кожному приміщенні;

- підвищений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій,

- установка фотоелектричних панелей;

- збір дощової води, роздільний облік гарячої і холодної води;

Сучасні енергоефективні будинки є символами досягнень науки.

Видатний британський архітектор - проєктувальник унікальних енергоефективних будинків Форман Фостер. створив декілька десятків унікальних будинків в усьому світі. Ного будинки засновані на принципах стійкого розвитку середовища життєдіяльності людини, коли ресурси споживання витрачаються розумно, зберігаючи планету⁷ для майбутніх поколінь

Так у Німеччині в 1997 році був побудований спроектований Н. Фостером будинок-хмарочос "Commerzbank" висотою 254 метра та площею 85000 м². Будинок побудований за принципами синтезу екології і енергозбереження (рис.1.5).

Енергетичну ефективність хмарочоса "Commerzbank" формував наступний комплекс факторів:

- форма будинку це трикутник з округленими вершинами й опуклими сторонами з атріумом у центральній частині, що є частиною внутрішньої системи вентиляції:

- система зимових садів, що розташовані по спіралі також є системою вентиляції і екології:



Рисунок 1.5 – Будівля "Commerzbank", Німеччина

- двошарові світлопрозорі огорожувальні конструкції а герметичними подвійними склопакетами, заповненими інертним газом:

- природна вентиляція будинку, яка доповнюється, за необхідності, механічною вентиляцією:

- система кліматизації будинку з утилізацією тепла видаленого повітря:

- охолоджувані теплоізоляційні покриття із замоноличеними трубопроводами:

- конвектори для обігріву приміщень офісів:

- енергозберігаюче санітарне устаткування.

У Лондоні побудована 180-метрова вежа "Мері-Екс", яка стала першим екологічним хмарочосом: завдяки сонячним батареям, вона споживає вдвічі менше енергії, чим інші подібні будинки (рис. 1.6.).

Прикладом обґрунтованого вибору архітектурної форми та орієнтації будівлі і урахуванням спрямованого впливу сонячної радіації є унікальна будівля мерії Лондона (Сіті-Хол) (рис.1.7). Незвичайна форма будівлі визначається енергетичним впливом зовнішнього середовища на оболонку будівлі та дозволяє найкращим чином використовувати позитивний і максимально нейтралізувати негативний його вплив на енергетичний баланс будівлі. Для визначення форми, орієнтації та розмірів будинку

використовувалися методи комп'ютерного моделювання. Були побудовані математичні моделі навантаження на систему кліматизації в літній та зимовий період з урахуванням теплових втрат і теплових надходжень через оболонку будівлі. Аналіз даних моделей дозволив визначити оптимальну форму будівлі.



Рисунок 1.6 – Башня Мері-Екс, Лондон

Розрахунки дозволили вибрати форму, орієнтацію і розмір будівлі, площу і розташування світлопрозорих огорожувальних конструкцій, які дали можливість у теплий період року мінімізувати вплив сонячної радіації на оболонку будівлі і з низ кін виграш на його охолодження. Мінімізація потреби в охолодженні будівлі в літній період дозволила, в свою чергу, відмовитися від традиційної системи кондиціонування повітря

- для охолодження використовуються ґрунтові води з відносно низькою температурою.

Як й інші проекти Н.Фостера, вежу Херста відрізняє висока екологічність. На будівництво 46-поверхового хмарочоса було використано 85 % переробленої сталі, системи опалення будинку використовують зовнішнє

повітря для вентиляції дощова вода застосовується для поливу рослин, а величезні вікна дозволяють споживати менше електроенергії (рис.1.8)

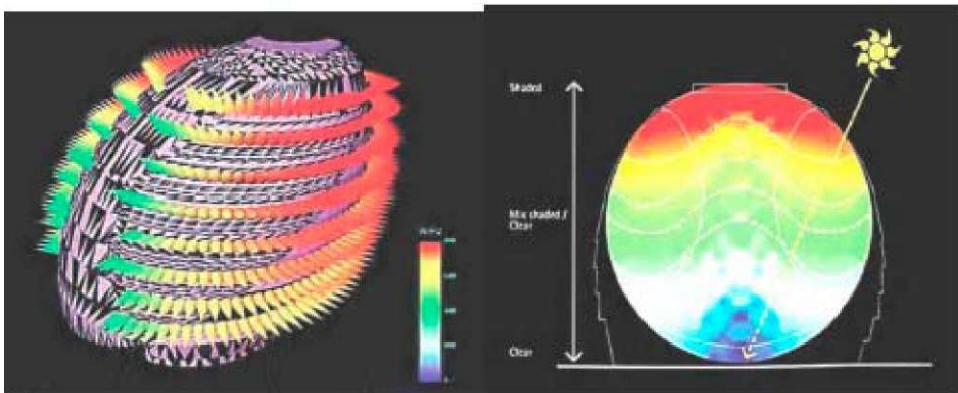


Рисунок 1.7 – Будівля Сіті-Хол та комп'ютерне моделюванні тепловитрат і теплових надходжень через оболонку будівлі

Односімейний сонячний будинок розташований в м. Каппельбордек, Німеччина цікавий тим, що знаходиться на широті першої кліматичної зони України що дозволяє застосувати аналогічні підходи та технології для будівництва енергоефективних будівель у нашій країні. У будинку застосовується активна, система сонячного опалення. На південному схилі

покрівлі розташовані плоскі сонячні колектори. З боків південного та північного скатів покрівлі розташовані фотоелектричні сонячні панелі.

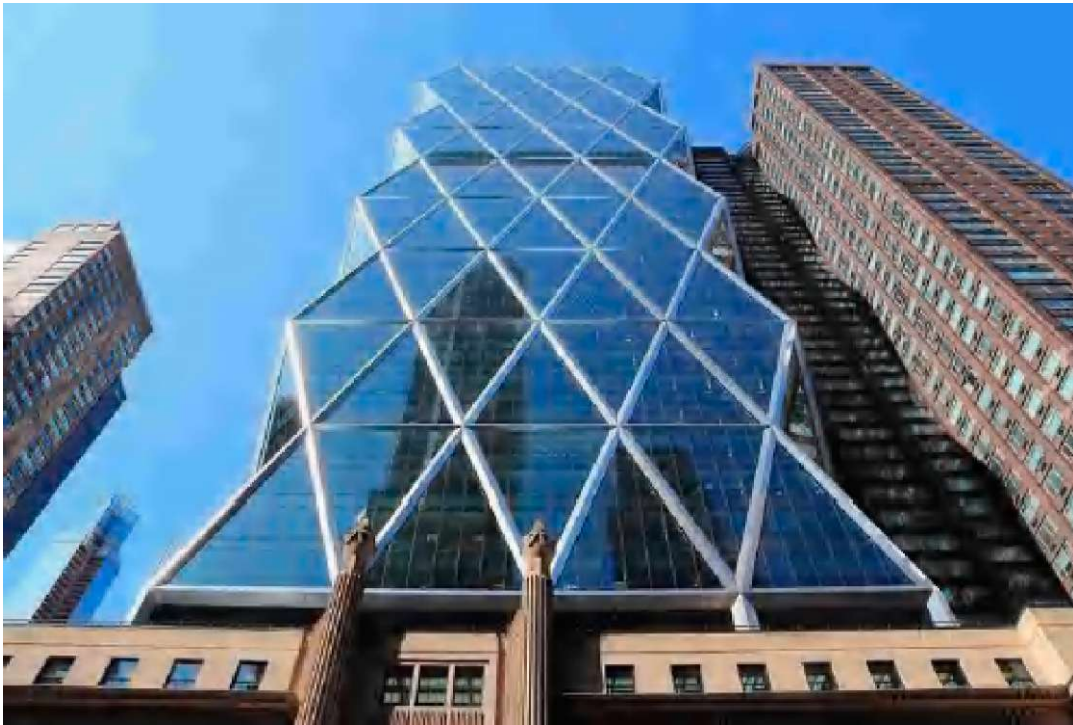


Рисунок 1.8 – Башня Херста, Нью-Йорк

Теплоізоляція зовнішніх стін і даху - перероблені волокна з деревини товщиною 30 см. Конструкції будинку з дерев'яних панелей. Особливістю цих панелей є здатність до гарного поглинання і вивільнення вологи через масивні дерев'яні стіни. Вікна- дерев'яні з потрійним склінням. Система вентиляції а рекуперацією тепла та енергозберігаючими вентиляторами. Грунтовий теплообмінник для гарячого водопостачання.

Таким чином, енергоефективні будинки за свою піввікову історію пройшли значил⁷ еволюцію від появи перших принципів утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, до повного синтезу з навколишнім середовищем, усвідомленню необхідності стійкого розвитку, гармонії з людиною, економії н ефективного використання всіх видів ресурсів.

Стає очевидним, що енергоефективні будинки повинні відповідати вимогам мінімальної витрати енергоресурсів не тільки на етапі проектування

але н у цілому протягом всього життєвого циклу, що містить у собі процеси проектування, будівельно-монтажних робіт, будівельного контролю, експлуатації і утилізації (демонтажу). При цьому енергоефективні будинки повинні відповідати нормативним вимогам безпеки й надійності, а також забезпечувати необхідний споживчий рівень комфортності при нормативних або менших витратах на енергоресурси на протяг усього життєвого циклу.



Рисунок 1.8 – «Сонячний будинок» м. Каппельродек, Німечинна

1.3 Перспективи розвитку «зеленого будівництва»

"Зеленим" вважається будівництво, яке дотримується перелік екологічних стандартів та норм на кожному етапі. Оцінка здійснюється за програмами сертифікації екологічного будівництва, на сьогодні їх розроблено кілька десятків, частина з яких затверджена на міжнародному рівні. У них

враховується стійкість довкілля до будівництва та експлуатації будівель, викиди шкідливих речовин, енергоефективність та інші важливі для екологічної безпеки параметри.

Мегаполіси та будівлі – одне з головних джерел забруднення навколишнього середовища. У будівлі надходять 40% енергії та виробленої сировини, 14% запасів питної води і понад 60% електрики, що виробляється. Половина ТПВ вивозиться з міських споруд, 35% викидів в атмосферу вуглекислого газу виходить із життєдіяльності міських будівель внаслідок експлуатації (рис.1.9).



Рисунок 1.9 – "Зелені будівлі"

Так, зелене будівництво дорожче. на 2-3%. А ось згодом при функціонуванні цього виду будівництва витрати скорочуються вдвічі. З огляду на це, забудовники в нашій країні починають стежити за технологіями зеленого будівництва, адже багато хто з них підтримує будинки. Схема, в

якій стосунки із забудовником припинялися одразу після продажу будівель, морально застаріває, тому “зелене” будівництво незабаром почне прогресувати (рис.1.10).

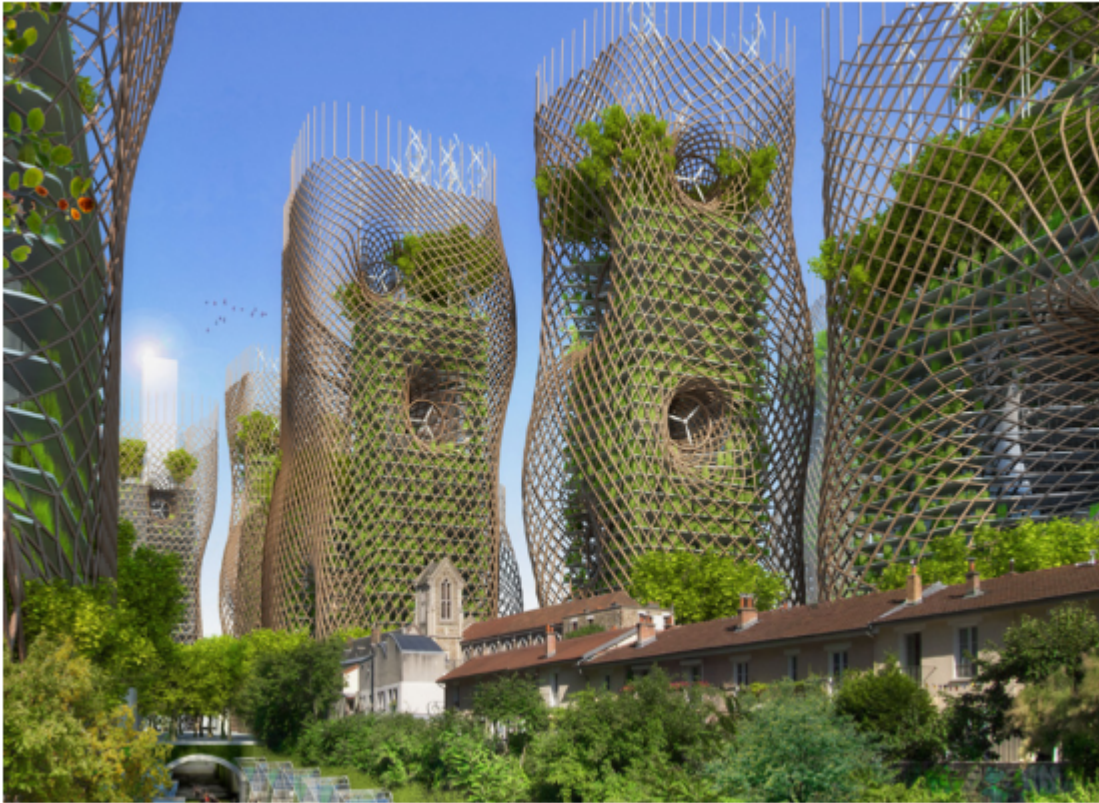


Рисунок 1.10 – Будівлі майбутнього

Понад 10 років обговорюється перспектива глобального потепління та екологічної катастрофи Землі. Екологічно свідомі підприємства переходять нові стандарти роботи, екостандарти впроваджуються й у сферу будівництва, експлуатації будинків. До того ж, екобудівництво розвиває бізнес, науку, стимулює винахід та виробництво екологічно чистих будівельних матеріалів, нових методів енергоефективності, скорочення викидів шкідливих речовин. У країнах СНД тенденція слабша, ніж у Європі та Штатах, проте інвестори починають виявляти зацікавленість тематикою “зеленого” будівництва. Необов'язково мислити настільки глобально і засмучуватися, адже зелене

будівництво тією чи іншою мірою доступне кожному під час зведення та експлуатації власного будинку.

Екологічні переваги:

1. Грамотне використання та економія ресурсів. Пріоритет стандартів “зеленого” будівництва – ресурсоефективні матеріали та конструкції. Наприклад, при виборі деревини, розраховується кількість ресурсів, які споживаються при виготовленні продукту, кількість вихідного природного матеріалу.

2. Скорочення відходів у процесі будівництва. Будь-яке будівництво передбачає відходи, але в "зеленому" будівництві сміття відправляється на переробку, а не йде на звалище, запобігаючи забрудненню довкілля залишками будівельних матеріалів.

3. Енергоекономія. Проектується теплоізоляція, вентиляція, кондиціонування, опалювальна система та герметизація. За рахунок цього також підвищується комфорт під час експлуатації будівель.

4. Зниження використання води. Багато "зелених" концепцій передбачають ефективні системи водної подачі, очищення води з каналізації для поливу, збирання дощової води. Для будівництва "зелених" будівель вибирається невибагливий до поливу ґрунт і рослинність, здатна утримувати вологу.

5. Контроль якості повітря. Для профілактики алергічних захворювань та ГРВІ при проектуванні планують системи, за допомогою яких можна зменшити забруднення повітря, методи кондиціонування та фільтрації. Кондиціонування приватного будинку також можна здійснити відповідно до “зелених” стандартів. Наприклад, популярні у США та Європі “зелені дахи”. Влітку вони зберігають прохолодне повітря в будівлі, а взимку утримують тепло, таким чином економиться енергія для кондиціонування та опалення. До того ж це популярний прийом ландшафтного дизайну.

Економічна вигода.

На міжнародному рівні кількість "зелених" будинків та селищ зростає. Це пов'язано не лише з екологічними перевагами, а безпосередньо з економічною вигодою. Наприклад, в 2007 році в Англії будівельний ринок знаходився в стані застою, незважаючи на цю "зелену" будову розвивалося.

Досвід інших країн показує, що розвиток ринку гальмує брак знань у галузі "зеленого" будівництва. Більшість держав, у які сьогодні розвивається "зелене" будівництво, розпочинали роботу, контактуючи з популярними архітекторами, залучаючи дизайнерів, і лише після цього переходили до забудовників та рядових клієнтів. Серед державних проектів – олімпійські об'єкти, аеропорти, стадіони. До вимог до забудови таких об'єктів зміни вносилися на державному рівні, що стимулювало розвиток зеленого будівництва.

Серед конкретних економічних переваг виділимо такі.

- зниження споживання енергії на 25%; використання відновлюваних джерел енергії;
- зниження рівня споживання води на 30%;
- економія на обслуговуванні "зеленої" будівлі за рахунок оптимізації систем;
- скорочення відмов від оренди нерухомості;
- прискорена окупність оренди площ через попит на "зелені" приміщення.

За прогнозами експертів країн, які впроваджують "зелене" будівництво, у перспективі можна буде спостерігати скорочення страхових внесків за рахунок збереження здоров'я людей, які працюють і мешкають у таких приміщеннях.

Ряд європейських інвесторів розглядають будівництво звичних будівель як більш ризиковане та потребує відповідальності, порівняно із "зеленим". Принципи цього будівництва відповідають запланованому посиленню вимог екологічного законодавства у сфері вуглецевих викидів у довкілля (рис.1.11).



Рисунок 1.11 – Будівля із застосуванням технології «Зелене будівництво»

Соціальні аспекти.

- поліпшення якості життя за рахунок комфортних умов – якість повітря, тепло- та звукоізоляція;
- скорочення навантаження на інфраструктуру міста за рахунок зниження забруднення води, землі, повітря;
- баланс проектування міста завдяки будівництву житлових районів поряд із місцями зайнятості населення, школами, садами, медустановами.
- естетична привабливість "зелених" споруд.

Пріоритетні цілі зеленого будівництва

- скорочення шкідливого впливу будівництва на довкілля та живі організми за рахунок застосування інноваційних методів;
- винахід нових продуктів промисловості;
- зменшення навантаження на енергомережі у регіонах, концентрація на надійності їхньої роботи;

- збільшення кількості працівників, зайнятих інтелектуальною складовою бізнесу;

- економія на утриманні новозбудованих будівель.

Це цілі “зеленого” будівництва на кожному з етапів. Крім процесу будівництва, йдеться про проектування, експлуатацію, реконструкції, капремонт і навіть знесення.

Далі наведемо приклади запланованих до реалізації будівель із застосуванням технології «Зелене будівництво» .

1. The Diamond Lotus, Хошимін (В'єтнам)

Незвичайний житловий комплекс складатиметься із трьох 22-поверхових будівель, з'єднаних мостом-парком (рис.1.12). Дахи трьох будинків будуть об'єднані єдиним простором, який стане місцем відпочинку місцевих мешканців. Між будинками натягнуті мости з ефектним підсвічуванням вночі, а дахи перетворять на квітучий парк для прогулянок та занять спортом.



Рисунок 1.12 – Житловий комплекс The Diamond Lotus, Хошимін (В'єтнам)

В облаштуванні житлової зони архітектори теж зробили ставку на озеленення: фасади будівлі облагородять густими чагарниками бамбука, які створюватимуть тінь у спекотні дні. Творці проекту вважають, що їхнє дітище допоможе заповнити кількість зелені в мегаполісі, що росте, і прикрасить міський ландшафт.

2. La Tour des Cedres, Лозанна (Швейцарія)

Назва житлового хмарочоса перекладається як «Вежа кедрових дерев» або «Кедрова вежа» – саме кедр прикрасить фасад цього «зеленого» будинку (рис.1.13). Це дерево вибрали завдяки його довговічності та здатності витримувати перепади температури. Крім близько сотні кедрів, у будівлі висадять понад 20 тисяч рослин.



Рисунок 1.13 – Житловий комплекс La Tour des Cedres, Лозанна (Швейцарія)

Будівництво «Вежі кедрових дерев» мають завершити цього року. 36-поверхова будівля запланована як житловий будинок, де можна буде придбати апартаменти від трьох до шести кімнат. Крім того, тут будуть розташовані офісні приміщення, тренажерний зал та ресторан на даху.

3. Nanjing Green Towers, Нанкін (Китай)

Відомий італійський архітектор Стефано Боері спроектував копію свого міланського хмарочоса Bosco Verticale («Вертикальний ліс») (рис.1.14), відзначеного кількома міжнародними нагородами. Близнюк найкращої європейської будівлі за версією 2015 року, збудують у 8-мільйонному китайському Нанкіні та назвуть Nanjing Green Towers – «Зелені вежі Нанкіна». Забудовники висадять у будинках понад тисячу дерев місцевих сортів, а також понад 2,5 тисячі чагарників та інших рослин. Такий зелений сад здатний виробляти близько 60 кг кисню щодня.



Рисунок 1.14 – Житловий комплекс Nanjing Green Towers, Нанкін (Китай)

Комплекс складається з двох будівель заввишки 200 і 108 метрів, в основі яких закладено стилобат. У високій будівлі розташуються офіси, музей, школа зеленої архітектури та клуб. Другий будинок займе готель Hyatt з басейном на даху. У загальних поверхах основи обладнають магазини, ресторани, конференц-зали та інші громадські приміщення.

Будівництво завершили у 2018 році. Примітно, що після Нанкіна «Вертикальний ліс» планують збудувати і в інших мегаполісах Китаю.

4. Agora Garden, Тайпей (Тайвань)

Agora Garden – це незвичайна житлова будівля у вигляді спіралі (рис.1.15), що обертається, у будівництві якої використовують пасивні технології: природне освітлення, вентиляція приміщень, закачування дощової води та енергозберігаючі вікна. Електроенергію для будівлі вироблятимуть сонячні панелі, а зібрана дощова вода зрошуватиме сади мешканців, у яких вирощуватимуть фрукти та овочі.



Рисунок 1.15 – Житловий комплекс Agora Garden, Тайпей (Тайвань)

За проектом у будівлі висадять 23 тисячі дерев, які поглинатимуть 130 тонн вуглекислого газу на рік. Будівництво екологічного житлового комплексу завершили у вересні 2017 року.

5. The Tower, Дубай (Об'єднані Арабські Емірати)

The Tower обіцяє стати найвищим будинком у світі, побивши рекорд вежі Бурдж Халіфа в тому ж Дубаї. Дизайн вежі (рис.1.16) нагадує мінарет, вгадати в якому житловий будинок на перший погляд буде складно.



Рисунок 1.16 – Житловий комплекс The Tower, Дубай (Об'єднані Арабські Емірати)

Творці рекордного хмарочоса використовують сучасні екологічні технології, які дозволять підвищити енергоефективність та стійкість конструкції. Так, система водозбереження очищатиме зібраною дощовою водою фасад будівлі. За допомогою зелених насаджень планують збільшити захист від сонця. Родзинкою проекту стануть оглядові майданчики, з яких відкриється вид на місто та далеко за його межі. Один із таких майданчиків матиме огляд на всі боки світу, а два інших прикрасять сади, сконструйовані за принципом легендарних висячих садів Семіраміди. Завершити будівництво об'єкта вартістю мільярд доларів планують до 2024 року.

1.4 Перспективи зеленого будівництва у майбутньому відновленні України

Перетворення у сфері екологічного будівництва пройшло шлях від створення споруд із низьким рівнем енергоспоживання - не більше 60 кВт•год/(м²•рік) - через пасивні будинки - не більше 15 кВт•год/(м²•рік) - до будівель "нульового витрати" енергії - 0 кВт•год/(м²•рік) - та будинків з "позитивною енергією" або "активних будинків". Останні - це споруди, що завдяки встановленому інженерному обладнанню: сонячним батареям, колекторам, тепловим насосам, рекуператорам, ґрунтовим теплообмінникам і т. д. - виробляють більше енергії, ніж самі споживають. На сьогоднішній день нова версія директиви Європейського союзу про енергетичні характеристики будівель (EPBD Recast) передбачає, що всі нові будівлі в ЄС повинні бути зведені з практично "нульовими втратами" енергії, і планується широке використання енергії з відновлюваних джерел.

Україна вже прийняла та діє певні заходи для наближення до енергоефективності в будівництві. Це включає Закон "Про енергетичну

ефективність будівель" (2017 р.), ДБН В.2.6-31:2016 "Теплова ізоляція будівель" та інші.

Основним пріоритетом зеленого будівництва є опанування будівництва і експлуатація, яка не завдає шкоди навколишньому природному середовищу. Це досягається шляхом поєднання енергоефективності, екологічних і соціальних аспектів будівництва. У багатьох країнах світу зелене будівництво регулюється спеціально розробленими екологічними стандартами, такими як BREEAM (Великобританія), LEED (США) та DGNB (Німеччина).

Війна в Україні створила нові вимоги для будівельної галузі, і зараз ведеться багато дискусій про те, яке житло слід будувати. За нашою думкою, наразі актуально будівництво, яке відповідає зеленим стандартам. Завданнями "зеленого будівництва" є зменшення експлуатаційних витрат, зниження обсягів утворення відходів, підвищення ефективності утилізації, ефективне використання природних ресурсів, забезпечення безпеки та зменшення впливу на здоров'я людини, зменшення викидів парникових газів, попередження повеней та зсувів ґрунту, і збільшення частки відновлюваних джерел енергії при експлуатації та обслуговуванні споруд.

Максимально наблизити будівлю до стандартів зеленого будівництва допомагають сучасні технології. Наприклад, зелені конструкції, що є поєднанням будівельних конструкцій і рослин: зелені покрівлі (рис. 1.17), фасадні зелені блоки [1] (рис. 18), вертикальне озеленення (рис. 1.19), зелені парковки (рис.1.20), озеленення схилів (рис.1.21).

В результаті досліджень, проведених на кафедрі охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури, було виявлено, що зелені конструкції є перспективною енергоефективною технологією, оскільки:

1. Забезпечують додаткову теплоізоляцію [3].
2. Володіють охолоджувальним ефектом (1...3,5 К у *Lolium Perenne*, 1,2...4 К у *Parthenocissus*).



Рисунок 1.17 – Інверсійна «зелена покрівля» інтенсивного типу зі степовим фітоценозом

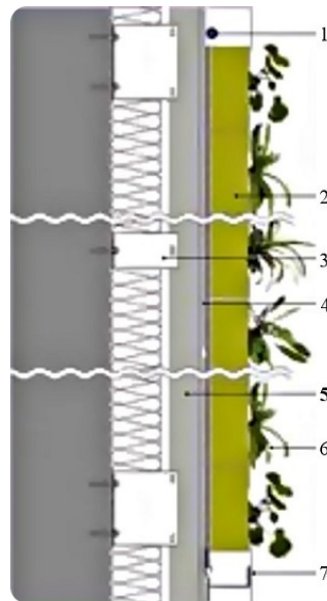


Рисунок 1.18 – Система фасадного озеленення Vertigreen від ZinCo:
 1 – система поливу; 2 – модуль вертикального озеленення;
 3 – кріплення; 4 – лист базової поверхні; 5 – алюмінієвий профіль; 6 –
 рослинний покрив; 7 – водоприймальний лоток



Рисунок 1.19 – Вертикальне озеленення фасаду ресторану “Боярін”,
м. Бровари

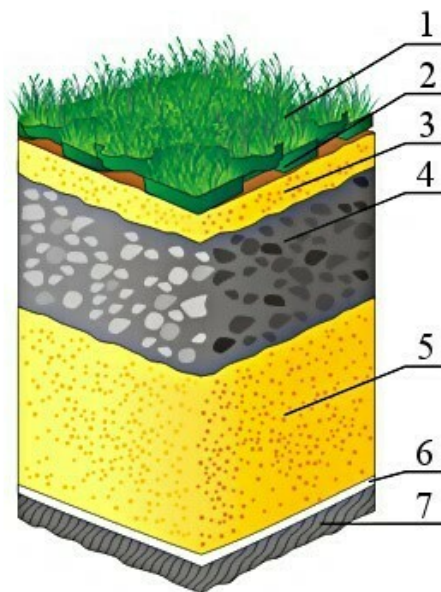


Рисунок 1.20 – Рис. 4 – Зелена парковка:

- 1 – родючий шар; 2 – газонна решітка;
3 – вирівнювальний піщаний шар; 4 – щебінь фракції 40-70 мм;
5 – піщане підґрунтя; 6 – геотекстиль; 7 — ґрунт

3. Сприяють відбиттю сонячної радіації та перетворенню її на біомасу, а не теплоту у теплий період року.

4. Формують автоматичний сонцезахист з пропусканням сонячної радіації у холодний період року [5,6].

Ці властивості допомагають зменшити навантаження на системи кондиціонування повітря та опалення.

Під час конфлікту з Російською Федерацією спостерігається неконтрольоване викид різноманітних забруднювачів, викликаний як безпосередньо вибухами боєприпасів, так і пожежами, які виникають внаслідок їхнього влучання. Особливо значний рівень забруднення спостерігається під час горіння складів палива, зокрема нафтобаз. Згідно з дослідженнями НАСА, рослини виявляють здатність поглиблювати забруднювачі як з атмосферного повітря, так і з внутрішнього повітря приміщень.

Умови військових дій супроводжуються постійним стресом, пов'язаним із загрозою життю та здоров'ю. Одним із важливих аспектів відновлення руйнівного житла є створення психологічного комфорту для мешканців. Забезпечення максимального наближення штучного середовища до природних умов є важливим аспектом досягнення цієї мети. Зелені конструкції, які використовуються як зовнішні так і внутрішні елементи, є ефективним засобом досягнення зазначеної мети.

Внаслідок військових операцій виникає значна кількість будівельного сміття, зокрема, битої червоної цегли. Цей матеріал може слугувати не лише для дренажу, але й як один із компонентів субстрату для зелених покрівель та ландшафтного дизайну.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ «ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА»

2.1 Концепція «зеленого будівництва» в рамках парадигми сталого розвитку

У сучасних умовах екологічні проблеми взаємодіють з економічними та мають загальний характер, що вимагає розробки нових інструментів для їх вирішення. Одним із таких інструментів є концепція "зеленого будівництва", яка вже здобуває популярність в країнах Європи і знаходить застосування в українському контексті.

Сучасний стан та тенденції розвитку економіки свідчать про наявність важливих та складних проблем, пов'язаних із застарілістю житлового фонду. Зростання питань, пов'язаних із високим енергоспоживанням будівель та порушенням мікроклімату всередині, вимагає вчених знаходити ефективні заходи для зменшення енергоспоживання та вирішення екологічних проблем на різних рівнях.

Сфера будівництва, яка має значний потенціал енергозбереження та є одним із основних споживачів енергоресурсів, стикається із завданням раціонального використання їх на етапах виробництва будівельних матеріалів та експлуатації готових будівельних об'єктів різного призначення.

У сучасних прикладних екологічних науках важливе місце займає концепція будівельної екології, що вивчає вплив будівництва на навколишнє середовище, а також взаємозв'язок факторів навколишнього середовища з функціонуванням будівель та конструкцій в оптимальних умовах для людини, забезпечуючи високу якість довкілля та комфортне проживання. Структура будівельної екології також була запропонована вченими (див. рис. 2.1).

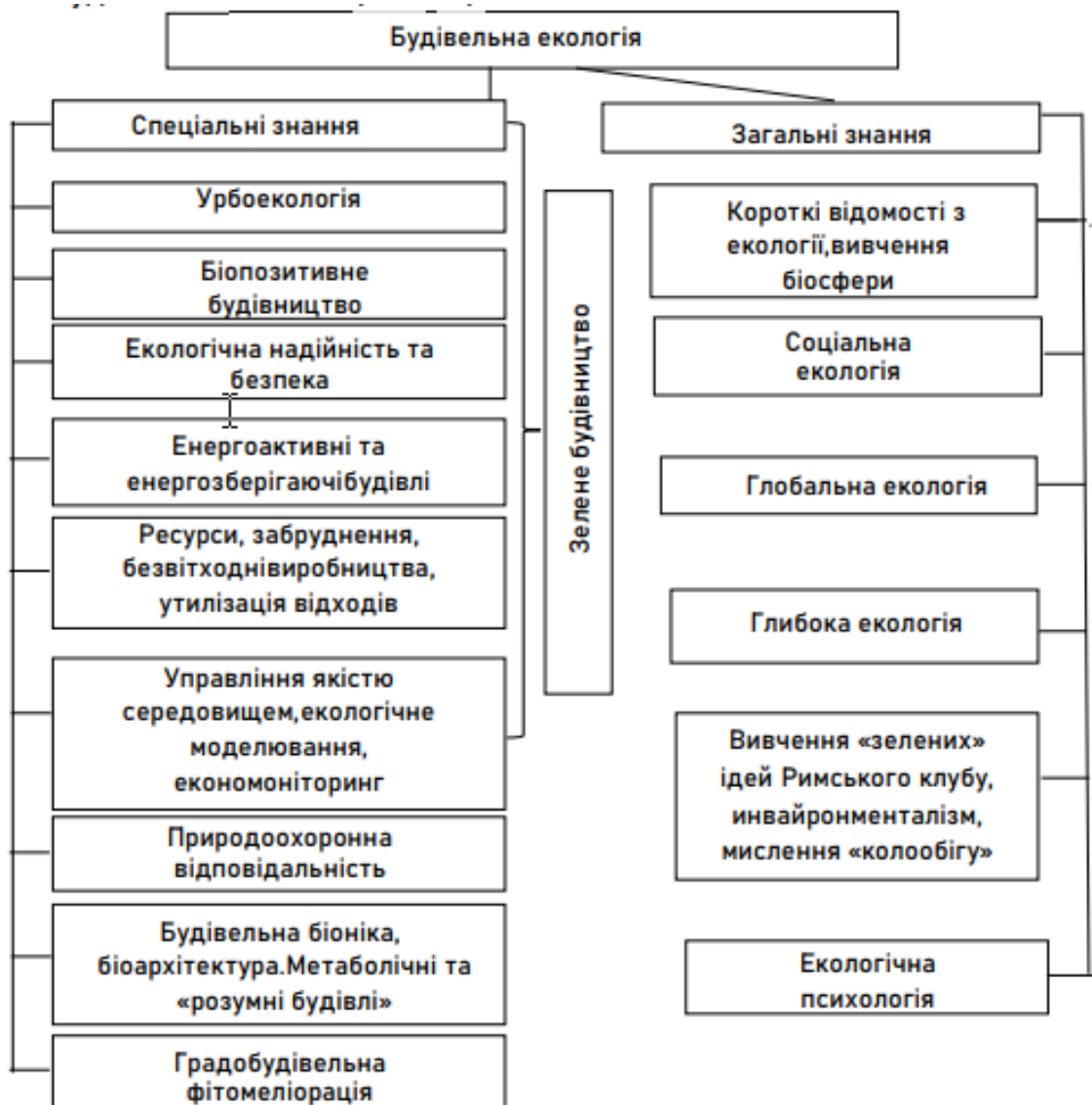


Рисунок 2.1 – Структура будівельної екології

Концепція зеленого будівництва представляє собою синтез різних компонентів будівельної екології, таких як урбоекологія, біопозитивне будівництво, екологічна надійність та безпека, енергоактивні та енергозберігаючі будівлі, раціональне використання ресурсів та ефективність утилізації відходів. За даними Ради зеленого будівництва (GBC), будівлі по всьому світу наразі використовують близько 40% усієї первинної енергії, 67% електроенергії, 40% сировини і 14% запасів питної води, спричиняючи при

цьому 35% викидів CO₂ та майже 50% твердих побутових відходів.

Прогнозується, що глобальне будівництво зросте на 6,6% у 2025 році та на 42% до 2030 року, збільшуючи ризик забруднення та накопичення відходів. У зв'язку з цим, будівельна галузь визнається ключовим сектором для скорочення глобальних викидів вуглецю на 60% до 2050 року, як визначено на Паризькій конференції ООН з питань клімату. Директива ЄС вимагає від країн-членів переходу до будівель з майже нульовим споживанням енергії, зокрема для нових житлових будівель з 31 грудня 2020 року та для громадських з 31 грудня 2018 року. Водночас, нова проблема виникає у формі великих енергетичних витрат під час виробництва будівельних матеріалів та їхнього транспортування, що формує 75% вуглецевого сліду за період функціонування будівлі. Зростання практики сталого будівництва зафіксоване, проте не вистачає швидкості. У 2020 році кількість сертифікатів "зелених" будівель зросла на 13,9%, а інвестиції в енергоефективність збільшилися на 11%. Однак цього виявляється недостатньо для досягнення цілей Паризької угоди. Прогнозується, що до 2030 року нові стійкі будівлі стануть інвестиційною можливістю у розмірі 24,7 трильйона доларів США лише на розвиваючихся ринках.

У світовому контексті виникло поняття "зеленого" будівництва, що також називається екологічним будівництвом, спрямоване на зменшення використання енергетичних і матеріальних ресурсів та на обмеження негативного впливу будівельної діяльності на навколишнє середовище та здоров'я людини [10]. У науковій спільноті використовуються декілька термінів, таких як "зелене будівництво", "екологічне будівництво", "стійке будівництво", "екодевелопмент", "стале будівництво", "енергоефективне будівництво", які мають схожий зміст [6]. Термін "зелене будівництво" виник у США та Європі в 70-х роках минулого століття як реакція на марнотратне використання енергоресурсів у будівельній сфері. Енергетична криза 1973-74 років, а також доповідь Римського клубу "Межі зростання" підкреслили

необхідність переосмислення підходів до використання природних ресурсів і зниження енергоспоживання в будівельній галузі [18].

Точно в той період були встановлені основи теперішньої концепції "сталого (екологічного й соціально збалансованого) розвитку". Конкретна реалізація цієї концепції включає в себе використання відновлюваних джерел енергії та практику "зеленого" будівництва. Відтоді ці напрями стали активно розвиватися, зокрема, у країнах Заходу. З поступовим, але невідворотнім вичерпанням розкритих родовищ традиційних енергоносіїв виникла потреба в освоєнні нових, що розташовані переважно в регіонах із суворим кліматом, що призвело до значного зростання витрат на видобуток палива більш ніж в три рази [20]. В умовах таких обставин різке підвищення глобальних цін на традиційні енергоносії, що сталося наприкінці 1970-х років, порушило питання про доцільність будівництва взагалі, оскільки витрати на утримання будівель стали перевищувати доходи від їхнього використання. У 1975 році з'явилися перші пілотні будівлі, що відрізнялися високою енергоефективністю, і до середини 90-х років провідні світові компанії у галузі експериментальних розробок почали впроваджувати їх у комерційну діяльність.

Отже, можна стверджувати, що концепція зеленого будівництва виникла недавно, проте активно розвивається і набуває популярності на всій планеті. Це стало відповіддю на нові технології та індустріальну діяльність, які призвели до погіршення екологічної ситуації. Зростаючий рівень забруднення навколишнього середовища по всьому світу, глобальне потепління та необхідність в більш екологічному використанні енергетичних ресурсів планети стали основними стимулами для розвитку зеленого будівництва. Зелене будівництво також означає будівництво та управління будівлями з меншим споживанням енергії та матеріалів на протязі їхнього життєвого циклу. Національне Агентство сталого розвитку визначає зелене будівництво як практику, що має на меті зниження рівня використання енергетичних і матеріальних ресурсів протягом усього життєвого циклу будівлі, забезпечення

або підвищення якості будівель та комфорту в їхньому внутрішньому середовищі. Головним завданням такого підходу є зменшення загального впливу будівлі на довкілля та здоров'я людей. Ця концепція розширює та доповнює традиційне будівельне проектування, враховуючи принципи економії, корисності, довговічності, екологічності та комфорту [13]. Перераховане визначення визначає основні принципи зеленого будівництва (див. рис.2.2).



Рисунок 2.2 – Головні принципи зеленого будівництва

Отже, основні принципи "зеленого" будівництва включають:

- оптимальний вибір місця, інтеграція будівлі в загальну інфраструктуру ландшафту, оточуючого середовища та транспорту;
- розташування вікон на південь для максимального використання сонячної енергії та природного світла;
- мінімізація споживання енергії, підвищення ефективності та застосування альтернативної енергії;
- поліпшення теплоізоляційних характеристик та безпечне використання ізоляційних матеріалів;
- використання зворотної вентиляції (перегрітого повітря повертається в систему опалення);
- використання невідомих, відновлюваних та переробних матеріалів;
- відданість місцевим матеріалам;
- використання безпечних автоматизованих систем опалення;
- ефективне використання та повторне використання води;
- поліпшення якості внутрішнього повітря;
- позитивний вплив на здоров'я та благополуччя людини;
- полегшення технічного обслуговування будівлі;
- зменшення кількості твердих відходів під час зносу та демонтажу будівлі;
- сприяння тривалому екологічному, економічному та соціальному розвитку.

Отже, основними завданнями зеленого будівництва є:

- підвищення ефективності використання природних та відновлюваних ресурсів, таких як сонце, вітер і вода;
- зменшення викидів газів, що спричиняють парниковий ефект;
- збільшення використання відновлювальних джерел енергії, таких як сонце, вітер і вода, у технологічному процесі та під час експлуатації житлових зелених будівель;

- зниження впливу на здоров'я людини протягом усього життєвого циклу будівлі за допомогою застосування новітніх, енергозберігаючих, природних та безпечних матеріалів;

- зменшення навантаження на енергетичні мережі за допомогою впровадження та використання відновлюваних джерел енергії;

- зменшення експлуатаційних витрат.

Давайте розглянемо переваги та цілі впровадження зеленого будівництва для різних господарських суб'єктів (рис. 2.3).

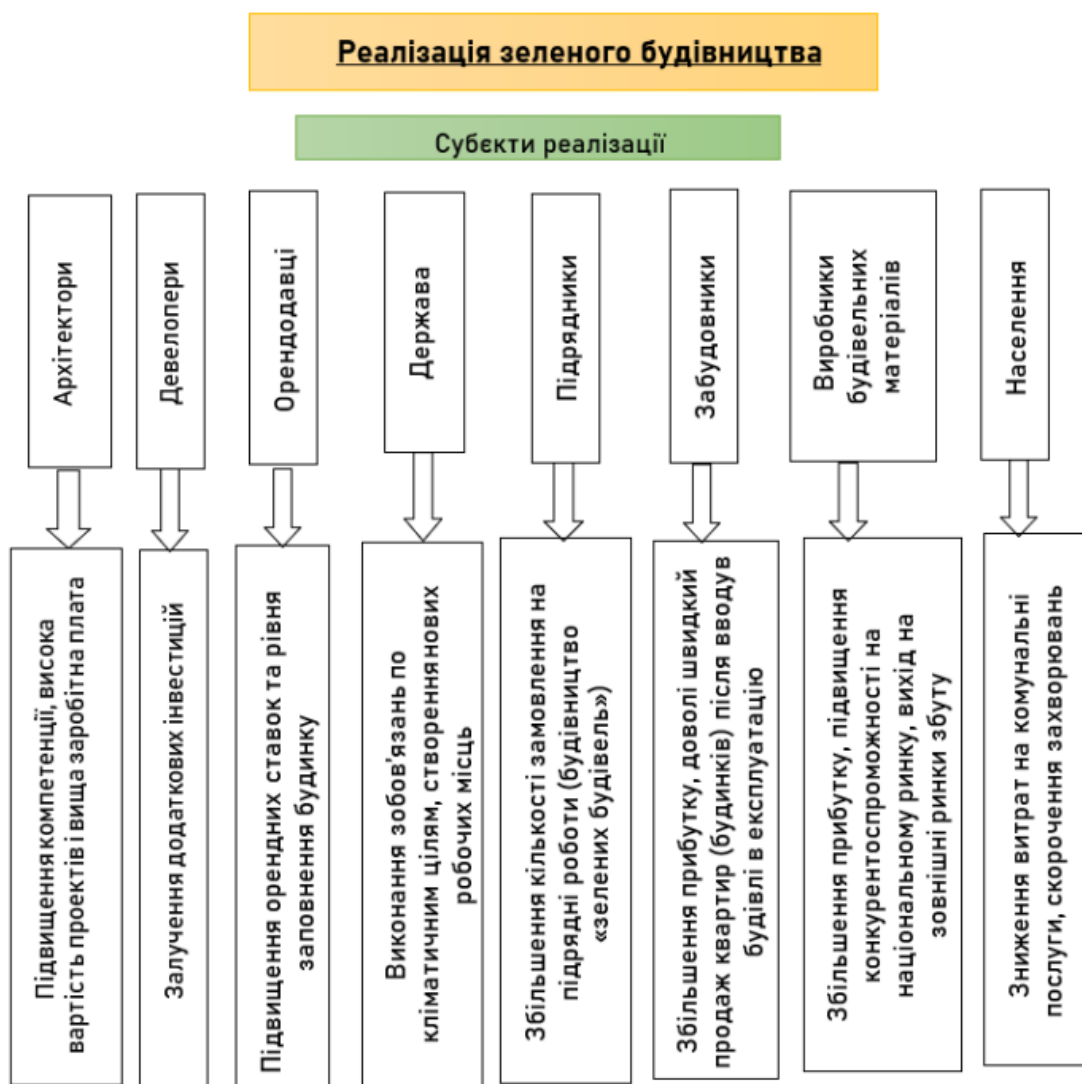


Рисунок 2.3 – Вигоди від реалізації зеленого будівництва для різних суб'єктів господарювання

Наприклад, архітектори отримують вигоди, зокрема, у підвищенні своєї кваліфікації та високій вартості зелених проектів, що, в свою чергу, призводить до збільшення їхніх доходів. Щодо підрядників та забудовників, вони отримують користь від впровадження та будівництва зелених будинків через збільшення обсягів замовлень на будівельні об'єкти та швидкий продаж квартир у зелених будівлях. Виробники будівельних матеріалів отримують переваги у вигляді збільшення прибутку, підвищення конкурентоспроможності на національному ринку та виходу на нові ринки збуту. Для держави впровадження зеленого будівництва приносить користь у виконанні зобов'язань з екологічних інвестицій (згідно з Кіотським протоколом і Паризькою Угодою), зменшенні рівня безробіття та створенні нових робочих місць. Для девелоперів це означає залучення додаткових інвестицій в країну та галузь. Орендодавці отримують переваги в підвищенні орендних ставок та рівня заповнення будівлі після її введення в експлуатацію. Населення виграє від впровадження зеленого будівництва через зниження витрат на комунальні послуги та зменшення захворюваності.

Зелене будівництво конкретизується у формі "зелених будівель". "Зелена будівля" або екологічно стійка споруда представляє собою результат філософії проектування, спрямованої на підвищення ефективного використання обмежених ресурсів, таких як земля, енергія, тепло, холод, вода і матеріали. Метою цієї філософії є зниження шкідливого впливу на здоров'я людей і мінімізація негативної дії на довкілля протягом усього життєвого циклу будівлі, починаючи з вибору ділянки і завершуючи зносом.

Важливо відзначити, що "зелене будівництво" або "зелені будівлі" - це практика будівництва і експлуатації будівель, спрямована передусім на зменшення рівня споживання енергетичних і матеріальних ресурсів протягом усього життєвого циклу будівлі, починаючи з вибору ділянки та завершуючи зносом. Ще однією важливою метою зеленого будівництва є збереження або підвищення якості будівель та комфорту їхнього внутрішнього середовища. Ці

концепції суттєво доповнюють традиційне будівництво та поняття економії, довговічності та комфорту.

Навіть при тому, що нові технології будівництва зелених будівель постійно змінюються та удосконалюються, основними цілями залишається скорочення загального впливу будівлі на довкілля та здоров'я людей, досягнуте за допомогою ефективного використання енергії, води та інших ресурсів, а також зменшення відходів, викидів і негативного впливу на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу будівлі. Крім того, екологічно стійкі будівлі є абсолютно рентабельними і не вимагають великих витрат на обслуговування, що сприяє економії грошових коштів.

Визначення "зелена будівля" охоплює всі етапи життєвого циклу споруди, включаючи проектування, будівництво, експлуатацію і знесення (демонтаж). Зелені будівлі раціонально використовують ресурси, оптимізуючи споживання енергії, води та матеріалів протягом всього життєвого циклу, що включає фазу будівництва. Дослідження зосереджене на етапах видобутку будівельних матеріалів і проводить детальну оцінку впливу, як безпосередньо, так і через ланцюг постачань матеріалів. Аналізується використання енергії та викиди шкідливих речовин, таких як CO₂, CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ і летючі органічні речовини. Інші аспекти включають управління твердими та рідкими відходами.

Описано дев'ять типів архітектурно-планувальних рішень, вкладених у концепцію зеленого будівництва:

1. Енергоефективна будівля з низьким або нульовим споживанням енергії (Zero-energy building): це споруда, яка володіє високою енергоефективністю і здатна виробляти енергію з використанням відновлювальних джерел. Якщо будівля генерує менше енергії, ніж їй потрібно для споживання, вона класифікується як будівля з майже нульовим споживанням енергії.

2. Пасивна будівля: це споруда, в якій використовуються енергозберігаючі матеріали і відновлювані джерела енергії. Це також відомо як

екобудинок, який генерує тепло пасивним методом, використовуючи внутрішні джерела тепла, такі як сонячна енергія, що потрапляє через вікна. Основною перевагою пасивних будівель є постійне циркулювання чистого і теплого свіжого повітря.

3. Біокліматична архітектура: це споруда з виразним використанням закслених просторів і природного освітлення. Це будівництво, де призначають клімат регіону, щоб забезпечити комфортні умови існування з мінімальним споживанням енергії та використанням екологічно чистих джерел енергії, таких як сонце, вітер і вода, для забезпечення енергозбереження при опаленні, охолодженні та освітленні.

4. Інтелектуальна або розумна будівля (smart home, digital house): Це будівля, де потоки світла і тепла в приміщеннях та конструкціях оптимізовані за допомогою програмування або штучного інтелекту. Зазвичай вони включають в себе високоякісне програмне забезпечення та операційну мультірум систему для централізованого керування всіма електроприладами будівлі з пульта-дисплею.

5. Будівля високих технологій (хай-тек будівля): Це споруда з передовими рішеннями в архітектурі, орієнтована на сучасні конструкції та матеріали.

6. Здорова будівля: Тут акцент робиться на використанні екологічно чистих природних будівельних матеріалів.

7. Життєпідтримуюча будівля з нульовим показником відходів життєдіяльності і з нульовим показником енерговитрат: Така споруда мінімізує відходи і витрати енергії на максимально можливому рівні.

8. Еколоутек: Це будівля, де використовуються природні місцеві матеріали, такі як дерево, глина, солома та інші.

9. Екофутуризм: Це новий напрям у будівництві, який передбачає використання штучних речовин, що не містять токсинів і можуть повністю впроваджуватися в безвідходні економічні цикли. Елементи будівлі після

закінчення експлуатації можуть розкладатися в ґрунті, або повторно використовуватися в нових виробничих ланцюжках.

Трансформація концепції зеленого будівництва пройшла від будівель із зниженим споживанням енергії (до 60 кВт·год/(м²·рік)), через пасивні будівлі (до 15 кВт·год/(м²·рік)), до будівель "нульової енергії" (0 кВт·год/(м²·рік)) та будівель "плюсової енергії" або "активних будівель". Останні можуть виробляти більше енергії, ніж вони споживають, завдяки встановленню сонячних батарей, колекторів, теплових насосів, рекуператорів, ґрунтових теплообмінників та іншого інженерного обладнання. Перегляд редакції директиви Євросоюзу щодо енергетичних характеристик будівель (EPBD Recast) визначає, що всі нові будівлі в ЄС будуються з майже "нульовими втратами" енергії, використовуючи енергію з відновлювальних джерел. Зелене будівництво вже внесло суттєвий вклад у досягнення багатьох з 17 цілей сталого розвитку, включаючи подолання голоду та сприяння розвитку мирних та інклюзивних суспільств.

Збереження здоров'я та покращення самопочуття належать до важливих аспектів. Відповідно до світової організації охорони здоров'я, захворювання легень і дихальних шляхів, пов'язані з низькою якістю повітря у приміщеннях, стали однією з п'ятих основних причин смертності. Ефективність зеленого будівництва, така як покращене освітлення, покращена якість повітря і наявність зелених насаджень, позитивно впливає на здоров'я та благополуччя. Цей підхід стає все більш актуальним у останні роки. Редукція викидів від будівель, особливо у міських зонах, може сприяти зменшенню забруднення та покращенню якості повітря, що, в свою чергу, сприяє поліпшенню здоров'я мешканців.

Найбільш доступна енергія - це та, яку ми економимо. Зменшення витрат енергії завдяки ефективним, екологічно чистим будівлям, чи то комерційними офісами, чи житловими будинками, часто розглядається як одна з основних переваг. Зелені будівлі також використовують енергію з відновлювальних

джерел, що може бути економічно вигідніше, ніж альтернативи, такі як дизельне паливо чи газ. Наприклад, Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) стверджує, що домашні сонячні системи в Африці можуть забезпечити домогосподарства електроенергією за 56 доларів на рік - набагато дешевше, ніж енергія від дизельного пального чи газу. Використання відновлювальної енергії також сприяє зменшенню викидів CO₂, що має позитивний вплив на екологію. Комбінація енергоефективності та місцевих відновлюваних джерел допомагає покращити енергетичну безпеку.

Також важливу роль відіграє промисловість, інновації та інфраструктура. Зелені будівлі повинні бути спроектовані з урахуванням їх стійкості та адаптивності до змін глобального клімату. Це особливо актуально для країн, що розвиваються, які є вразливими до наслідків змін клімату.

Мова йде не лише про нові будівлі, але й про проміжки між ними - інфраструктуру, яка повинна бути стійкою та стійкою до майбутніх ризиків. Звіт Нової кліматичної економіки вказує на необхідність інвестицій у світовий інфраструктурний сектор на суму 90 трильйонів доларів США протягом наступних 15 років для досягнення сталого розвитку з нульовим рівнем викидів парникових газів. Прагнення до будівель, що розширюють межі сталості, таких як будівлі з нульовими викидами, є суттєвим підштовхуванням для інновацій та технологічного прогресу.

Спрямованість на відповідальне споживання та виробництво фокусується на сприянні ефективному використанню ресурсів та енергії, розвинутій інфраструктурі та доступу до базових послуг та "зелених" робочих місць. Будівельний сектор відіграє ключову роль у запобіганні утворенню відходів через їх зменшення, вторинну обробку та повторне використання, віддзеркалюючи принципи "циркулярної економіки", де ресурси використовуються раціонально.

Клімат також визначає важливі аспекти: будівлі відповідають за понад 30% глобальних викидів парникових газів, ставши ключовим фактором в зміні клімату. Однак "зелені" будівлі мають великий потенціал в боротьбі з цим явищем, пропонуючи один із найбільш економічно вигідних способів за допомогою заходів, таких як підвищення енергоефективності. Наприклад, будівлі в Південній Африці, сертифіковані за програмою "Зелена зірка", річно економляють 336 мільйонів кілограмів вуглецевих викидів, що еквівалентно вилученню 84 000 автомобілів з доріг та допомагає зменшити наслідки зміни клімату.

На рис. 2.4 відзначено основні переваги зеленого будівництва та його можливі впливи. Таким чином, головними економічними перевагами впровадження зеленого будівництва та технологій є зниження вартості будівництва та збільшення попиту споживачів на зелені будинки на 35%. Застосування зеленого будівництва також призводить до скорочення експлуатаційних витрат на 13,6% порівняно з традиційними будівлями.

При будівництві зеленого будинку можна використовувати матеріали вторинної переробки та відходи від реконструкції старого будинку, що сприяє економії будівельних матеріалів. Серед екологічних переваг слід зауважити, що будівництво зеленого будинку з деревини може зменшити викиди CO₂ на 0,8 тонни.

Необхідно відзначити і соціальні переваги зеленого будівництва, зокрема високу продуктивність праці, що перевищує ту, яку можна спостерігати в звичайних будівлях. Будівництво зелених будинків може привести до економії коштів на закупівлю медичних засобів.

Важливо відзначити, що поняття "зелені" не обов'язково відноситься лише до новозбудованих будівель. Практично будь-яка будівля може бути піддана модернізації та уведенню екологічних технологій, які оптимізують енергоспоживання та зменшують негативний вплив на довкілля.

| |
|--|
| <p>Екологічні ефекти</p> <ul style="list-style-type: none"> - скорочення викидів CO₂ на 13.8 lbs/sf/year; - В процесі будівництва використання кубометра деревини економить всередньому 0,8 тон викидів CO₂. |
| <p>Економічні ефекти</p> <ul style="list-style-type: none"> • Збільшена поточна чиста виручка (наприклад, 3% премія на середній нормі орендного договору) та вартість активів власності (наприклад, 10% премії на комерційній цінності) може привести до більш низьких фінансових і страхових витрат; • Більшість «зелених будівель» дорожче від звичайних не більше ніж на 4 %, а в найближчому майбутньому застосування зелених технологій стане найефективнішим засобом для зниження собівартості будівництва; • збільшення попиту споживача на зелені будівлі на (35%) та ринкового попиту на (33%); • Зменшення експлуатаційних витрат на 13.6% для нової конструкції та на 8.5% для вже існуючої будівлі; • Більше 50% необхідної для побутових потреб гарячої води, яка нагрівається сонячними колекторами, надлишки якою перенаправляються в систему опалювання. Необхідний об'єм питної води скорочується на 26 000 м³ в рік; • Переробка і повторне використання 98% відходів, що залишилися від реконструкції старої будівлі. Більше 30 тонн таких непотрібних матеріалів задіяно в якості будівельних елементів для 15 000 м² інших будівель. |
| <p>Технологічні ефекти</p> <ul style="list-style-type: none"> - На 25 % знижується енергоспоживання, і відповідно досягається зменшення витрат на електроенергію; - Зменшення споживання води на 30 % закономірно приводить до значного зниження витрат на водопостачання; - На опалювання звичайного сімейного будинку в середньому витрачається 150 kWh/m². Для опалювання пасивного будинку такого ж об'єму, де комфортний клімат приміщень забезпечується мінімальним споживанням енергії - тільки 15 kWh/m²; - Розміщення 30 - 50% вікон з південної сторони будівлі надають додатково до 40% тепла в приміщенні; - Середнє значення КПО (коефіцієнта природного освітлення) в «Активному будинку» - 8,5%, що у багато разів перевищує мінімально встановлене значення в 0,5%. |
| <p>Соціальні ефекти</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Річна вартість витрат на лікарські засоби на одну людину, яка живе в «зеленій будівлі» нижче на \$675.26 ніж в звичайних; ○ Продуктивність праці працівників можна підвищити, знижуючи синдром нездорових будівель, тобто знижуючи рівень захворювань алергією, астмою, а також покращуючи умови праці. В даному випадку, якщо докілья в приміщеннях буде здоровішим і зручнішим для роботи, тов масштабах ЕС можна буде заощадити: ○ 3-6 мільярдів євро в рік, знизивши рівень захворювань астмою та алергією (на 8-25% знизяться витрати на медицину); ○ 5-45 мільярдів євро в рік, знизивши симптоми синдрому нездорових будівель (при зниженні на 20-25% симптомів синдрому нездорових будівель продуктивність праці підвищиться на 2%); ○ 30-240 мільярдів євро в рік, завдяки підвищенню продуктивності праці при поліпшенні умов праці (якщо на 0,5-5% підвищиться продуктивність праці |

Рисунок 2.4 – Система ефектів від зеленого будівництва

Науковцем Я.А. Рогачевою був розглянутий життєвий цикл об'єкта зеленого будівництва, який було розбито на 5 етапів: передінвестиційний етап, етап проектування, будівництво, експлуатація та утилізація будівлі. Особливий акцент у дослідженні робиться на утилізації будівельних відходів під час демонтажу існуючих конструкцій, що підкреслює принцип циркулярності життєвого циклу зеленої будівлі.

При розробці проекту зеленого будівництва враховується вплив будівлі на довкілля, зокрема, як вона гармонійно вписується в природний ландшафт, спрямовуючись на зниження негативного впливу будівництва на природне середовище. Зараз зелені будівлі становлять до 20% загальної кількості нових будівель в державах Євросоюзу, і ця кількість постійно зростає в розвинених країнах.

2.2 Екологічний аспект зеленого будівництва, як складової стратегії сталого розвитку

Цілі сталого розвитку нерозривно пов'язані із тріадою «екологія – економіка – соціум», що знайшло відображення у відомій концептуальній схемі, відомій як «весільний торт». Відповідно до цього підходу до екологічної сфери належать цілі 6, 13, 14 і 15, до економічної – 8, 9, 10 і 12, до соціальної – 1-5, 7, 11 і 16, а цілі сталого розвитку (ЦСР) 17 поєднує усі зусилля для досягнення зазначених цілей.

Пропонуємо розглядати роль зеленого будівництва у досягненні ЦСР за тією самою схемою, вирізняючи екологічні, економічні та соціальні його аспекти. І першими на порядку денному постають екологічні ЦСР.

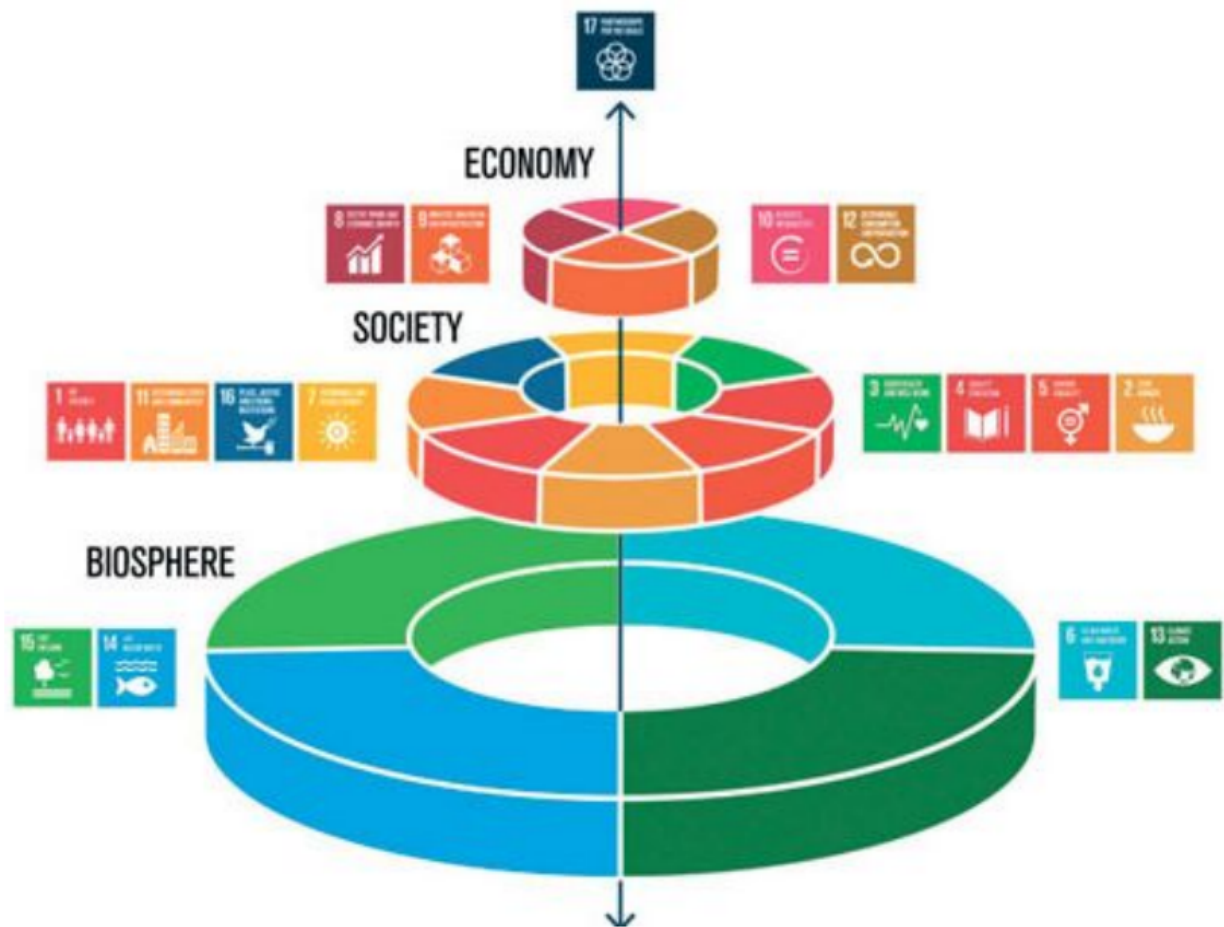


Рисунок 2.5 – Цілі зеленого будівництва

Ціль №14. Вирішення проблеми загрози для екосистеми.

Створення споруд – це одна з найдавніших практик, яка змінює природу для задоволення особистих потреб людини. Коли людина будує своє мешкання, вона втручається в природний ландшафт, вирубує ліси, розробляє кар'єри та каменярні, використовує водні ресурси для каналізації та інших потреб. Від самого виникнення будівництва цей процес призводить до значних зрушень у ґрунті, порушує рослинний покрив, впливає на флору та фауну (природа реагує відходженням тварин і птахів від місць видобутку будівельних матеріалів) та забруднює повітря та річки.

З історією будівництва пройшли зміни, нові проекти та технології, але екологічні втрати від будівельної діяльності лише наростали. У ХХ столітті будівництво вирізнялося високим рівнем інновацій, але вони були спрямовані переважно на економічне здешевлення. На кожному етапі будівництва, починаючи від очищення будівельної площі і закінчуючи демонтажем, відбувалися екологічні порушення. Руйнування рослинного покриву та родючого ґрунту, викиди від будівельного транспорту, розповсюдження будівельних матеріалів в повітрі, забруднення довкілля будівельними відходами під час будівництва та їхньої утилізації, великі енерговитрати під час експлуатації будівель — ці явища лише вершина айсберга проблем, які становлять серйозну загрозу для екосистеми планети.

За статистикою, на сучасний момент будівлі споживають близько 40% первинної енергії, 40% сировини, 67% електроенергії та майже 15% всесвітніх запасів питної води. Водночас вони віддають у навколишнє середовище понад 35% викидів вуглекислого газу на Землі і 50% усіх твердих відходів міської системи. Це однозначно свідчить про те, що така будівельна діяльність не відповідає принципам глобального співтовариства, яке прагне досягти сталого розвитку шляхом розумного балансу між екологічними, економічними та соціальними інтересами.

Зелене будівництво є новим стандартом, спрямованим на врахування всіх екологічних потреб з метою покращення якості життя та оточуючого середовища. Головною метою зеленого будівництва є збереження або підвищення якості будівель та комфорту їх внутрішнього середовища, а також досягнення енергозбереження та енергоефективності. Ця концепція розширює традиційне будівельне проектування, додаючи аспекти економії, корисності, довговічності та комфорту, і стає критичною частиною глобальних зусиль у справі охорони довкілля та боротьби зі зміною клімату.

Ціль №13. Вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками (рис.2.6).

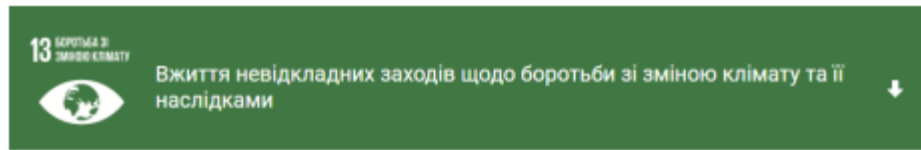


Рисунок 2.6 – Ціль №13

Як відомо, технічний прогрес виявився провокатором глобальних змін у кліматі. Людська технічна діяльність призвела до зростання концентрації парникових газів в атмосфері через надмірне спалювання палива, що призвело до постійного підвищення температури. Цікаво, що будівельний сектор відповідає за 35% всіх світових викидів парникових газів. В Європейських країнах вплив зміни клімату виявився найбільш помітним: згідно з доповіддю "Стан клімату в Європі" за 2021 рік, підготовленою моніторинговою організацією "Копернік" ЄС та Всесвітньою метеорологічною організацією ООН, температура в Європі зросла більш ніж удвічі за останні 30 років порівняно з глобальним середнім рівнем. Це призвело, по-перше, до втрати близько 30 метрів товщини альпійських льодовиків, що сприяло швидкому підняттю рівня моря. По-друге, глобальне потепління супроводжується збільшенням кількості та масштабів лісових пожеж в Європі, особливо в Середземномор'ї. Крім того, стають все більш поширеними та сильними шторми та повені.

Науковці вважають, що найбільш ефективним засобом протидії кліматичним змінам є безпосереднє зменшення викидів вуглецю та його еквівалентів. Для досягнення вуглецевої нейтральності важливо зосередитися на двох напрямках: перше - це зменшення енергоспоживання в будівлях, оскільки 75% викидів вуглецю пов'язані з опаленням, охолодженням та водопостачанням; друге - це зменшення викидів, пов'язаних з усім життєвим циклом будівлі (будівельний транспорт, матеріали, відходи та їхнє утилізація і т. д.). Важливо відзначити, що зелене будівництво досягло найбільших успіхів

у першому напрямку; завдяки зеленим технологіям та використанню відновлюваних джерел енергії вдалося зменшити споживання енергії та викиди від її використання на 35-40%, а в деяких випадках - навіть на 75-90%. Зменшення викидів вуглецю, які не пов'язані з енергозабезпеченням, зараз активно прослідковується за допомогою матеріалів, що поглинають вуглець, таких як солома, дерево та інше.

Ціль №6. Забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії (рис.2.7).

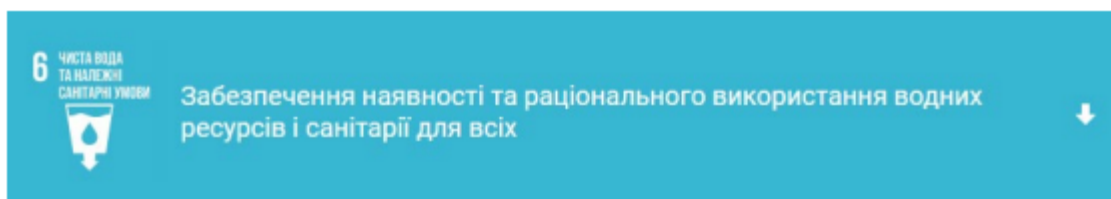


Рисунок 2.7 – Ціль №6

Невід'ємною складовою стратегії зеленого будівництва є впровадження системи зеленого водопостачання, яка націлена на ефективне використання та раціональне споживання водних ресурсів. Для цього в будівлях встановлюються санітарно-технічні пристрої, спрямовані на економію води, а також обладнуються лічильниками витрат води. Широко використовується збір та використання дощової води, яка, після фільтрації, збирається з даху в спеціальних резервуарах.

Повсюдно використовують також оброблені побутові стічні води, які перед повторним використанням проходять через системи очищення відповідно до стандартів з охорони здоров'я. У прибудинковій зоні функціонує мережа біологічних каналів, що включає фільтраційні пруди для обробки стічних вод та резервуари для поливу.

Ефективний метод для раціонального використання води - це дизайнерська тактика, відома як ксерискейпінг (від грецького "xeros" - сухий). Це концепція ландшафтного дизайну, яка значно зменшує або анулює потребу

в зрошенні. Застосовуються рослини, які природним чином адаптовані до місцевого клімату, і вживаються заходи для уникнення втрат води через випаровування та сток. Вибір конкретних рослин для ксерискейпінгу залежить від кліматичних умов в даному регіоні.

Ціль №15. Захист та відновлення екосистем сішу та сприяння їх раціональному використанню, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням, припинення і повернення назад процесу деградації земель та зупинку процесу втрати біорізноманіття.(рис.2.8).

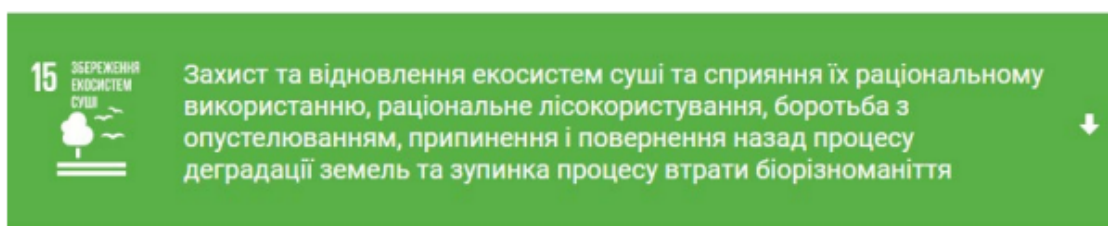


Рисунок 2.8 – Ціль №15

Будівництво, орієнтоване на збереження та раціональне використання природних ресурсів, відіграє ключову роль у збереженні біорізноманіття планети. На етапі проектування воно керується принципами збереження природного ландшафту та видового різноманіття, використовуючи зелені конструкції на дахах та фасадах, а також застосовуючи ксерискейпінг як тактику ландшафтного дизайну. Екологічні будівлі відіграють важливу роль у збереженні ґрунтового покриву в урбаністичному середовищі, використовуючи рослинні загорожі, які запобігають вивітрюванню та вимиванню родючого шару ґрунту. Таким чином, зелене будівництво, спрямоване на досягнення екологічних цілей сталого розвитку, вносить непосредственный вклад у просування екологізації людської діяльності.

2.3 Економічні цілі сталого розвитку та зелене будівництво

Роль зеленого будівництва у виконанні економічних завдань на шляху набуття стану сталого розвитку є ще більшою: воно є інструментом досягнення усіх чотирьох економічних ЦСР.

Ціль №12. Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва (рис.2.9).

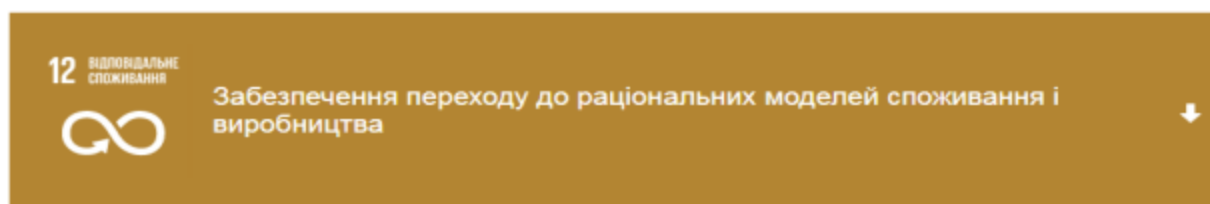


Рисунок 2.9 – Ціль №12

Зменшення використання енергетичних та матеріальних ресурсів на всіх етапах життєвого циклу будівель – від вибору ділянки та проектування до експлуатації, ремонтів та зносу – стає головною метою зеленого будівництва. Одним із ключових рішень щодо енергоефективності є створення будівель із «нульовим енергоспоживанням», яке досягається за допомогою різноманітних технологій виробництва енергії, у тому числі використання відновлюваних джерел енергії, та застосування енергоефективних рішень для споживаної енергії. В цьому випадку загальна кількість споживаної енергії в будівлі дорівнює кількості виробленої будівлею енергії, що й дає право називати це «нульовим енергоспоживанням». Хоча такі будівлі наразі не будуються масово (в сучасній практиці частіше зустрічаються «дома з близьким до нульового споживання енергії»), загальна тенденція вказує на те, що прагнення до нульового споживання енергії стає ключовим принципом зеленого будівництва.

Введення енергоефективності вже на етапі проектування вимагає відмови від традиційних підходів, дозволяючи максимально використовувати природні ресурси (сонячне та вітрове світло, тінь дерев) для освітлення, обігрівання чи охолодження приміщень. Такий підхід вимагає розгляду будівлі як єдиної енергетичної системи, де ефективність залежить від численних факторів, таких як клімат, місце розташування будівлі на ділянці, форма будівлі та скління. Серед інновацій, що сприяють досягненню енергетичної ефективності, можна виділити сонячні колодязі – систему з трубчастими світловодами, що вбудована в дах чи фасад будівлі, і використовується для доставки природного світла у приміщення, навіть у відсутність сонця. Використання сонячних колодязів може зменшити споживання енергії на освітлення до 40%. До інших методів підвищення енергоефективності приміщень входять білі підлогові покриття, прозорі чи напівпрозорі перегородки між приміщеннями та потрійне скління на південному фасаді, що сприяють природній інсоляції та зменшують необхідність у штучному освітленні.

Іншим аспектом відповідального використання енергії в рамках зеленого будівництва є реконструкція наявних будинків відповідно до енергоефективних стандартів. Заходи з модернізації споруд включають у себе удосконалення теплоізоляції (ізоляція фасадів, використання сучасних герметичних віконних пакетів, ліквідація теплових мостів та інше); встановлення ефективної системи вентиляції з рекуперацією тепла; інтеграцію відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі, теплові насоси, вітряки).

Щодо раціонального використання матеріальних ресурсів, можна виділити чотири ключові напрямки, які сприяють досягненню сталості. По-перше, це вибір матеріалів із низьким вмістом вуглецю, головним чином місцевого походження та з максимальною тривалістю використання. Це охоплює як природні матеріали (солома, природний камінь, глинобитна цегла, або земляні конструкції), так і штучні матеріали з низьким вмістом вуглецю (низьковуглецевий бетон, газобетонні блоки і т.д.). По-друге, вибір

конструкційних рішень, які зменшують обсяг використання вуглецемістких матеріалів, таких як бетон, залізобетон, алюміній та сталь. По-третє, вибір матеріалів повинен бути здійснений з урахуванням подальшої можливості демонтажу будівлі та використання або переробки окремих компонентів. Нарешті, широке впровадження збірних конструкцій під час будівництва чи реконструкції сприяє зменшенню кількості будівельних відходів та підвищує ефективність використання матеріалів [1, с. 22-23].

Ці дані підтверджують, що впровадження стандартів зеленого будівництва в практику є значущим елементом досягнення раціональної моделі використання, що є ключовою метою сталого розвитку.

Ціль №8. Сприяння поступальному, всеохопному і сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх(рис.2.10).

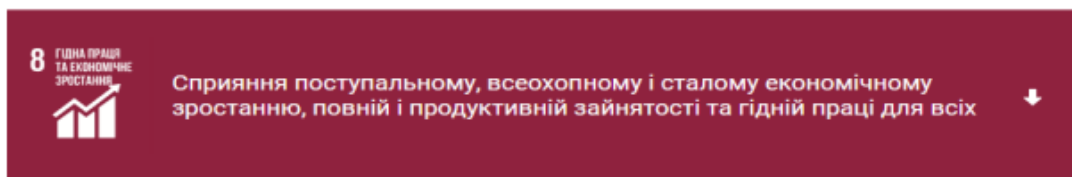


Рисунок 2.10 – Ціль №8

Зелене будівництво впливає на досягнення Цілі сталого розвитку №8 в різноманітних аспектах. Його відзначає велика економія коштів за рахунок раціонального використання енергетичних ресурсів, що відкриває можливості для інвестицій у новаторські ідеї та технології, сприяючи подальшому розвитку економіки. За даними Ради з екологічного будівництва США (USGBC), будівлі, які отримали екологічний сертифікат LEED, реалізують економію понад 1 мільярд доларів за рахунок енергозбереження та 715 мільйонів доларів на витратах на технічне обслуговування [6]. Крім того, у країнах, де зелене будівництво перебуває на підйомі, воно активно створює мільйони нових робочих місць та приносить мільярди доларів до валового внутрішнього продукту (ВВП).

Ціль №9. Створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохопній і сталій індустріалізації та інноваціям(рис.2.11).

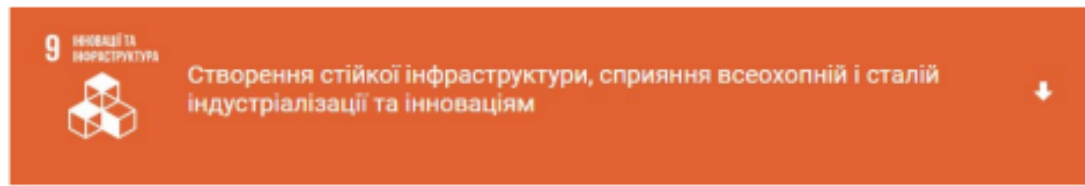


Рисунок 2.11 – Ціль №9

Будівельна сфера, піддавшись впливу зеленого будівництва, розвивається в напрямку стандартизації та прогресивного еколого-економічного росту. Заохочуючи інноваційні дослідження у сфері сталого будівництва, перевага приділяється екологічній безпеці, перевищуючи прагнення до економічної вигоди. Інформаційно-комунікативні технології стають важливим елементом у сучасному будівництві.

Проект INSPIRE є яскравим прикладом інноваційного співробітництва між науковцями та практиками в області зеленого будівництва. Цей проект спрямований на вирішення проблеми високого енергоспоживання у старих європейських будівлях. Науковці розробили комплекс реконструкційних заходів для різних кліматичних умов, що призвело до зменшення споживання енергії в будівлях до рівня менше 50 кВтг/м2/рік після реконструкції. Отримані дані та рішення для відновлення в конкретних ситуаціях внесено до онлайн-бази даних, яка доступна європейським архітекторам, інженерам та будівельникам, які займаються зеленим будівництвом.

Ціль №10. Скорочення нерівності всередині країн та між ними (рис.2.12).

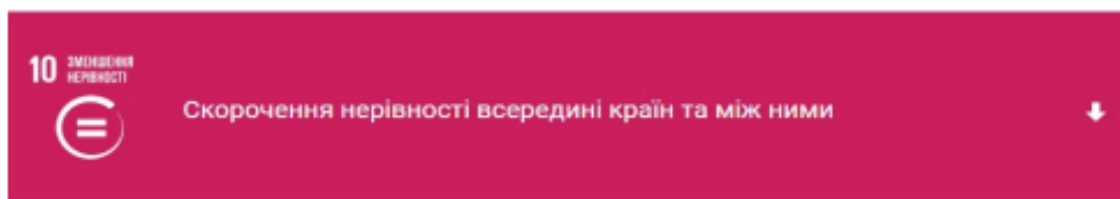


Рисунок 2.12 – Ціль №10

Екологічне будівництво на перший погляд може здаватися витратною справою порівняно з традиційними методами, що спричиняє соціальну нерівність та доступність лише для заможних верств суспільства. Проте переваги, які з'являються у процесі експлуатації зелених будинків, можуть компенсувати початкові витрати. Зменшення споживання енергії призводить до істотного зниження комунальних витрат, що стає суттєвою перевагою в сучасному світі. Це робить продукцію зеленого будівництва привабливою для всіх соціальних груп. Питання доступності для всіх верств населення може бути вирішено за умови співпраці між державними органами та фінансовими установами, які надають кредити малозабезпеченим групам для адаптації житла до стандартів зеленого будівництва.

Успішні приклади впровадження цієї стратегії вже існують. Наприклад, в Північній Македонії протягом 2011–2015 років був реалізований комплекс заходів для модернізації будівель на користь малозабезпечених родин, спрямований на їх "озеленення" для зменшення вразливості до підвищення цін на енергію, при цьому підвищуючи рівень комфорту. Впровадження технологій зеленого будівництва проводилося етапами, що дозволило поділити кредитування на кілька фаз модернізації [4, с. 92]. Це рішення, разом із фінансовою підтримкою муніципального бюджету, допомогло підняти соціальну інклюзивність, зблизивши стандарти життя між забезпеченими та малозабезпеченими верствами населення.

2.4 Значення зеленого будівництва у справі досягнення соціальних цілей сталого розвитку

Глобальні зміни клімату та забруднення довкілля викликають всебічні шкоди, що негативно впливають на соціальний стан населення планети. Це

проявляється у зростанні нерівності, погіршенні життєвих умов найменш захищених верств населення, поширенні небезпечних захворювань і психічних розладах тощо. Навіть при тимчасовому загостренні соціальних проблем під час впровадження екологічних стандартів у будівництво в найближчому майбутньому, на довгостроковій перспективі це може значно покращити загальний стан справ.

Ціль №3. Забезпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці(рис.2.13).

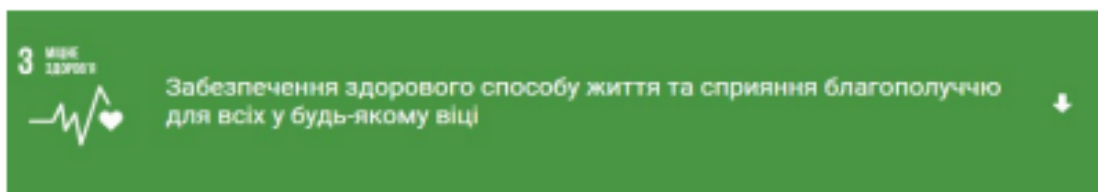


Рисунок 2.13 – Ціль №3

Більшість жителів Європи витрачає значну частину свого життя у закритих приміщеннях, і, безперечно, екологічні характеристики цих приміщень прямо впливають на здоров'я людей. Шкідливий вплив на здоров'я можуть мати пил, бактерії, грибки та токсини, тому під час будівництва важливо мінімізувати можливості їх утворення у приміщенні.

Особливу увагу слід звертати на вибір будівельних матеріалів, які можуть значно погіршити екологічні показники споруди. Наприклад, будівельні та декоративні матеріали, засновані на низькомолекулярних сполуках, під час використання можуть виділяти токсичні летючі компоненти, що мають негативний вплив на здоров'я. Міжнародна агенція з дослідження раку підкреслює канцерогенну небезпеку полімерів, отриманих із нафти та кам'яного вугілля. Агенція з реєстрації токсичних речовин та захворювань попереджає, що виробництво пластмас пов'язане із використанням речовин, що входять до переліку найбільш небезпечних токсичних речовин.

Крім того, забруднення повітря всередині будівлі може бути спричинене пилом та продуктами згоряння речовин, використовуваними для обігріву споруди. Не слід забувати і про високий рівень шумового забруднення, що є характерним для великих європейських міст, і пов'язується із такими захворюваннями, як стрес, гіпертонія та інсульт. Недостатня освітленість також негативно впливає на самопочуття мешканців домів, викликаючи головний біль, депресію та безсоння. Водночас, зелене будівництво пропонує ефективні рішення для забезпечення високої якості повітря, відмовляючись від токсичних матеріалів та впроваджуючи технології вентиляції та очищення повітря. Забезпечення належного освітлення здійснюється за рахунок максимального використання природного світла, корисного для зору людини, а ефективна звукоізоляція сприяє зменшенню стресу та спокійному відпочинку мешканців.

Впровадження "зелених дахів", а саме озеленення фасадів та покрівель, виявилось сміливим та ефективним рішенням. Це одночасно сприяє поглибленню рослинами пилу, зменшенню рівня шуму та захисту будівельних конструкцій від атмосферних впливів, таких як перегрівання або переохолодження. Важливо відзначити й позитивний психоемоційний вплив, який відчувають мешканці таких зелених будинків.

Організаційним втіленням турботи про здоров'я та комфорт людини у рамках зеленого будівництва можна вважати концепцію мультикомфортного дому, розроблену компанією "Сен-Гобен". Наразі вона виступає як важливий елемент, сприяючи позитивному впливу на всі канали сприйняття людини: зір, слух, нюх, дотик та інтелект. Заснована на таких принципах, як тепловий комфорт, що враховує баланс між температурою тіла людини та внутрішнім кліматом приміщення, санітарний комфорт, досягнутий поліпшенням якості повітря через механічну вентиляцію з рекуперацією тепла, акустичний комфорт, що включає звукоізоляційний захист та архітектурну акустику, візуальний комфорт з врахуванням достатньої кількості природного освітлення, що досягається оптимальним розташуванням будівельних об'єктів, і

адаптаційний комфорт, який забезпечує можливість пристосовувати будівлю до життєвого стилю мешканців з мінімальними часовими витратами та без втрати зручності.

За дослідженнями, вже сьогодні можна зробити висновок про позитивний вплив "зеленого будівництва" на здоров'я людей. Досліджено, що мешканці зелених будинків виявляють більшу емоційну стабільність порівняно з тими, хто проживає в традиційних будівлях. Якість сну в жителях зелених будинків перевищує якість сну мешканців звичайних будинків на 6%. Крім того, систематичний контроль за якістю повітря та температурою у приміщенні запобігає утворенню цвілі, яка часто є причиною виникнення астми та алергій. Додатково, завдяки високоякісному повітрю в приміщенні, жителям зелених будинків вдається уникати перехресного зараження респіраторними вірусними та бактеріальними інфекціями, включаючи COVID-19 під час пандемії [8; 13, с. 28].

Ціль №7. Забезпечення доступу до недорогих, надійних, сталих і сучасних джерел енергії для всіх(рис.2.14).

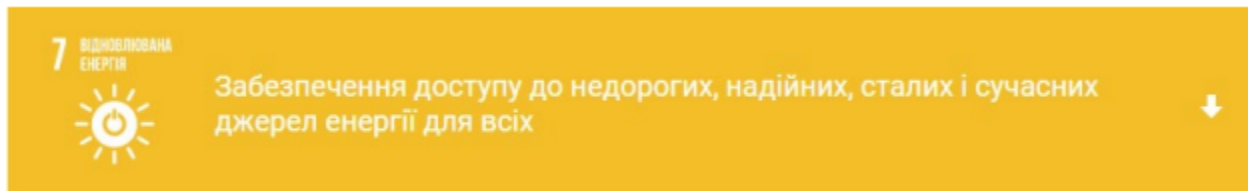


Рисунок 2.14 – Ціль №7

Використання енергії з відновлюваних джерел є однією з ключових принципів зеленого будівництва. Ці джерела включають сонячну, вітрову, теплову та гідроенергію, які постійно або періодично діють у довкіллі. Технічні системи, які конвертують енергію з цих природних ресурсів, не забруднюють повітря та не генерують небезпечних відходів, і не потребують транспортування чи згоряння палива. Ці системи є надійними, що відповідає вимогам сталої розвиненості (мета 7). Крім того, оскільки ці джерела енергії,

такі як сонячне світло, вітер та вода, безкоштовні, це забезпечує доступ широких верств населення до екологічно доступної енергії.

Для досягнення енергетичної автономії будинку можна використовувати різноманітні технології, такі як вітряні турбіни, сонячні батареї або генератори, які використовують енергію течії води. Вибір конкретного обладнання залежить від кліматичних умов конкретної локації. Проте практика показує, що встановлення сонячних батарей на південній частині будівлі може бути досить ефективним навіть у північних країнах, як, наприклад, у Фінляндії [5].

Ціль №11. Забезпечення відкритості, безпеки, життєздатності й екологічної стійкості міст і населених пунктів (рис.2.15).

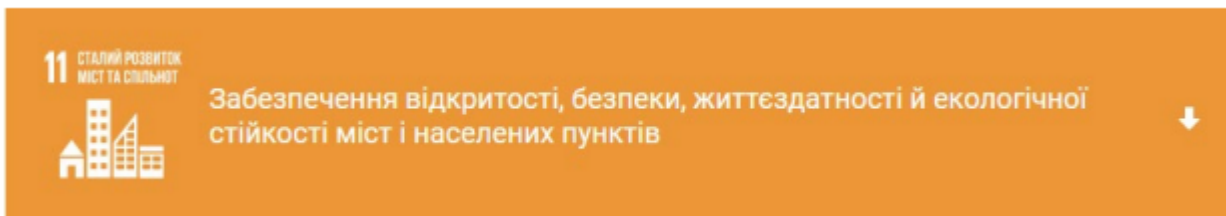


Рисунок 2.15 – Ціль №11

Ефективне використання екологічних технологій у будівництві визнається ключовим чинником просування сталого розвитку міст, сприяючи досягненню територіальних, регіональних та національних цілей у сфері сталого розвитку. Головна мета сталого розвитку територій - забезпечити населенню безпеку та високу якість життя за умови збереження довкілля та раціонального використання природних ресурсів, здійснюючи баланс між екологічними, економічними та соціальними інтересами і враховуючи потреби майбутніх поколінь.

Можна впевнено стверджувати, що зелене будівництво сприяє реалізації усіх вищезазначених аспектів. Завдяки впровадженню зелених технологій досягаються глобальні цілі раціонального використання ресурсів, зменшення викидів вуглецю, поліпшення стану довкілля та вирішуються місцеві проблеми повітряного, водного та шумового забруднення. Присутність зелених структур

входить у створення привабливого міського середовища, яке є екологічно безпечним та корисним для здоров'я людини, відповідаючи меті зробити міста місцям підвищення якості життя та утвердження гармонійного суспільства. Концепція здорового міста базується саме на цих принципах - неперервному вдосконаленні фізичного та соціального середовища для того, щоб громадяни могли розкрити свій потенціал.

Ціль №4. Забезпечення всеохопної і справедливої якісної освіти та заохочення можливості навчання впродовж усього життя для всіх (рис.2.16).

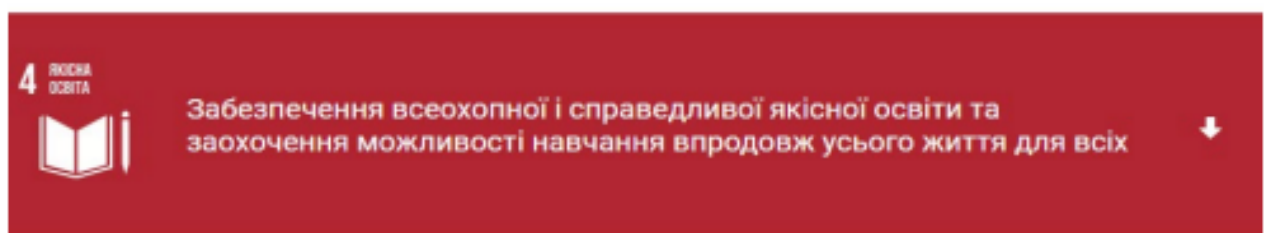


Рисунок 2.16 – Ціль №4

Залучення зеленого будівництва до процесів освіти включає дві ключові області. По-перше, це екологізація професійної освіти, оскільки створення зелених об'єктів вимагає від фахівців, таких як архітектори, проектувальники та інженери, глибокого розуміння особливостей форми і матеріалів будівлі, використання скла та зовнішніх огорож залежно від кліматичних умов, а також правильного розташування та орієнтації припливних отворів для натуральної вентиляції, щоб забезпечити чисте повітря у будь-яку погоду та без вітру, а також ефективного озеленення стін будинку залежно від висоти та рівня освітлення. Крім того, це передбачає постійне поглиблення знань у сфері новітніх технологій зеленого будівництва, через самоосвіту.

Щодо широкого загалу громадськості, можна констатувати, що зелене будівництво сприяє поширенню знань і навичок, необхідних для підтримки сталого розвитку, шляхом інформування громадськості про переваги цього типу будівництва.

Ціль №5. Забезпечення гендерної рівності, розширення прав і можливостей усіх жінок та дівчат (рис.2.17).

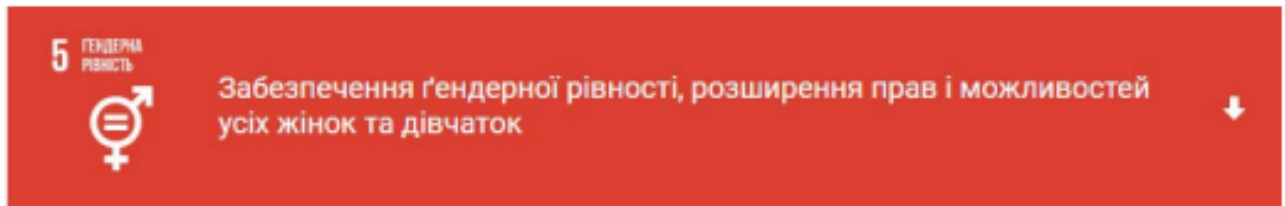


Рисунок 2.17 – Ціль №5

Позначний внесок зеленого будівництва у питання гендерної рівності стає видимим при аналізі умов проживання в традиційних житлових будівлях. На сьогодні близько 3 мільярдів осіб по всьому світу, включаючи 13% населення найбагатших регіонів, таких як Європа та Північна Америка, використовують деревину, вугілля та інші види твердого палива для готування та обігрівання, що призводить до викиду токсинів та канцерогенних речовин, шкідливих для здоров'я. Жінки та дівчата зазвичай витрачають більше часу на домашні обов'язки і частіше стають жертвами забрудненого повітря. Оскільки саме вони відповідають за забезпечення побутового палива, багато з них щоденно змушені знаходити, збирати та переносити важку деревину в якості палива, що негативно впливає на їхнє здоров'я та життєвий стандарт. Таким чином, впровадження зелених технологій у будівництві може позитивно вплинути на умови життя багатьох жінок, забезпечуючи їм доступ до альтернативних джерел енергії.

Ціль №17. Зміцнення засобів здійснення й активізація роботи в рамках глобального партнерства і інтересах сталого розвитку (рис.2.18).

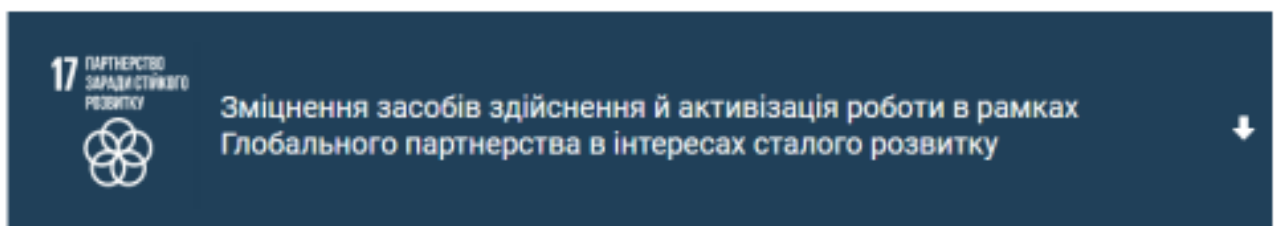


Рисунок 2.18 – Ціль №17

Зелене будівництво виявляє суттєвий вклад у досягнення цілей сталого розвитку, активно співпрацюючи на міжнародному рівні. Наприклад, Всесвітня рада з екологічного будівництва (WorldGBC) взаємодіє з бізнес-структурами, громадськими організаціями та урядами для впровадження концепції нульових викидів вуглецю в будівництві. Ця мережа, об'єднуючи 30 тисяч компаній та 75 національних рад, розробляє інструменти та програми для створення доступних з точки зору витрат будинків із нульовим викидом вуглецю. Учасники WorldGBC постійно шукають нові шляхи зменшення використання ресурсів та підвищення захисту довкілля.

Також, європейські ради з екологічного будівництва (зокрема, Великобританія, Німеччина, Ірландія, Іспанія, Італія, Нідерланди, Польща, Фінляндія, Франція, Хорватія) об'єднали свої зусилля у рамках проекту BuildingLife. Цей проект має на меті активізацію заходів щодо боротьби з кліматичними змінами, використовуючи національні та регіональні дорожні карти декарбонізації. Він фокусується на експлуатаційних викидах будівель та впливі на довкілля на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

Впровадження принципів зеленого будівництва в практику наближає людство до досягнення різних цілей сталого розвитку. Внесок цього підходу у вирішення окремих завдань сталого розвитку може бути значним, сприяючи покращенню умов життя, боротьбі з кліматичними змінами, та впровадженню відповідальних практик споживання.

Висновок. Зелене будівництво або стійке будівництво та енергозбереження є невід'ємною частиною реалізації сталого розвитку в світі, досягнення цілей Сталої Європи до 2030 року та реалізації стратегії GREEN DEAL в Європейському Союзі. Вкрай важливо екологічно відповідальне й ефективне використання ресурсів протягом життєвого циклу будівлі: від планування до проектування, будівництва, експлуатації, технічного обслуговування, ремонту, і зрештою знесення. Концепція зеленого будівництва поступово сформувалася зі зростанням громадської обізнаності щодо охорони

навколишнього середовища, будівельна індустрія дає можливість пом'якшити глобальне потепління та досягти енергоефективності.

Зелене будівництво є фундаментальною платформою сталого розвитку. Про це свідчить той факт, що воно сьогодні виступає ефективним інструментом досягнення більшості цілей ЦСР ООН: 3 екологічних, 4 економічних та 5 соціальних ЦСР, а також загальній ЦСР номер 17.

2.5 Сучасні будівельні матеріали для використання у зеленому будівництві

Екологічно чисті будівельні матеріали не обов'язково повинні бути натуральними. Часто вони можуть бути штучно створені людиною шляхом певної обробки. Однак, важливо, щоб при їх виробництві, експлуатації та утилізації не використовувалися і не виділялися отруйні речовини. Впевненість в матеріалі може дати тільки сертифікат екологічної відповідності. Згідно з європейським рейтингом, самим екологічним стіновим матеріалом вважається деревина, але в тому випадку, якщо вона не оброблена антисептиками, антипіренами, лаками з високим рівнем вмісту летючих органічних сполук (VOC). Слід зазначити, що необроблене дерево недовговічне, і в сучасному будівництві його не завжди можна застосувати. Вихід – використовувати для оброблення і покриття деревини виключно екологічно сертифіковані лакофарбові матеріали, застосувати оброблену деревину тільки зовні будинку або всередині закритої конструкції.

Друге місце по екологічності займає газобетон. У ньому немає шкідливих складових, рівень радіонуклідів незначний, виробництво відрізняється невисокою енергоємністю. Газобетон можна використовувати для зовнішніх і внутрішніх стін.

Третє місце в рейтингу займає кераміка, яка в порівнянні з газобетоном має в складі більше радіонуклідів (хоча в абсолютно безпечних дозах) і вимагає більше енергії при виробництві. З ними по екологічності успішно конкурують матеріали кустарного виробництва - саман, глинобіт та їх різновиди. Переваги останніх - енергоємність виробництва дорівнює нулю, при будівництві не використовують цемент.

Каркасні стіни екологічно неоднозначні, оскільки розрізняються конструктивними рішеннями та матеріалами. Наприклад, якщо всередині приміщень використані деревостружкові (ДСП) і деревоволокнисті (ДВП) плити, як утеплювач – пінополістирол, якій негерметично ізольований від внутрішнього середовища, такий будинок не можна назвати екологічним. До екологічних покрівельних матеріалів зазвичай відносять очерет, гонт, керамічну черепицю, мідь, сланець. В даний час їх поширенню перешкоджає висока ціна. Але не буде «екологічної помилкою» застосувати будь-яку металеву покрівлю.

Екологічними утеплювачами вважаються очеретяні і деревоволокнисті мати, керамзит, перліт, піноскло. Кам'яна вата, що засовується при утепленні стін чи даху і мансардної покрівлі і містить у своєму складі фенол, - повинна бути повністю ізольована всередині конструкції також бажано мати сертифікати і не брати вату яка зроблена самостійно . Але краще її замінити на мінераловатні утеплювачі нового покоління - на основі більш екологічно дружнього акрилу але зазвичай їх вартість значно вища .

В сучасному будівництві є матеріали, які не можуть вважатися екологічними, наприклад:

Дсп і двп не є екологічним матеріалом адже при їх виробництві деревину пресують і проклеюють різними сполуками, застосовуючи різні хімічні сполуки.

- полівінілхлоридні декоративні плівки, лінолеум з полівінілхлориду - через виділення хлористого вінілу;

- хлорвінілові, епоксидні та інші синтетичні лаки, клеї, фарби, що виділяють летучі токсичні речовини;

- пінополістирол, якій є надзвичайно небезпечний при пожежі.

При виборі штучних, композитних виробів і матеріалів краще купувати екологічно сертифіковану продукцію, відзначену знаками екологічного маркування. До таких матеріалів можна віднести ламінат, синтетичні килими, лаки і фарби, металопластикові вікна, шпалери тощо. Надійніше обирати екологічно сертифіковану продукцію, відзначену спеціальними знаками екологічного маркування (рис.2.19).



Рисунок 2.19 – Приклади позначень екологічних сертифікатів

На території України діють екологічні сертифікати сертифікаційних систем багатьох країн світу. Український екологічний сертифікат та право на маркування екологічно сертифікованої продукції знаком «Зелений журавлик». На даний момент лише декілька вітчизнянних компаній отримали сертифікати. Екологічний сертифікат може видаватись не лише на природні матеріали, але і на синтетичні, головним при виданні є його вплив на навколишнє природне середовище. При цьому це не значить, що природні матеріали 100% мають сертифікати, адже дуже до багатьох будматеріалів таких як деревина при виготовленні додають до складу феноли для склеювання. Крім того, на українському ринку є чимало будівельних та лакофарбових матеріалів відносно яких недобросовісні компанії підроблюють сертифікати, змінюючи властивості матеріалу і підвищуючи його теоретичну вартість за рахунок підроблених сертифікатів для одержання надприбутків.

3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТУ ТЕХНОЛОГІЇ «ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО» ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

3.1 «Зелена покрівля» як елемент зеленого будівництва

Зелені або посадкові дахи представляють собою форму конструкції покрівлі, яка існує протягом тисяч років у різних частинах світу. У минулому, коли природні матеріали були єдиною доступною будівельною тканиною, їх використання сприяло поліпшенню внутрішнього комфорту. У холодних регіонах вони забезпечували теплоізоляцію, тоді як у теплих регіонах захищали покрівлю від перегріву, регулюючи сонячний вплив влітку.

Незважаючи на те, що залежність від клімату залишається однією з основних причин встановлення зелених дахів, їх роль як міських екосистем стала більш широкою, охоплюючи інші значущі характеристики, які у багатьох випадках вважаються більш цінними, ніж лише поліпшення теплового комфорту, наприклад, їх екологічні переваги. Дотепер численні переваги зелених дахів були оцінені якісно, оскільки наукові дослідження в цьому напрямку були обмеженими. У більшості випадків присутність рослин на вершині будівлі розглядалася як складова екологічно безпечного будівництва з загально позитивним внеском у енергоефективність будівлі.

Для багатьох фахівців у галузі будівництва, додатковий шар ґрунту на верхній частині даху розглядався просто як додатковий шар ізоляції. У гіршому випадку вважалось, що це не призводить до збільшення тепловтрат взимку і просто затіняє традиційні будівельні шари влітку, надаючи захист від перегріву завдяки сонячній радіації. З екологічної точки зору, переваги такого типу конструкції вважалися схожими на переваги, які може надати рослинність.

Протягом останніх років було проведено значну кількість досліджень зелених дахів. Література повідомляє про велику кількість експериментів та комп'ютерних моделей, які спрямовані на вивчення поведінки зелених дахів як інтегрованої будівлі або екологічної системи. Протягом того ж періоду у різних містах світу було встановлено різноманітні типи зелених дахів, що надало можливість контролювати їх функціонування в реальних умовах і оцінювати їх ефективність порівняно з традиційними конструкціями дахів. Останнім часом висновки таких досліджень почали визначати основні принципи та політику в багатьох містах з метою сприяння найбільш ефективній експлуатації зелених дахів. В сучасному будівництві енергоефективні технології мають комплексний характер і включають в себе утеплення стін, енергоефективні покрівлі, використання спеціальних фарб, склопакетів та енергозберігаючі системи обігріву та охолодження приміщень. Сучасні покрівлі, спрямовані на досягнення енергоефективності, досягають цілей не лише за рахунок використання будівельних матеріалів та декоративних покрівельних матеріалів, але і завдяки інтеграції зелених елементів. Однією з перспективних областей удосконалення енергоефективності є впровадження зелених покрівель.

Типи «зеленої» покрівлі.

Навіть існуючи сучасні комерційні системи зелених дахів із конкретними конструкційними особливостями та шарами ґрунту та рослинами, типова система зелених дахів не є стандартним будівельним компонентом за використовуваними матеріалами, характеристиками шарів і вибором відповідної рослинності. Це призводить до широкого спектру ефективності, який охоплює як енергетичні, так і екологічні показники зелених дахів, що зазначається в літературі. Різноманіття додаткових шарів та видів рослин, що покривають покрівлю, у більшості випадків різняться в різних комп'ютерних моделях та експериментах.

Зелений дах зазвичай складається з легкої ґрунтової суміші та дренажного шару. Тканинний фільтр утримує ці шари відокремленими, а спеціальний шар під дренажем захищає підстилаючу структуру від коренів рослин (рис. 3.1). Щоб уникнути витоків води, потрібна надійна гідроізоляція. Висота кожного шару залежить від вимог обраної рослинності. Роль дренажного шару може обмежуватися контролем вологості ґрунту та забезпеченням належного дренажу, оскільки в насиченому ґрунті корені можуть пошкодити структуру. У деяких випадках дренажний шар призначений для зберігання дощової або зрошувальної води, створюючи середовище, сприятливе для рослин, які потребують багато вологи.

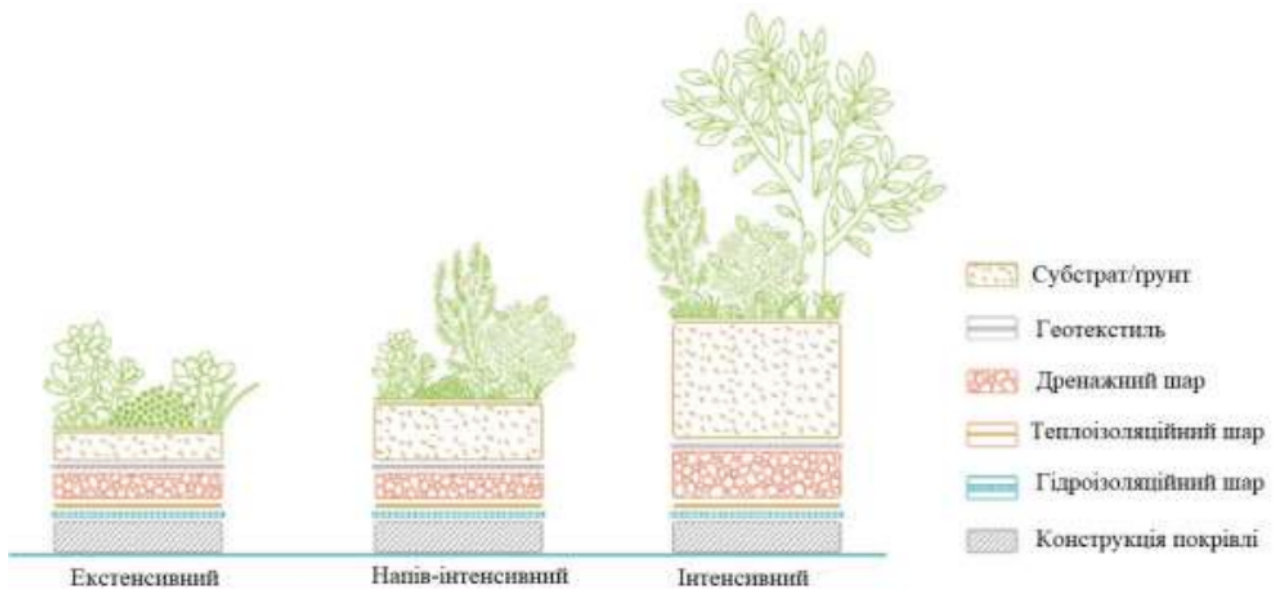


Рисунок 3.1 – Типи і шари конструкції «зеленої» покрівлі

Особливості будівель, висота шарів та вимоги до обслуговування дахових садів зазвичай поділяють на дві основні категорії: екстенсивні та інтенсивні зелені покрівлі (Даннетт та Кінгсбері, 2004). Проте межі між цими категоріями не завжди є чіткими. Наприклад, Німецьке товариство досліджень ландшафтного розвитку (FLL) визначає ще одну категорію - напівінтенсивні зелені дахи (рис. 3.1):

а) Екстенсивна "зелена" покрівля.

Екстенсивний зелений дах розрахований на тимчасове використання і фактично не призначений для активного користування. Ходити по ньому можна лише на областях, які спеціально виділені для цього. Товщина ґрунтового шару не перевищує 0,07-0,15 м, що дозволяє вирощувати виключно невеликі рослини. Газонні рослини та мохи часто висаджують на такий дах у спеціальних контейнерах чи піддонах. Рослини повинні мати горизонтальну кореневу систему (мичкувату або цибулинну). Середня вартість екстенсивної зеленої покрівлі зазвичай становить приблизно 29-35 €/м².

Після встановлення, такий зелений покрив потребує мінімального обслуговування: його необхідно лише обстригати та очищати від бур'янів. Серед переваг такої конструкції можна відзначити низьку вартість, відносно легку масу і простоту висадки рослин. Ґрунтова суміш включає гравій, органічні речовини, керамзит, торф, пісок і має товщину від 5 до 15 см. Для рослин використовують ґрунтопокривні види, які стійкі до посух та коливань температур. Інші види рослин можуть бути висаджені у окремих контейнерах та розташовані по різних ділянках покрівлі, якщо це бажано і якщо конструкція даху може витримати таке навантаження. Навантаження від екстенсивного зеленого покриву у насиченому водою стані становить 80-100 кг/м².

б) Інтенсивна "зелена" покрівля. Інтенсивний зелений дах (інверсійний) - це форма покрівлі, конструкція якої дозволяє створити не лише газон, але й повний сад із деревами, кущами, а навіть басейном та фонтаном. Інтенсивний зелений дах повинен мати парапет висотою не менше 1,2 м, а товщина ґрунтового шару - від 0,2 до 0,6 м.

Зазвичай інтенсивні зелені покрівлі встановлюються на громадських спорудах, таких як бізнес-центри, готелі, ресторани, санаторії, лікарні і т.д. Велика товщина ґрунту та інших компонентів інтенсивної зеленої покрівлі (басейни, фонтани, лавки, дерева і інше) суттєво збільшує навантаження на несучі конструкції даху будівлі. Тому проект інтенсивної зеленої покрівлі

повинен бути врахований на етапі проектування. В іншому випадку необхідно ретельно розрахувати допустиме навантаження, яке може витримати несуча конструкція будівлі.

Основною перевагою є можливість створення унікального дизайну на даху, але існують певні нюанси:

- проект повинен бути врахований в конструкції будинку на етапі проектування з використанням професійних розрахунків;
- забезпечення належного зовнішнього вигляду вимагає регулярного обслуговування.

Сучасні матеріали дозволяють виконувати самотійне та якісне зелене облаштування дахів з швидкістю. Теплоізоляція може бути здійснена за допомогою пінополістиролу, піноскла, поліуретану, які вкладаються на плиту перекриття, супроводжуючись пароізоляційним шаром. Для гідроізоляції використовуються спеціальні мембрани, що мають захист від проникнення коренів рослин. Дренаж, представлений гравієм, допомагає вивести надлишки вологи, а геотекстильні матеріали використовуються як фільтри між ґрунтом та нижніми шарами.

Напів-інтенсивні зелені покрівлі, хоч і не входять в окрему категорію зелених покрівель, але є особливим явищем, яке перебуває в проміжній зоні між екстенсивними та інтенсивними системами зеленого покриття. Вибір цього типу покрівлі передбачає збільшені витрати на обслуговування, встановлення та збільшену вагу конструкції порівняно з екстенсивним варіантом. Однак глибший рівень основного субстрату відкриває більше можливостей для дизайну, дозволяючи висаджувати різні трави, трав'янисті багаторічні рослини і чагарники, такі як лаванда, а щодо дерев - їх конструкцію слід розраховувати на етапі початкового проектування. Порівняльна характеристика видів зелених покрівель наведена у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльні характеристики «зелених» поверхонь

| Характеристики поверхні | Екстенсивна поверхня | Напів-інтенсивна поверхня | Інтенсивна поверхня |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Глибина матеріалу | 150 мм або менше | Може бути і вище і нижче 150 мм | Більше 150 мм |
| Пересування по поверхні | Не завжди доступно | Частково доступна | Зазвичай доступна |
| Кількість рослин для насадження | Низька | Середня | Найбільша |
| Видова різноманітність рослин | Мох, седум, газон, трава | Мох, седум, газон, трава, чагарники, невеликі дерева | Мох, седум, газон, трава, багаторічні рослини, чагарники, дерева |
| Призначення зеленої покрівлі | Екологічний, захиний шар покрівлі | Спроектований зелений дах | Використовується як сад, ділянка для відпочинку |
| Ціна на встановлення покрівлі | Низька | Середня | Найдорожча |
| Питома вага після встановлення | Низька: 70-170 кг/м ² | Середня: 170-290 кг/м ² | Найвища: 290-940 кг/м ² |

Існує низка невідомих переваг, притаманних "зеленим" покрівлям, кожен з яких розглянемо більш детально [5] [6]:

- Зменшення обсягів дощових стоків;
- Адсорбція забруднюючих речовин та пилу в повітрі;
- Зниження теплового ефекту острівця у міських областях;
- Створення середовища для розвитку біоти;
- Захист будівель від коливань освітлення і температурних змін, що продовжує термін служби даху;
- Надання додаткового шару теплоізоляції, що, в свою чергу, зменшує витрати на опалення та охолодження споруди;
- Створення додаткового простору для проживання в густонаселених міських районах [5].

Захист від сонячного випромінювання, у тому числі ультрафіолетового: "зелені" дахи, використовуючи відбивальні властивості рослинності та субстрату, ефективно захищають конструкцію покрівлі від негативного впливу сонячного випромінювання, включаючи ультрафіолетове випромінювання, температурні коливання і електромагнітне випромінювання, продовжуючи тим самим її життєвий цикл (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Схематичне зображення переваг «зеленої» покрівлі

Залучення птахів та комах: Встановлення зелених насаджень на даху призводить до привертання уваги багатофункціональних жителів міського навколишнього середовища, таких як метелики, птахи та інші дрібні тварини. Це розширює їх біотоп та сприяє збереженню різноманіття природи, що є особливо важливим для міських кварталів. Вибудовуючи "зелений дах", можна ефективно утримувати природне різноманіття навіть в умовах великих мегаполісів.

П'ятий фасад: Зелені дахи можна розглядати як п'ятий фасад, оскільки вони, завдяки своїй естетичності, привертають більше уваги, ніж основні фасади будівель. Вони є не лише прикрасою, але й покращують зовнішній вигляд кварталу та в цілому міста. При цьому їхній екологічний внесок не залишає сумнівів.

Глобальне потепління: У сучасному біосферному контексті спостерігається глобальне потепління, яке пов'язане із зростанням концентрації парникових газів у атмосфері. Однак зелені дахи можуть відігравати ключову роль у збереженні планети від глобального потепління та його наслідків. Проходячи процес фотосинтезу, рослини на зелених дахах зменшують викид вуглекислого газу, абсорбуючи його за допомогою сонячної енергії та виділяючи кисень в атмосферу, необхідний для всього живого. Крім того, рослини ефективно очищають повітря від інших забруднювачів та зволожують його, поліпшуючи якість міської атмосфери. Таким чином, що більше зелених дахів у місті, то комфортніше стає жити там. (рис. 3.2)

Звісно, коли йдеться про впровадження такого виду покриття, важливо враховувати й недоліки "зелених" дахів. Ці недоліки включають в себе:

- Високі витрати на встановлення покрівлі.
- Складність конструкції зеленого покриття.
- Неналежно виконана установка зеленого покриття може призвести до протікань та серйозного пошкодження будівлі.

3.2 Інформація про об'єкт дослідження

Будівельна належність – комунальна установа.

Адреса будівлі: м. Суми, вул. Сергія Табали (Севера), 20.

Будинок складається із 5-ти корпусів (див. Додаток А). Головний фасад будівлі зорієнтовано на південно-західну сторону.

Технічні характеристики будинку:

- рік побудови 1990 р.;
- кількість поверхів: 1-3 корпуси в 4 поверхи, 4-5 корпуси в 3 поверхи;
- опалювальна площа 7188 м²;
- площа забудови 2397,04 м²;
- опалювальний об'єм будівлі 21382,34 м³;
- опалювальний об'єм за зовнішніми обмірами 24772,42 м³.

Забезпечення будівлі тепловою енергією на потреби опалення здійснюється централізовано від ТОВ «Сумитеплоенерго».

Подача холодної води до будівлі здійснюється КП «Міськводоканал».

Забезпечення електроенергією будівлі здійснюється ТОВ «ЕНЕРА СУМИ».

Об'єкт складається із 5-ти корпусів, 2 з яких 3-х поверхові, остача 4-х поверхові. Зовнішні стіни виконані з цегли глиняної звичайної на цементно-піщаному розчині 620 мм, оштукатурені ззовні та з середини цементним розчином товщиною 15 мм та 15 мм відповідно та утеплювач, базальтова вата товщиною 100 мм.

Покриття виконане у вигляді монолітної залізобетонної плити 220 мм, цементно-піщаний розчин 70 мм та покрита шаром руберойду 6 мм.

Підлога виконана у вигляді бетонної плити товщиною 220 мм, покритою цементно-піщаною стяжкою 40 мм.

Світлопрозорі конструкції (вікна) навчального закладу мають металевопластиковий профіль. Вікна з ПВХ-профілем загальною площею 934,14 м².

Двері навчального закладу металеві загальною площею 36,72 м².

Будівля не має горища, технічного поверху. Має підвальне приміщення в якому розташований тепловий пункт та тир.

Навчальний заклад №24 має централізовану систему тепlopостачання яке здійснюється на підставі договору з ТОВ «Сумитеплоенерго» договір 1214 – Т618 від 18.02.2019 року, у якому теплоносієм являється гаряча вода. Система однотрубна з нижньою розводкою зі штучною циркуляцією теплоносія. Приєднання опалювальних приладів до теплопроводів здійснене «зверху вниз». Тепло подається з ЦТП-25Х по трубопроводу до тепlopункту який знаходиться в корпусі 4. Опалювальні прилади - чавунні радіатори типу Аккорд, радіатори конвективного типу.

За договором відпуск теплоти до будівлі здійснюється за температурним графіком 60/50 °С. Температура в тепlopункті на подавальному трубопроводі – 56 °С, температура на зворотному трубопроводі – 48 °С.

У тепловому вузлі вводу будівлі встановлене наступне обладнання: запірна арматура – засувки діаметром 80 мм, лічильник теплової енергії на подавальному трубопроводі, теплообчислювач, сітчастий фільтр, фільтргрязьовик, елеваторний вузол.

3.3 Техніко-економічний аналіз споживання тепла

Для здійснення оцінки ефективності використання теплової енергії для опалення навчального закладу потрібно порівняти фактичні обсяги споживання тепла зі встановленими державними нормами.

Питома потреба в енергії (EP) є показником енергоефективності будівлі, який визначає кількість тепла, необхідного для забезпечення нормованих теплових умов мікроклімату у приміщеннях та відноситься до одиниці опалювальної площі або об'єму будівлі [24].

$$EP = \frac{Q_{оп}}{V_{буд}^{оп}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3} \quad (3.1)$$

де $Q_{оп}$ – величина споживаної теплової потужності будинку за весь опалювальний період (за обліковими даними), кВт · год;

$V_{буд}^{оп}$ – опалювальний об'єм будинку, м³.

Питома потреба на опалення будинків повинна відповідати умові [25]:

$$EP \leq EP_{max}, \quad (3.2)$$

де EP – питома річна енергопотреба будівлі, кВт · год/м³;

EP_{max} – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі за опалювальний період, кВт · год/м³[25].

Згідно наданих облікових даних по споживанню тепла навчальним закладом, фактичні питомі витрати тепла на опалення становлять:

– 2020 рік – $Q_{оп} = 900275,20$ кВт · год;

– 2021 рік – $Q_{оп} = 949564,20$ кВт · год;

– 2022 рік – $Q_{оп} = 615027,79$ кВт · год.

Тоді значення питомих фактичних теплових втрат на опалення за опалювальний період:

– 2017 рік – $EP = 42,10$ кВт · год/м³;

– 2018 рік – $EP = 44,41$ кВт · год/м³;

– 2019 рік – $EP = 28,76$ кВт · год/м³.

Максимально допустима нормативна величина питомих тепловитрат на опалення будинку, визначена для навчального закладу протягом опалювального періоду і враховуючи його призначення, поверховість і температурну зону експлуатації, складає 38 кВт · год/м³ [25].

Аналіз порівняння нормативних тепловитрат з фактичними показав, що будівля перевищувала встановлені норми, і велика кількість тепла використовувалася. Заходи з енергозбереження, впроваджені у 2023 році, дозволили навчальному закладу зменшити споживання теплової енергії та відповідати нормативам.

3.4 Розрахунок тепловитрат

Розрахунки проводяться за нормативними показниками температури всередині приміщення, зовнішнього повітря, кількості опалювальних днів та середнє значення температури за опалювальний період.

Значення температури всередині та зовнішньої температури повітря для навчальних закладів беремо згідно нормативних даних для м. Суми I температурної зони:

$$t_{в} = +21 \text{ }^{\circ}\text{C}, t_{з} = -25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Тепловитрати через стіни при їх дійсному стані за формулою (3.3), Вт:
З урахуванням всіх світлопрозорих конструкцій та дверей площа стін

$$F_{\text{стн}} = 2315,47 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{стн}} = \frac{F_{\text{стн}}}{R_{\Sigma \text{ПР}}^{\text{стн}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n,$$

$$R_{\text{стн}} = 3,65 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, n = 1.$$

$$Q_{\text{стн}} = \frac{2315,47}{3,65} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 29181,27 \text{ Вт.}$$

Тепловтрати через вікна при їх дійсному стані за формулою (3.3), Вт:

$$Q_{\text{вкн}} = \frac{F_{\text{вкн}}}{R_{\Sigma \text{ПР}}^{\text{вкн}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n,$$

$$F_{\text{вкн}} = 874,79 \text{ м}^2, R_{\text{вкн}} = 0,64 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

$$Q_{\text{вкн}} = \frac{934,14}{0,64} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 67141,31 \text{ Вт.}$$

Тепловтрати через дах при їх дійсному стані за формулою (3.3):

$$Q_{\text{дах}} = \frac{F_{\text{дах}}}{R_{\Sigma \text{ПР}}^{\text{дах}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n, \text{ Вт,}$$

$$F_{\text{дах}} = 2397,04 \text{ м}^2, R_{\text{дах}} = 0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

$$Q_{\text{дах}} = \frac{2397,04}{0,7} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 157519,80 \text{ Вт.}$$

Тепловтрати крізь підлогу при їх дійсному стані за формулою (3.3):

Оскільки підлога знаходиться над неопалювальним підвалом, беремо як температуру ґрунту $t_{\text{пд}} = +6 \text{ °C}$.

$$Q_{\text{пдл}} = \frac{F_{\text{пдл}}}{R_{\Sigma \text{ПР}}^{\text{пдл}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n, \text{ Вт,}$$

$$F_{\text{пдл}} = 2397,04 \text{ м}^2, R_{\text{пдл}} = 0,35 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

$$Q_{\text{пдл}} = \frac{2397,04}{0,35} \cdot (21 - 6) \cdot 1 = 102730,30 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни, обумовлені орієнтацією будинку за формулою (3.4):

$$Q_{ст}^д = 29181,27 \cdot 0,13 = 3793,56 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати через не утеплені підлоги розташовані на ґрунті або над холодними підвалами:

$$Q_{пдл}^д = 0,05 \cdot 102730,3 = 5136,51 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію холодного повітря через світлові прорізи за формулою (3.5).

Для громадських будинків допустиме нормативне значення повітропроникності світлопрозорої огорожувальної конструкції.

$$G_{н.вкн} = 6 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год.}$$

$$Q_{вкн}^{інф} = 0,28 \cdot 6 \cdot 934,14 \cdot 1,005 \cdot (21 - (-25)) = 72551,30 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати на витяжну вентиляцію (1.6).

За технічною документацією об'єм повітря, що механічно видаляється з приміщення $V_m = 3000 \text{ м}^3/\text{год.}$

$$Q_v = 0,28 \cdot 3000 \cdot 1,005 \cdot 1,3 \cdot (21 - (-25)) = 50483,16 \text{ Вт.}$$

Для аналізу отриманих розрахункових даних знайдемо сумарні тепловтрати через кожен вид огорожувальної конструкції і наведемо їх у табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Структура теплових витрат будівельних конструкцій

| Складова теплових витрат | Втрати теплоти, кВт | % |
|--------------------------|---------------------|--------|
| Стіни | 29,18 | 5,95 |
| Дах | 157,52 | 32,10 |
| Вікна | 67,14 | 13,68 |
| Двері | 2,11 | 0,43 |
| Інфільтрація | 72,55 | 14,79 |
| Підлога | 102,73 | 20,94 |
| Витяжна вентиляція | 50,48 | 10,29 |
| Інші додаткові витрати | 8,93 | 1,82 |
| Разом | 490,65 | 100,00 |

Представимо теплові витрати у графічному вигляді на рис.3.3



Рисунок 3.3 – Розподіл теплових витрат

З врахуванням розрахованих даних можна визначити, що основні втрати тепла становлять 32,1% через дах та 20,94% через підлогу. Крім того, розумно було б утеплити фасад будівлі. Темне забарвлення зовнішніх стін і дахів може слугувати додатковим джерелом тепла, особливо в умовах гарячого клімату,

внаслідок поглиблення сонячного випромінювання, призводячи до теплового навантаження на місто протягом року. Запропоновано озеленити фасад будівлі, щоб зменшити сонячний і механічний вплив на неї.

У процесі виконання цього завдання було вирішено зосередити заходи щодо озеленення безпосередньо на дах, розглядаючи його як найменш енергоефективну ділянку будівлі. Для оптимізації тепловтрат пропонується впровадити "зелену" покрівлю.

3.5 Методика розрахунку теплотехнічних характеристик покрівель

Головним чинником, що впливає на втрати тепла в приміщеннях будівель і, відповідно, збільшує споживання енергії на опалення, є опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій, таких як стіни, покриття, перекриття, вікна, балконні та входні двері. Опір теплопередачі огорожувальної конструкції визначає, наскільки конструкція здатна запобігати тепловому потоку через неї, і прямо пропорційний товщині будівельних матеріалів, обернено пропорційний теплопровідності цих матеріалів. Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару здійснюється за певних умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}, \text{ де:}$$

$R_{\Sigma пр}$ – приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції $m^2 \cdot K / Вт$.

Визначають згідно ДСТУ Б В.2.6 – 189.

R_{qmin} – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції $m^2 \cdot K / Вт$. Згідно ДБН В.2.6 – 31.

Опір теплопередачі термічно однорідної, непрозорі огорожувальної конструкції розраховують за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i p}} + \frac{1}{\alpha_{з}}, \text{ де}$$

R_i – тепловий опір і-того шару конструкції в розрахункових умовах.

$\alpha_{в}$ та $\alpha_{з}$ – розрахункові значення тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій. [27]

δ_i – товщина і-того шару конструкції в розрахункових умовах.

λ_i – теплопровідність і-того шару конструкції в розрахункових умовах.

n - кількість шарів огорожувальної конструкції.

а) Розрахунок опору теплопередачі з використанням «зеленої» покрівлі.

Для зменшення навантаження на несучі елементи покрівлі, а також стіни було обрано легкий матеріал – базальтову вату щільністю 100 кг/м³ з повітряним прошарком 60 мм (рекомендація виробника) та товщиною шару 100 мм.

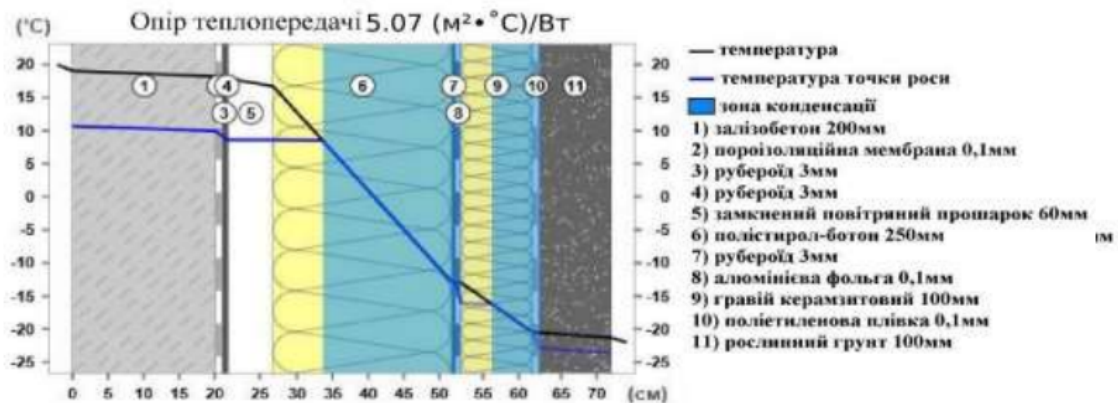


Рисунок 3.4 – Опір теплопередачі базальтової вати 100 мм з використанням зеленої покрівлі

$R = 5.07 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, що задовольняє нормативним вимогам:

$$R \geq R_{q\min} = 4.95 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

Втрати тепла за опалювальний сезон становлять: 14,77 кВт·ч

б) Розрахунок опору теплопередачі без використання «зеленої» покрівлі.

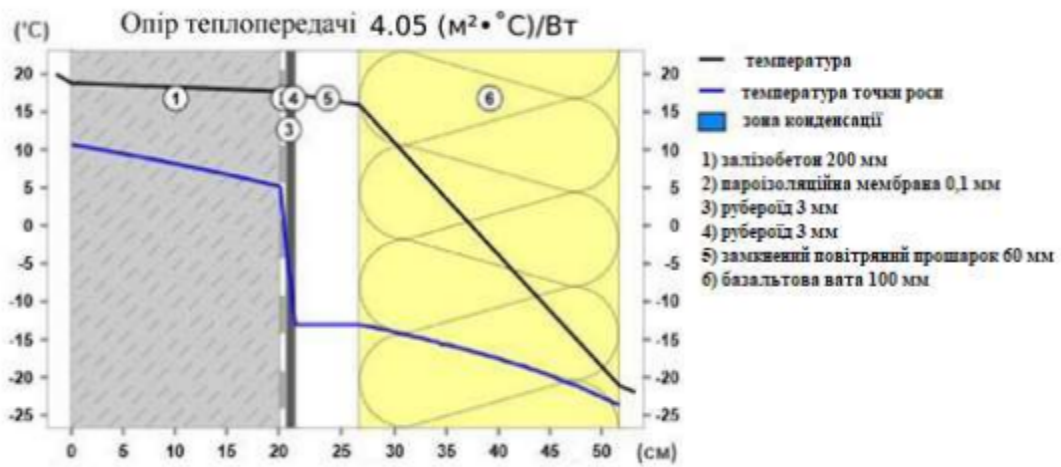


Рисунок 3.5 – Опір теплопередачі базальтової вати 100 мм без використання зеленої покрівлі

$R = 4.05 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, що не задовольняє нормативним вимогам:

$$R \geq R_{\text{qmin}} = 4.95 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

Втрати тепла за опалувальний сезон становлять: 19,00 кВт·ч

в) Порівняння отриманих результатів розрахунків.

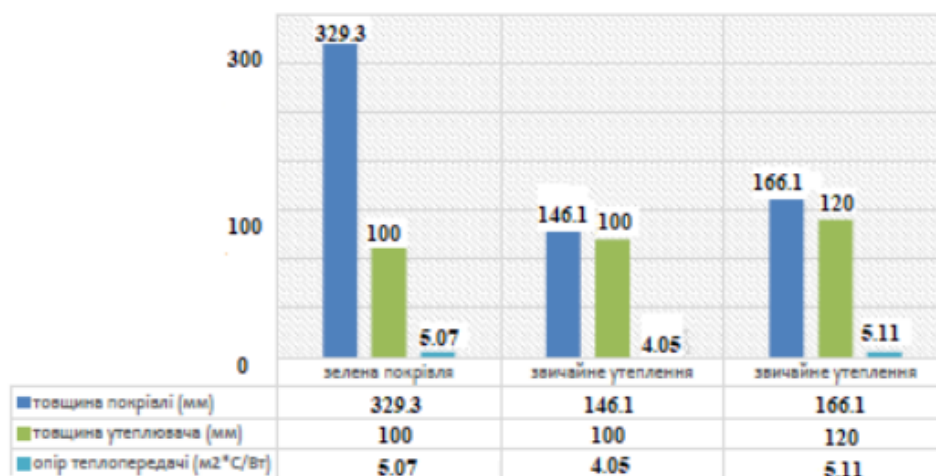


Рисунок 3.5 – Порівняння покрівель

Дана діаграма покаже, що при приблизно однакових показниках опору теплопередачі, «зелена» покрівля на базі утеплювача з базальтової вати на 190 мм вища за покрівлі з іншими типами утеплювачів. Це значно ускладнює влаштування «зелених» покрівель на даному типі утеплювача. [31]

Показники втрат тепла при використанні «зелених» покрівель та при звичайному утепленні майже однакові, що дає змогу оцінити даний захід по встановленню зеленої покрівлі як доцільний. Такий дах, у свою чергу, дасть можливість знизити тепловитрати, у порівнянні з встановленням звичайної покрівлі, і також певною мірою знизить показники атмосферного забруднення у місці встановлення.

3.6 Результати експериментального дослідження

Для створення зеленої покрівлі необхідно спочатку визначити вихідні матеріали, такі як вид рослин, який буде використовуватися, враховуючи конкретні умови даху та його здатність витримувати зовнішні впливи, такі як вологість, температурний та вітровий режими. Для цього проведено дослідження впливу цих факторів на обрані рослини, висаджуючи їх в умовах, максимально близьких до тих, які існують на даху.

Оскільки запланований "зелений" дах - це багатошарова конструкція з питомою вагою, важливо обрати рослини з урахуванням того, чи може конструкція витримати повну вагу всіх шарів, а також самого зеленого покриття. Також потрібно враховувати вагу снігового навантаження в регіоні, де здійснюється будівництво. Для Сумської області цей показник становить 179 кг/м².

З урахуванням вищезазначених характеристик для озеленення даху школи найбільше підходить газон та різнотрав'я. Для проведення експерименту

було обрано газонну траву марки Ascot, а саме "Насіння газонної трави виробництва ASCOT Універсальні Universal".



Рисунок 3.5 – Насіння газону обране для експерименту

Експериментальне дослідження в рамках цієї роботи включало в себе аналіз факторів, які впливали на проростання газонного покриття, а також оцінку енергоефективності цього покриття через дослідження рівня теплового випромінювання газоном у світловий день. Проведення експерименту включало в себе наступні етапи:

1. Визначення придатності та вибір місця для газону.
2. Підготовка ґрунту.
3. Засів або посадка рослин/дерну.
4. Формування трав'яного покриву газону.
5. Збір інформації про температурні характеристики.
6. Аналіз отриманих результатів.

Газон був висаджений у добре освітленій теплиці, розташованій на північній стороні будинку, яка не мала схильність до zalivanja. Підстильний ґрунт мав не вапняний характер з $pH > 7$, родючий шар досягав 20 см. Температура у теплиці становила 25 °С, вологість повітря - 55%, вологість ґрунту - 70%. Параметри були виміряні за допомогою електронного термометра.

На першому етапі посадки відбулася підготовка та перевірка саджанців в кімнатних умовах (див. рисунок 3.6), де вологість повітря становила 50%, а температура дорівнювала 20 °С. Після успішного проростання саджанці були висаджені в тестові (тепличні) умови. Вид газонної трави, вибраний для посадки, – мітлиця пагониста.

Рослина характеризується наступними особливостями:

- Яскраво-насиченим зеленим кольором протягом усього вегетаційного періоду.
- Ніжною, приємною на дотик м'якістю.
- Низькорослою, її висота складає лише 9-11 см.



Рисунок 3.6 – Саджанці які проросли у кімнатних умовах

Після висадки саджанців у ґрунт, умови догляду за ним були наступними:

- Щовечірній полив.

- Регулярна аерація.

- Підживлення – 50 г аміачної селітри 2 рази за літній період

У тепличних умовах газон змінив вигляд (рис. 3.7), щ обуло пов'язано із внесенням добрив.



Рисунок 3.7 – Покриття газону у теплиці

Після пересадки газону у тепличні умови, протягом двох тижнів досліджувався температурний режим покриття. Температурні показники знімалися кожної доби о 12 годині дня. Таким чином було отримано показники, наведені у таблиці 3.

Як видно із наведеної вище таблиці, температура поверхні газону завжди на 5 – 8 °С нижче температури навколишнього середовища. Газон ніколи не вбере ту кількість тепла, яку здатна поглинути тротуарна плитка або асфальтне покриття. А ось при зниженні температури на вулиці, газон, який має більшу в порівнянні з повітрям теплоємність, навпаки, буде віддавати своє тепло. Традиційні покриття міст (асфальт, бетон) поведуться рівно протилежним чином - охолоджуються разом з навколишнім середовищем, стаючи або холодніше у порівнянні з температурою навколишнього середовища, або сильно нагріваються у спеку.

На отримані показники також вплинув режим освітлення, оскільки не зважаючи на сталі для літа високі температури, стояла пасмурна і інколи

Таблиця 3.3 – Режим температурних спостережень

| День виміру, № | t °С добова | t °С покриття газону | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|----------------------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| 14 червня | 27 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 червня | 28 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 червня | 29 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 червня | 29 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 червня | 30 | 19 червня | 31 | 25 | 20 червня | 29 | 22 | 21 червня | 29 | 24 | 22 червня | 32 | 25 | 23 червня | 29 | 24 | 24 червня | 29 | 24 | 25 червня | 24 | 19 | 26 червня | 25 | 21 | 27 червня | 29 | 22 |
| 19 червня | 31 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 червня | 29 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 червня | 29 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 червня | 32 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 червня | 29 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 червня | 29 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 червня | 24 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 червня | 25 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 червня | 29 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

грозова погода (14 і 20 червня). Отримані данні спостережень також підтверджуються показниками тепловізора (рис.3.8).

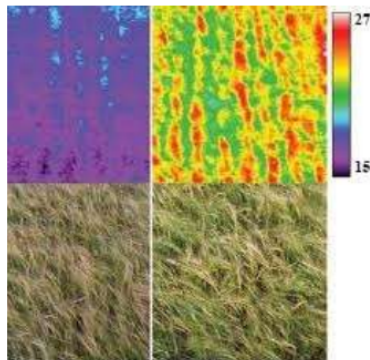


Рисунок 3.7 – Показники тепловтрат тепловізора

З наведеної термограми видно, що втрати тепла газоном не досить значні, покриття підтримує сталу температуру і його цілком доцільно використовувати для зеленого будівництва вцілому, і як для покриття даху школи.

ВИСНОВКИ

1. Впровадження технології "Зеленого будівництва" сприяє підвищенню енергоефективності будівель. Застосування теплоізоляційних матеріалів, ефективної системи вентиляції та інших зелених рішень допомагає зменшити споживання енергії на опалення та кондиціонування приміщень.

2. Використання зелених технологій сприяє створенню здорового мікроклімату усередині будівель. Рослинність, вентиляція та системи очищення повітря допомагають забезпечити чисте та свіже повітря для мешканців та працівників.

3. Зелене будівництво спрямоване на зменшення негативного впливу будівельної діяльності на навколишнє середовище. Використання екологічно чистих матеріалів, переробка відходів та створення енергоефективних систем сприяють зниженню викидів та вирішенню проблем забруднення довкілля.

4. Застосування зелених технологій сприяє створенню комфортного та естетично приємного середовища. Зелені дахи, фасади та внутрішні простори забезпечують природне освітлення, аромат рослин та загальний позитивний вплив на життя та роботу людей.

5. Хоча вартість впровадження зелених технологій може бути вищою на етапі будівництва, в довгостроковій перспективі це може призвести до економії через зменшення витрат на комунальні послуги та підтримання будівлі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Benefits of Green Building. URL: http://wieland/service/download?download_category=All&industry=All&title=&page=12/ (дата звернення 15.08.2023).
2. Hui, S. C. M. and Law, A. Y. M., 2002. Green Design and Construction of Site Offices, Research Report, Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong.
3. Карп И. Н. Энергосбережение в Украине: проблемы и пути решения. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2004 № 4 С. 3–13.
4. Bass, B. and B. Baskaran. 2003. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. Institute for Research and Construction, Ottawa, Canada: National Research Council.
5. Cheney, C. and C. Rosenzweig. 2003. Green Roofs and Environmental Restoration Towards an Ecological Infrastructure for New York City. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
6. Сапожніков С. В. Основи енергетичного менеджменту: конспект лекції. Суми: Сумський державний університет. 2015. 163 с.
7. Тан Сіа А. Пілотний дослідницький проект із зеленого даху в Сінгапурі. *Праці 3-ї північноамериканської Зеленої даху Конференція: Екологізація дахів для стійких громад*. 2015. С. 99–415
8. Krivenko O. Огляд розвитку стандартів оцінювання «зеленого» будівництва у світі. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. №. 71. С. 216-225
9. Данилюк М. М., Дмитришин М.В. Зелене будівництво у досягненні сталого регіональному розвитку. *Актуальні проблеми регіонального економічного розвитку*. 2020. Т. 1. №. 16. С. 153-162.
10. Дребот О. І., Височанська М. Я., Білотіл В. Ю. Переваги та

перспективи сталого розвитку в контексті зеленого будівництва. *Publishing House "Baltija Publishing"*. 2021.

11. Орловський Є.С. Теоретичні засади та сучасні тенденції становлення екологічного будівництва як чинника сталого розвитку. *Економічний простір*. 2018. № 140. С. 182-203.

12. Дмитроченкова Е.І. Аналіз міжнародних систем сертифікації «зеленого» будівництва. *Екологічні науки: наук.-практ. журнал*. 2018. № 1 (20). Т. 1. С. 140-143.

13. Сборник лучших практик в области стандартов и технологий энергоэффективности зданий в регионе ЕЭК ООН. Женева, 2019. 100 с.

14. Шевченко А. У Фінляндії побудували будинок з нульовим енергоспоживанням. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107091>

15. 4 economic benefits of green building. URL: <https://atalian.us/4-economic-benefits-of-green-building/> (дата звернення 13.07.2023).

16. Ткаченко Т. М., Мілейковський В. О., Гунченко О. М.. Оцінка заощадження енергії та непрямого зменшення викидів CO₂ вертикальним озелененням. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. Вип. 31. Київ, 2019. С. 16-23.

17. Краснянський М.Ю. Енергозбереження: навчальний посібник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. 136 с.

18. Хоменко О.Г. Енергозберігаючі технології в будівництві: навчальний електронний посібник. Глухів. 2019. 118 с

19. Санницький М.А. Енергозберігаючі технології в будівництві: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 236 с.