

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЧЕРЕЗ
ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА
ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-Е23мг-1
Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Дар'я ПАЛЬВАЛЬ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/Руслан БАГАЧ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

К.Т.Н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти
здобувачу вищої освіти Дар'ї ПАЛЬВАЛЬ

1. Тема «Підвищення енергоефективності будівель через використання відновлюваних джерел енергії та впровадження енергозберігаючих технологій»
затверджена наказом по університету № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Типи будівель, поточні рівні споживання енергії, дані про енерговитрати та енергоефективність існуючих систем.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ; РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ; РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ ЗАВДЯКИ БАГАТОШАРОВИМ ФАСАДНИМ ПАНЕЛЯМ; ВИСНОВКИ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2024 р.

Керівник

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Дар'я ПАЛЬВАЛЬ

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	12.10.24 – 15.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	16.10.24 – 23.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	24.10.24 – 01.11.24	
4	Виконання другого та третього розділу дипломної роботи	02.11.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка)

(підпис)

Дар'я ПАЛЬВАЛЬ

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Актуальність проблеми на глобальному та національному рівнях

1.2. Втрати електричної енергії: причини та впливи

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1. Енергоефективність та енергозберігаючі заходи побутових будівель

2.2. Аналіз використання відновлювальних джерел енергії у будівлях з фасадними панелями

2.3. Мережева сонячна електростанція

2.4. Використання комплексу відновлювальних джерел енергії для будівель

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ ЗАВДЯКИ БАГАТОШАРОВИМ ФАСАДНИМ ПАНЕЛЯМ

3.1. Роль «Розумного дому» у зменшенні втрат електричної енергії

3.2. Оцінка параметрів мікроклімату та енергоефективності будівлі

3.3. Роль багатошарових фасадних панелей в енергоефективності будівель

3.4. Енергоефективність будівель з багатошаровими фасадними панелями, ґрунтовим колектором та тепловим насосом

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

В сучасному світі питання енергоефективності будівель набуває все більшої актуальності. Зростання попиту на енергоресурси, підвищення цін на традиційні види палива та екологічні проблеми, пов'язані з використанням невідновлюваних джерел енергії, спонукають до пошуку нових рішень у сфері енергозбереження. Впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та енергозберігаючих технологій стає ключовим напрямком розвитку як окремих будівель, так і цілих урбанізованих територій.

Метою магістерської роботи є вивчення та аналіз ефективних методів підвищення енергоефективності будівель через інтеграцію ВДЕ та впровадження енергозберігаючих технологій. Дослідження спрямоване на визначення оптимальних стратегій, які забезпечать зниження енергоспоживання, покращення комфортних умов для проживання та роботи, а також зменшення негативного впливу на довкілля.

В роботі розглядаються сучасні технічні рішення, такі як використання сонячних панелей, теплових насосів, вітрових генераторів, систем акумуляування енергії, а також інноваційні матеріали та технології для теплоізоляції та вентиляції будівель. Особлива увага приділяється аналізу економічної доцільності впровадження цих рішень, а також їх екологічним перевагам.

Ця магістерська робота надає комплексний підхід до вирішення проблем енергоефективності будівель, об'єднуючи теоретичні дослідження з практичними прикладами успішного застосування відновлюваних джерел енергії та енергозберігаючих технологій. Висновки та рекомендації, отримані в результаті цього дослідження, можуть бути використані для подальшого розвитку стійких і екологічно чистих міських інфраструктур, що забезпечить високий рівень комфорту та знизить енергетичні витрати.

Предмет дослідження - методи та підходи підвищення енергоефективності будівель шляхом інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та впровадження енергозберігаючих технологій.

Об'єкт дослідження - будівлі різного призначення (житлові, комерційні, промислові), їх енергетичні системи та інфраструктура, а також відновлювані джерела енергії та енергозберігаючі технології, що використовуються для підвищення їх енергоефективності.

Завдання дослідження:

- ✓ Проаналізувати існуючі методи та технології підвищення енергоефективності будівель.
- ✓ Вивчити принципи роботи та ефективність різних відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, теплові насоси, вітрові генератори та системи акумулювання енергії.
- ✓ Дослідити сучасні матеріали та технології для теплоізоляції та вентиляції будівель.
- ✓ Розробити стратегії інтеграції ВДЕ та енергозберігаючих технологій у різні типи будівель.
- ✓ Визначити економічну доцільність впровадження відновлюваних джерел енергії та енергозберігаючих технологій.
- ✓ Оцінити екологічні переваги та вплив на навколишнє середовище від застосування ВДЕ та енергозберігаючих технологій.
- ✓ Розробити рекомендації для покращення енергоефективності будівель за допомогою ВДЕ та енергозберігаючих технологій.

Розв'язання цих завдань дозволять комплексно підійти до вивчення питань енергоефективності та знайти ефективні шляхи її підвищення для сучасних будівель.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕС – електростанція

ПС – підстанція

АЕС – атомна електростанція

ГЕС – гідроелектростанція

НДЕ – нетрадиційні джерела енергії

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

СЕС – сонячна електростанція

ВЕС – вітряна електростанція

ККД – коефіцієнт корисної дії

РП – розподільчий пристрій

РП ВН – розподільчий пристрій високої напруги

РП СН – розподільчий пристрій середньої напруги

РП НН – розподільчий пристрій низької напруги

Т.у.п. – тон умовного палива

БФП - багатошарова фасадна панель

АСУБ - автоматизована система керування будинками

ІБ – інтелектуальна будівля

РОЗДІЛ 1. КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Актуальність проблеми на глобальному та національному рівнях

Близько 80 відсотків світового населення проживає в країнах, які є чистими імпортерами викопних видів палива – це близько 6 млрд осіб, які залежать від викопного палива з інших країн і з цієї причини вразливі до геополітичних потрясінь та криз.

На відміну від викопних видів палива, відновлювані джерела енергії доступні в усіх країнах, а їх потенціал ще належить використовувати повною мірою. Згідно з оцінками Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA), до 2050 року 90 відсотків електроенергії у світі може і має надходити з відновлюваних джерел.

Відновлювані джерела енергії дозволяють вийти із залежності від імпорту, забезпечуючи країнам можливість диверсифікувати свою економіку та захистити її від непередбачуваних коливань цін на викопні види палива та одночасно стимулюючи інклюзивне економічне зростання, створення нових робочих місць та діяльність із зменшення масштабів бідності.

Сьогодні застосування відновлюваної енергії фактично є найдешевшим варіантом енергопостачання у більшості регіонів світу. Ціни на технології використання відновлюваних джерел енергії стрімко падають. У період з 2010 до 2020 року вартість електроенергії від сонячних батарей знизилася на 85 відсотків. Вартість наземної та морської вітрової енергії зменшилася на 56 та 48 відсотків відповідно.

Падіння цін робить відновлювані джерела енергії більш привабливими для всіх, у тому числі для країн з низьким та середнім рівнем доходу, на які припадатиме більша частина додаткового попиту на нову електроенергію. В умовах зниження витрат значна частина нових поставок електроенергії найближчими роками цілком можливо забезпечуватиметься за рахунок низьковуглецевих джерел.

До 2030 року дешева електроенергія із відновлюваних джерел може забезпечити 65 відсотків усього світового електропостачання. Це дозволить на 90 відсотків декарбонізувати енергетичний сектор до 2050 року, значно скоротивши викиди вуглецю та сприяючи пом'якшенню наслідків зміни клімату [1].

У 2022 та 2023 роках вартість сонячної та вітрової енергії як і раніше перевищуватиме показники, що існували до пандемії, через загальне підвищення цін на товари та перевезення, проте, за твердженням Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), їх фактична конкурентоспроможність підвищується через набагато швидше зростання цін на газ і вугілля.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), близько 99 відсотків світового населення дихають повітрям, параметри якості якого перевищують гранично допустимі значення та загрожують здоров'ю людини, а понад 13 млн щорічних смертей у всьому світі пояснюються екологічними причинами, включаючи забруднення повітря.

Шкідливі для здоров'я рівні вмісту дрібних твердих частинок та двоокису азоту обумовлені головним чином спалюванням викопних видів палива. У 2018 році забруднення повітря викопними видами палива призвело до медичних та економічних витрат у розмірі 2,9 трлн дол. США, що відповідало приблизно 8 млрд дол. США на день [1].

Таким чином, перехід на екологічно чисті джерела енергії, такі як вітер та сонце, допомагає вирішити не лише проблему зміни клімату, а й проблеми забруднення повітря та погіршення здоров'я населення.

У 2020 році на субсидування галузі викопного палива було витрачено близько 5,9 трлн дол. США, у тому числі у формі прямих субсидій та податкових пільг та у зв'язку з завданням шкоди здоров'ю населення та навколишньому середовищу, який не було враховано у вартості викопних видів палива [1].

Для порівняння, до 2030 року у відновлювані джерела енергії, включаючи технології та інфраструктуру, необхідно інвестувати близько 4 трлн. дол. США на рік, щоб до 2050 року досягти чистого нульового рівня викидів.

Початкові витрати можуть здатися непосильними для багатьох країн з обмеженими ресурсами, і значній кількості з них потрібна фінансова та технічна підтримка для здійснення переходу. Але інвестиції у відновлювані джерела енергії окупляться. Лише скорочення забруднення та впливу на клімат може заощадити світу до 4,2 трлн дол. США на рік до 2030 року.

Крім того, ефективні та надійні технології використання відновлюваних джерел енергії можуть створити систему, менш схильну до ринкових потрясінь, та підвищити стійкість та енергетичну безпеку за рахунок диверсифікації енергопостачання [1].

Таблиця 1.1. - Оцінка потенціалу енергозбереження

Сектор	Показники ефективності	Визначення потенціалу енергоефективності
Енергоджерела	Питомі витрати палива за виробітку тепла і електроенергії	Різниця між фактичним і нормативними (краще галузевими) значеннями
Теплові мережі	Втрати теплової енергії і теплоносія	Різниця між фактичними і нормативними показниками
Електричні мережі	Втрати електроенергії	Різниця між фактичними і нормативними значеннями
Житловий фонд	Питомі витрат тепла на 1 м ² , витрати електроенергії і води на 1 людину на рік	Різниця між фактичними і нормативними для цього типів будівель значенням

Визначивши питомі показники ефективності по всьому ланцюжку від виробництва до кінцевого споживання енергоресурсів, можна визначити сумарний потенціал енергозбереження для регіону, підприємства або будівлі та проаналізувати його структуру. Найбільший потенціал енергозбереження має житловий сектор, який займає друге місце за величиною кінцевого споживання енергії. Реалізація заходів щодо підвищення енергоефективності у житловому

секторі не лише зменшить споживання енергії, але й призведе до додаткової економії завдяки ефекту мультиплікації, що знижує споживання первинної енергії.

Рівень енергоефективності будівель залежить від багатьох різних організацій, залучених до процесів будівництва, управління та експлуатації будівель. Всі вони можуть впливати на споживання енергії всередині будівель, але не всі мають достатні стимули для здійснення змін. Ці бар'єри характерні для житлового сектору в багатьох країнах світу.

Необхідно звернути увагу на те, що впровадження заходів з підвищення енергоефективності, таких як модернізація опалювальних систем, встановлення енергоефективних вікон та утеплення стін, може значно знизити витрати на енергію. Крім того, важливим є використання сучасних технологій та матеріалів, що дозволяють досягти високих показників енергозбереження.

Також варто зазначити, що енергоефективність будівель впливає на загальну екологічну ситуацію, знижуючи викиди парникових газів і зменшуючи навантаження на енергосистеми. Це, у свою чергу, сприяє сталому розвитку та підвищенню якості життя.

Таким чином, заходи з підвищення енергоефективності у житловому секторі є ключовими для досягнення значних результатів у збереженні енергії та поліпшенні екологічної ситуації. Впровадження відповідних технологій та стимулів для організацій, що впливають на енергоефективність будівель, є важливим кроком на шляху до ефективного та раціонального використання енергоресурсів.

Основні бар'єри енергоефективності у житловому секторі та рішення для усунення цих бар'єрів показані у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. - Бар'єри та рішення для підвищення енергоефективності у житлових будинках

Бар'єри	Рішення	
Власники квартир та керуючих компаній не		Розповсюдження інформації щодо підвищення енергоефективності

знайомі зі заходами підвищення енергоефективності	Заходи швидкої віддачі	
У підрядчиків відсутні стимули щодо підвищення енергоефективності		Обов'язкові мінімально допустимі вимоги в стандартах енергоефективності будівель, введення енергетичних паспортів для моніторингу енергоефективності протягом строку експлуатації будівлі
Стандарти теплозахисту будівель добровільні з 2010 року		
Обмежений доступ до власників квартир та керуючих компаній до зовнішнього фінансування	Базові міри	Вимоги підвищення енергоефективності при представленні фінансової підтримки від держави на проведення ремонтів
У власників квартир немає стимулу до інвестування в енергозбереження		Стимулювання установки приладів обліку
		Створення фонду, який представляє гарантії по кредитах на проведення ремонтів, які підвищують енергоефективність будівель

Головною метою енергозбереження при експлуатації житлових будівель є не ліквідація споживання енергоресурсів, а їхнє зниження. Тому насамперед необхідно проводити ті енергозберігаючі заходи, які мають максимальний потенціал енергозбереження (рис. 1.1).

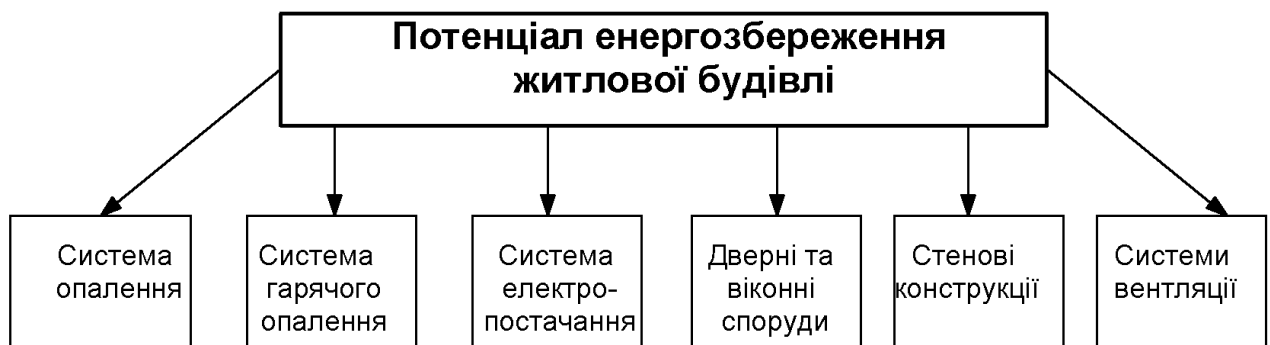


Рисунок 1.1. – Енергозберігаючі заходи, які мають максимальний потенціал

Цей показник не підлягає регулярному державному контролю, відсутня загальноприйнята методика його кількісного обчислення. Для оцінки потенціалу енергозбереження житлових будівель можна використати таку формулу:

$$\Delta R_n = \frac{R_{\text{факт}} - R_{\text{етал}}}{R_{\text{факт}}} \cdot 100 \quad (1.1)$$

де $R_{\text{факт}}$ - фактичне енергоспоживання (т.у.п.),

$R_{\text{етал}}$ - енергоспоживання на еталонному об'єкті житлових будинків.

Від правильності вибору $R_{\text{факт}}$ та $R_{\text{етал}}$ з масивів вихідних даних великою мірою залежить отримуваний результат – значення величин ΔR_n та подальші висновки та рекомендації. Величину $R_{\text{етал}}$ вибирають за експериментальними, розрахунковими або паспортними показниками електроспоживання конкретних діючих процесів та об'єктів. Еталонним повинен бути об'єкт, у якого питомі показники витрати енергоносія суттєво нижчі за нормативні.

Як розумна альтернатива "теоретичному" підходу до оцінки потенціалу енергозбереження, багаторазово перевірений та широко використовуваний в практиці енергетичних обстежень метод порівняння фактичних показників енерговитратності конкретних технологій та обладнання з заявленими характеристиками енергоефективності відомих діючих або новітніх аналогів довів свою ефективність.

Після виявлення джерел втрат та ділянок нераціонального використання енергії, а також розрахунку їх потенціалу енергозбереження, необхідно розпочати розробку пропозицій та заходів щодо реалізації резерву економії енергоресурсів. В алгоритмі методики розрахунків енергозберігаючих заходів для житлових будівель існують певні обмеження, пов'язані зі специфікою дослідження. Математично такі вимоги до функціонування управління енергоресурсами можуть бути виражені критерієм оптимальності та сукупністю обмежень (рівностей та нерівностей), встановлених на всі або деякі види енергоресурсів.

Для практичної реалізації заходів з енергозбереження необхідно враховувати кілька ключових аспектів:

Технічний аналіз: Проводити детальний технічний аналіз поточного стану енергоспоживання з метою виявлення основних джерел втрат та неефективностей.

Економічна оцінка: Оцінювати економічну доцільність впровадження тих чи інших заходів з енергозбереження, з урахуванням витрат та очікуваної економії.

Впроваджувати сучасні технологічні рішення та інновації, що дозволяють досягти високих показників енергоефективності.

Враховувати регуляторні вимоги та стандарти, що діють у сфері енергозбереження та енергоефективності.

Забезпечити організаційні заходи для ефективного управління енергоресурсами, включаючи підготовку та навчання персоналу, моніторинг та контроль за споживанням енергії.

Таким чином, використання багаторазово перевірених методик та впровадження комплексних заходів з енергозбереження дозволить значно підвищити енергоефективність житлових будівель, знизити витрати на енергоресурси та покращити екологічні показники:

$$\Phi_{\text{ц}}(y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n) \rightarrow \min,$$

де $\Phi_{\text{ц}}$ - цільова функція системи управління енергоресурсами.

$$x_1 \leq X_1 \quad x_i \leq X_i \quad x_m \leq X_m \quad (1.2)$$

Прикладами таких обмежень системи енерговитрат є:

а) обмеження s -го показника якості для i -го продукту, передбачені нормативно-технічною документацією (для житлових будівель - певна якість очищення води та стоків, підтримання комфортної температури у приміщеннях відповідно до норм ПДВ та ПДЗ);

$$(Q_{is})_{min} \leq q_{is} \leq (Q_{is})_{max} \quad (1.3.)$$

б) обмеження, що свідчать про те, що цей аргумент не може мати негативних значень: $y_i \geq 0$ (для житлових будівель обсяги подачі води, тепла, електричної енергії не можуть мати негативних значень);

в) обмеження на використання будь-якого лімітованого i -го ресурсу для житлової будівлі:

$$\sum A_i \cdot N_{ig} \leq G_i \quad (1.4.)$$

де A_i -обсяг споживаних енергоресурсів,

N_{ig} -норма витрати g -го ресурсу в i -му житловому будинку,

G_i -вартість енергоресурсів.

Варто відзначити, що існують різні комбінації обмежень. В певних умовах, зокрема при балансуванні планів подачі енергоресурсів до житлового будинку, перевиконання запланованих завдань може бути недоцільним. У таких випадках вимоги до системи управління енергоресурсами житлового будинку формуються таким чином:

✓ Ефективне використання ресурсів - система управління повинна забезпечити оптимальне використання енергоресурсів, запобігаючи перевитратам та надмірному споживанню.

✓ Гнучкість у плануванні - система повинна мати здатність адаптуватися до змін у планах подачі енергоресурсів, враховуючи можливі відхилення від запланованих завдань.

✓ Балансування споживання - необхідно забезпечити баланс між споживанням енергії та її подачею, уникати значних коливань, які можуть призвести до втрат енергії або надмірного навантаження на систему.

✓ Пріоритизація завдань - в системі управління повинні бути встановлені пріоритети для виконання завдань, що дозволить оптимально розподіляти енергоресурси між різними потребами.

✓ Моніторинг та контроль - постійний моніторинг споживання енергії та контроль за дотриманням запланованих показників є необхідними для забезпечення стабільності системи.

✓ Економічна ефективність - врахування економічних показників при плануванні та управлінні енергоресурсами допомагає знизити витрати та підвищити загальну ефективність системи.

Ці вимоги допоможуть забезпечити раціональне управління енергоресурсами у житловому будинку, знижуючи ризик перевиконання запланованих завдань і досягнення оптимального балансу між споживанням і подачею енергії:

$$\Phi_{\text{ц}}(y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n) \rightarrow \min \quad (1.5.)$$

де $\Phi_{\text{ц}}$ - цільова функція системи управління енергоресурсами.

$$y_1 \leq Y_1 \quad y_i \leq Y_i \quad y_m \leq Y_m$$

Для системи управління енергоресурсами житлової будівлі може служити обмеження на обсяги енергоресурсів, що постачаються:

$$A_i = (A_{\text{треб}})$$

де $A_{\text{треб}}$ – кількість енергоресурсів, необхідне для подачі споживачам. Завдання має бути виконане, але його не слід перевиконувати.

Після виявлення джерел нераціонального споживання енергоресурсів складається перелік енергозберігаючих заходів, які включаються в програму енергозбереження. Незважаючи на велику кількість можливих заходів, необхідно оцінити доцільність впровадження лише тих, що мають найбільший потенціал для економії енергії.

Алгоритм відбору та розрахунку економічної ефективності енергозберігаючих заходів з урахуванням наявних обмежень виглядає наступним чином:

- ✓ Визначення максимального потенціалу енергозбереження будівлі - на цьому етапі проводиться аналіз поточного енергоспоживання та визначається максимальний можливий обсяг економії.

- ✓ Складання енергетичного паспорта будівлі - підготовка документа, що містить детальну інформацію про енергоспоживання, технічний стан будівлі та потенціал для енергозбереження.

- ✓ Відбір енергозберігаючих заходів за результатами енергетичного паспорта - на основі отриманих даних визначаються найбільш перспективні заходи для впровадження.

- ✓ Розрахунок економічної ефективності та термінів окупності обраних енергозберігаючих заходів - оцінка витрат та очікуваної економії для кожного заходу, а також визначення терміну, за який витрати на заходи окупляться.

- ✓ Зведення результатів розрахунку економічної ефективності енергозберігаючих заходів до Програми енергозбереження - формування фінального документа, що містить усі обрані заходи та їхню економічну оцінку.

Таким чином, впровадження програми енергозбереження дозволяє ефективно знизити енергоспоживання, забезпечити економічну доцільність заходів і покращити загальну енергоефективність будівлі. Це не лише зменшує витрати на енергоресурси, але й сприяє поліпшенню екологічних показників та створенню комфортніших умов для проживання та роботи.

Мета енергетичної паспортизації будівель полягає у перевірці фактичного стану споживання енергії та тепла в житловому секторі, виділенні будівель, які потребують першочергових заходів з підвищення теплозахисних властивостей, а також у пошуку оптимальних шляхів зниження витрат на теплоспоживання. Завдяки цьому алгоритму можна виявити будинки, які терміново потребують енергетичної реконструкції.

Для мешканців ефективне використання енергії означає зменшення грошових витрат, збереження цінних невідновлюваних енергоресурсів, а також значне покращення навколишнього середовища завдяки зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу. Результати розрахунків економічної ефективності типових енергозберігаючих заходів у різних напрямках показали, що можна досягти економії енергоресурсів у розмірі 3-15% при термінах окупності від 0,5 до 3 років.

Рішення завдань з підвищення енергоефективності діяльності підприємств будівельного комплексу вимагає високого ступеня координації дій з боку федеральних органів виконавчої влади, місцевого самоврядування, організацій та населення. Це забезпечить комплексний підхід до впровадження енергозберігаючих заходів, який враховує не лише економічну, але й екологічну складову, сприяючи сталому розвитку будівельного сектора.

Сьогодні в будівельній галузі на перший план виходять питання енергетичної ефективності існуючих та новозбудованих об'єктів через значний вплив фінансових та загальноекономічних факторів. Згідно із законодавством, будівлі повинні бути спроектовані та зведені таким чином, щоб під час їх експлуатації забезпечувалося ефективне та економне використання енергетичних ресурсів, дотримуючись встановлених вимог до параметрів внутрішнього мікроклімату приміщень та санітарно-гігієнічних норм.

Енергоефективність та енергозбереження входять до п'ятірки стратегічних напрямів пріоритетного технологічного розвитку і є значним резервом для економіки країни. Для розвитку енергозбереження необхідно проводити фундаментальні дослідження, спрямовані на розробку енергозберігаючих технологій з урахуванням кліматичних умов та особливостей вітчизняних промислових та житлових об'єктів. При цьому слід використовувати успішний зарубіжний досвід, адаптуючи його до відповідних умов.

Таким чином, досягнення високої енергоефективності в будівельному секторі потребує комплексного підходу, що включає як розробку нових технологій, так і застосування існуючих методів, перевірених на практиці у

різних кліматичних зонах та економічних умовах. Це сприятиме підвищенню якості будівель, зниженню витрат на енергоресурси та покращенню екологічної ситуації.

Сучасні підходи до енергозбереження охоплюють кілька ключових напрямів:

- ✓ Модернізація виробничих процесів із впровадженням енергоефективних технологій та обладнання.

- ✓ Підвищення енергоефективності будівель та споруд, що включає теплоізоляцію, модернізацію систем опалення та вентиляції, встановлення енергоефективних вікон та дверей.

- ✓ Стимулювання раціонального використання електроенергії серед споживачів за допомогою організаційних та нормативних заходів, коригування тарифної політики, а також субсидування проєктів з підвищення енергоефективності об'єктів.

Ці напрями допомагають знизити витрати на енергоресурси, підвищити ефективність їх використання та сприяти сталому розвитку.

Одним із пріоритетних напрямів є підвищення енергоефективності будівель та споруд. При аналізі та вирішенні проблем енергозбереження в сучасному будівництві була запропонована система комплексних заходів для підвищення енергоефективності будівель та споруд, яка включає:

- ✓ Зниження споживання теплової та електричної енергії у будинках;
- ✓ Визначення класу енергетичної ефективності будівлі;
- ✓ Впровадження обов'язкового енергоаудиту будівель бюджетних установ;

- ✓ Стимулювання фінансових механізмів для застосування заходів щодо підвищення енергоефективності.

Одним із найефективніших шляхів зменшення споживання теплової енергії є зниження тепловтрат будівлі. Для цього необхідно знати розподіл енергетичного балансу об'єкта та можливості енергозбереження за різними

складовими балансу. На рисунку 1.2 наведено усереднений баланс теплових втрат будівель у відсотках, складений за різними експертними оцінками.

Цей підхід дозволяє не тільки підвищити енергоефективність, але й забезпечити економію фінансових ресурсів, покращити комфортність проживання та зменшити негативний вплив на довкілля.

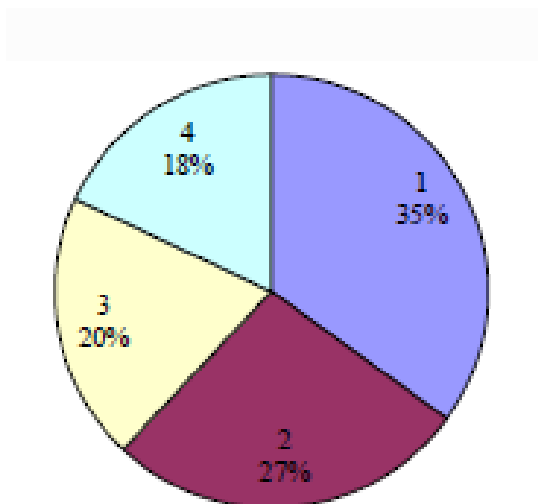


Рисунок 1.2. - Середній баланс теплових втрат будівель:

1 – шляхом інфільтрації; 2 – через зовнішні стіни; 3 - через віконні та дверні отвори; 4 - через перекриття (1-го поверху та горищне)

Баланс теплових втрат залежить від багатьох факторів, таких як регіон будівництва, рік зведення будівлі, її призначення, поверховість, тип огорожувальних конструкцій та орієнтація на сторони світу. З рисунка 1.1 видно, що найбільші втрати тепла в будівлі відбуваються через інфільтрацію та повітрообмін у приміщеннях. Скоротити ці втрати можна за рахунок встановлення сучасних віконних та дверних блоків, а також правильної організації повітрообміну в приміщенні.

Другими за величиною тепловтратами в усередненому балансі втрат будівель є втрати тепла через зовнішні стіни. Теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій старих будівель більше ніж утричі нижчі за діючі

нормативні вимоги, що призводить не тільки до підвищеного енергоспоживання, але й до зниження комфортних умов проживання.

Наразі для зниження тепловтрат через огорожувальні конструкції розроблено безліч технологій, які включають як утеплення новозбудованих будівель, так і покращення теплозахисних властивостей будівель старої забудови. Утеплення стін може проводитися як зовні будівлі, так і зсередини. Проте внутрішнє утеплення не набуло широкого поширення, попри технічну простоту виконання робіт. Внутрішнє утеплення зменшує площу приміщення, зовнішні стіни при цьому схильні до промерзання і впливу перепадів температур, а між утеплювачем і стіною може утворитися конденсат. Хоча внутрішнє утеплення дозволяє знизити тепловтрати, зовнішні стіни залишаються незахищеними від навколишнього середовища.

Перевагу віддають зовнішньому утепленню стін, оскільки воно має ряд переваг: зовнішні стіни надійно захищені від сезонних та добових температурних коливань і впливу опадів, точка роси винесена за межі конструкції стіни, а також підвищуються звукоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій. Таким чином, зовнішнє утеплення є оптимальним рішенням для зменшення тепловтрат та підвищення енергоефективності будівель.

Існує кілька технологій зовнішнього утеплення, серед яких особливо поширені технології «мокрого» та вентильованого фасаду.

Технологія «мокрого» фасаду включає комплексне утеплення будівлі з використанням суцільного шару теплоізоляційних плит, які згодом покриваються різними оздоблювальними матеріалами, такими як декоративна штукатурка. Однак, при застосуванні «мокрих фасадів» існують певні труднощі та обмеження. Зокрема, неможливо виконувати оздоблювальні та монтажні роботи при температурі нижче 5°C. Для виконання робіт у зимовий період, робоча зона обгороджується спеціальною плівкою та цілодобово обігрівається тепловими гарматами до повного висихання нанесених матеріалів, що значно підвищує витрати на цю технологію.

Альтернативою «мокрим» фасадам є вентилязовані фасади, які вже близько 20 років застосовуються у будівництві та реконструкції будівель різного призначення. Особливість цього типу огорожувальних конструкцій полягає у фасадній системі, що складається з несучої конструкції, утеплювача, вітрозахисної мембрани та облицювальних матеріалів (плит, панелей або листів), які утворюють захисно-декоративний екран, що кріпиться до стіни так, щоб між облицювальним покриттям та стіною залишався повітряний проміжок.

Незважаючи на численні переваги порівняно з іншими типами утеплення, вентилязовані фасади мають свої недоліки. Значна вага захисного екрану та підконструкцій вимагає відповідної міцності несучих конструкцій будівлі. Самі підконструкції піддаються тепловим розширенням під час експлуатації, що вирішується впровадженням демпфуючих ущільнювальних стрічок між облицюванням та профілями.

Також є проблема "містків холоду", які створюють потоки тепла від стіни через металеві елементи конструкції. Встановлення прокладок з пароніту або пластику між кронштейнами та стіною, що перериває тепловий потік, може вирішити цю проблему.

Враховуючи зазначені аспекти, а також високі вимоги до професіоналізму будівельників та монтажників, один з головних недоліків таких конструкцій полягає у їхній високій вартості.

Описані недоліки існуючих методів утеплення спонукають до пошуку нових, більш доступних технологій для зменшення теплових втрат через зовнішні стіни будівель. Зазначимо не лише високу вартість таких рішень, але й тривалий термін їх окупності. Зниження термінів окупності можливе через зменшення вартості фасадних систем, використовуючи дешевші, але не менш довговічні конструктивні елементи.

Незважаючи на тривалі терміни окупності енергозберігаючих заходів під час капітального ремонту житлових будинків масового індустріального будівництва, їх реалізація дозволяє в короткостроковій перспективі досягти значної економії енергії. Цю енергію можна використовувати для

теплопостачання нових будівель без необхідності залучення додаткових потужностей. Зниження витрат енергії на кліматизацію будівель внаслідок впровадження цих заходів призводить до вивільнення енергогенеруючих потужностей. Це дозволяє забезпечити енергоспоживання нових будівель без додаткових витрат на введення в експлуатацію нових потужностей, що суттєво впливає на скорочення термінів окупності.

1.2. Втрати електричної енергії: причини та впливи

Сьогодні на світовій арені особливо актуальною є проблема економії енергетичних ресурсів. Розвинені країни приділяють значну увагу скороченню питомого енергоспоживання та збільшенню використання відновлюваних джерел енергії для вирішення цієї проблеми.

Основними факторами, що впливають на розвиток відновлюваної енергетики у світі, є:

- ✓ Зменшення запасів паливних ресурсів
- ✓ Зростання вартості викопного палива
- ✓ Швидке зростання населення планети
- ✓ Зростання рівня енергоспоживання
- ✓ Підвищення температури біосфери
- ✓ Необхідність зниження викидів парникових газів та інші.

Ці фактори підштовхують країни до активного пошуку та впровадження нових технологій у сфері відновлюваної енергетики, що дозволяє забезпечити стійкий розвиток та зменшити негативний вплив на довкілля.

З рисунка 1.3 [1] можна спостерігати значне зростання населення. Наприклад, у 1987 році на Землі проживало 5 мільярдів людей, а у 2019 році цей показник наближається до 8 мільярдів. Одночасно з ростом чисельності населення збільшується й енергоспоживання, що призводить до значного збільшення обсягів викидів парникових газів (вуглекислого газу, метану, оксиду азоту тощо) (рисунок 1.4) [2]. За прогнозами, сценарії глобального потепління

передбачають, що до 2100 року температура біосфери може підвищитися на 5°C [3].

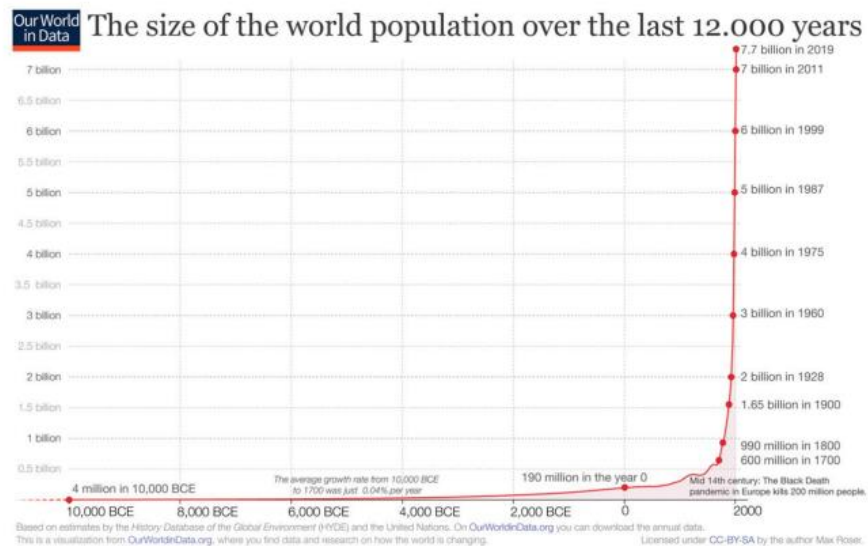


Рисунок 1.3. – Графік зростання населення Землі [1].

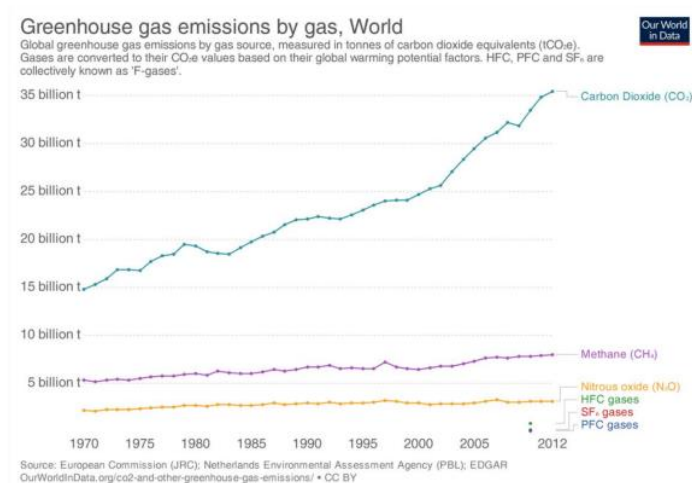


Рисунок 1.4. – Графік збільшення обсягу викидів вуглекислого газу [2].

Концепція сталого розвитку отримала широке обговорення та впровадження на глобальному рівні. Вона спрямована на забезпечення безпечного природного середовища, збереження ресурсів для майбутніх поколінь, зменшення негативного впливу на довкілля та раціональне використання природних ресурсів у містобудівній діяльності.

Зростання попиту на електроенергію стимулює інтерес до відновлюваних джерел енергії. Країни Європейського Союзу розробили стратегію енергозбереження "ENERGYSTRATEGY 2020", яка передбачає скорочення викидів парникових газів більш ніж на 20%, збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) понад 20% та економію енергії щонайменше на 20% до 2020 року.

На сьогоднішній день Євросоюз прийняв довгострокову стратегію "ENERGYSTRATEGY 2050", яка має на меті скоротити викиди парникових газів на 80-95% порівняно з рівнем 1990 року.

В Україні відновлювані джерела енергії розташовані майже на всій території країни. До основних складових відновлюваної енергетики відносяться вітроенергетика, сонячна енергетика, мала гідроенергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика та енергетика доквілля. Технічний річний сумарний енергетичний потенціал основних видів відновлюваних джерел енергії в Україні оцінюється у 80 млн тонн умовного палива (таблиця 1.3). Однак, економічно ефективний потенціал значно нижчий [9].

Інтенсифікація науково-дослідних робіт у галузі відновлюваної енергетики, створення законодавчої та нормативної бази, а також системи державного економічного стимулювання сприятимуть ефективному та широкому використанню нетрадиційних відновлюваних джерел енергії.

В Україні частка ВДЕ становить близько 3%, а в електрозабезпеченні насамперед за рахунок гідроенергетики близько 7% [9].

Таблиця 1.3. – Потенціал енергії відновлювальних джерел в Україні [9]

Напрямок засвоєння ВДЕ	Річний технічний енергетичний потенціал, млн. т.у.п. ВДЕ		Щорічні обсяги заміщення природного газу млрд. м ³
	млрд. кВт · год	млн. т.у.п.	
Вітроенергетика	41,7	21	18,26
Сонячна енергетика	28,8	6	5,22
Геотермальна енергетика	105,1	12	10,43

Гідроенергетика	27,7	10	8,70
Біоенергетика	162,8	20	17,40
Енергія оточуючого середовища	154,7	18	15,65
Всього ВДЕ	520,8	87	75,66

На всій планеті активно розвиваються технології сонячної енергетики, чому сприяє доступність сонячних батарей. Наприклад, на сьогоднішній день вартість тонкоплівкових фотоелементів третього покоління становить від 0.25 долара за 1 кВт. На рисунку 1.5 представлено криву зміни цін на сонячні панелі з 1976 року, де можна побачити рівномірне зниження цін [10].

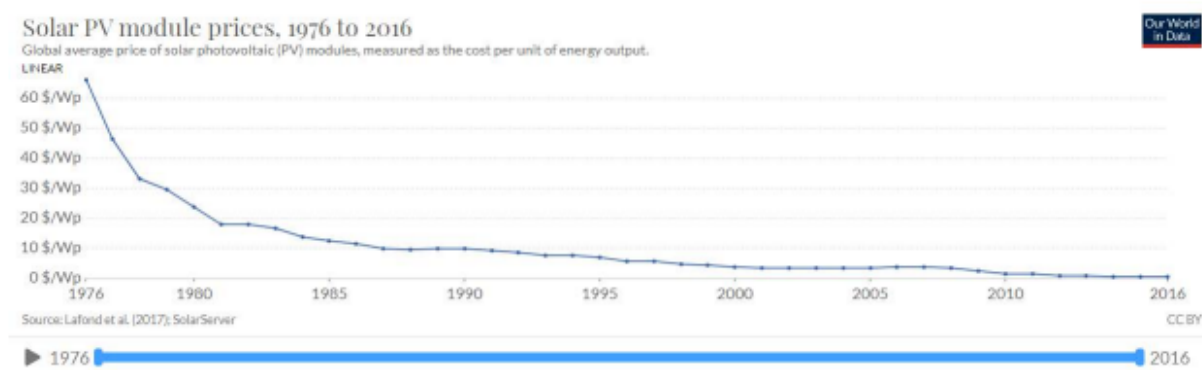


Рисунок 1.5. – Графік зміни вартості сонячних панелей з 1976 по 2016 рр [10].

Одним із ключових механізмів підвищення енергозбереження є впровадження «зеленого» будівництва. «Зелені» будівлі не лише забезпечують високий рівень якості будівництва, але й мінімізують витрати, зберігаючи при цьому комфорт для користувачів. Створені стандарти сприяють швидкому переходу від традиційного проектування та будівництва до сталого, екологічно орієнтованого підходу.

Будівлі, спроектовані відповідно до "зелених" стандартів, є безпечними для здоров'я мешканців і мають менший негативний вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційними будівлями. Вони значно зберігають енергетичні ресурси, що є важливим фактором для майбутніх поколінь.

Зниження витрат на експлуатацію таких будівель також сприяє їх економічній привабливості.

Досвід як вітчизняних, так і зарубіжних практик показує, що одним із найефективніших способів скорочення питомого енергоспоживання є заходи, пов'язані з додатковою теплоізоляцією. Це включає утеплення огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорож, горищних та технічних приміщень. Крім того, важливою складовою є раціональна експлуатація інженерних систем, що дозволяє оптимізувати споживання енергії та зменшити втрати тепла.

Отже, впровадження «зеленого» будівництва та відповідних енергоефективних заходів дозволяє не тільки знизити енергоспоживання, але й покращити екологічну ситуацію, зберегти природні ресурси та забезпечити комфортні умови для життя і роботи.

Дослідження показують, що потенційні ресурси для енергозбереження у сфері житлово-комунального господарства можуть становити понад 50%. Проте, проблеми енергозбереження залишаються невирішеними протягом багатьох років, і впровадження енергоефективних технологій та механізмів стимулювання є критично важливим.

Заходи зі зниження питомих витрат енергії на опалення, вентиляцію та освітлення на стадії проектування часто є недостатніми. Наприклад, неефективна теплоізоляція будівель призводить до значних втрат енергії. На рисунку 1.6 представлено аналіз структури теплових втрат у житловому секторі, де видно, що погана теплоізоляція спричиняє до 23% загальних теплових втрат.

Впровадження енергоефективних технологій, таких як високоякісна теплоізоляція, модернізація систем опалення та вентиляції, а також використання енергоефективного освітлення, може значно зменшити витрати енергії. Крім того, необхідно розробити та впровадити стимули для енергозбереження, такі як державні програми підтримки, субсидії та податкові пільги.

Загалом, для досягнення високих показників енергоефективності у сфері житлово-комунального господарства потрібен комплексний підхід, який

включає як технічні рішення, так і організаційні та економічні заходи. Це дозволить не лише знизити енергоспоживання, але й забезпечити комфортні умови для проживання та зменшити вплив на навколишнє середовище.

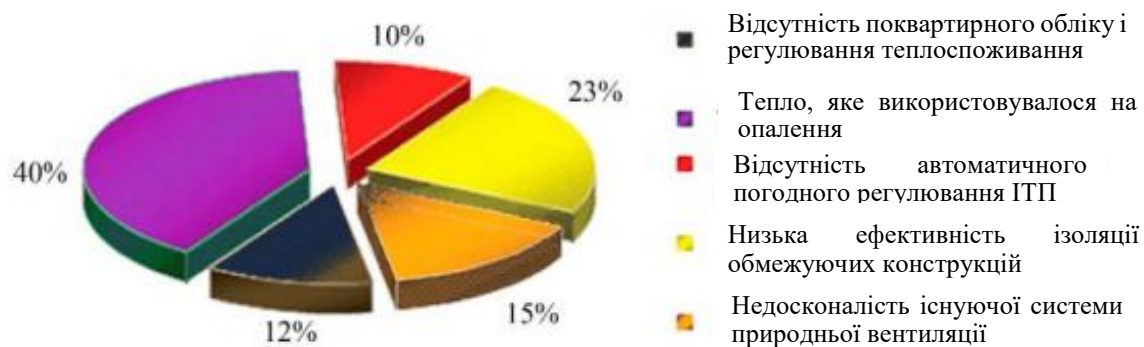


Рисунок 1.6. – Структура споживання тепла на опалення та вентиляцію

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

В розділі «Ключові проблеми розвитку відновлюваної енергетики» були розглянуті ключові проблеми розвитку відновлюваної енергетики як на глобальному, так і на національному рівнях. На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

Розвиток відновлюваної енергетики є одним з найважливіших пріоритетів сучасного світу. Зростання населення, підвищення енергоспоживання та необхідність зниження викидів парникових газів створюють значний тиск на традиційні енергетичні ресурси. У зв'язку з цим, розвиток відновлюваних джерел енергії стає необхідним для забезпечення сталого розвитку і збереження екологічної рівноваги. На національному рівні, зокрема в Україні, значний потенціал відновлюваних джерел енергії може бути ефективно використаний для задоволення енергетичних потреб та зменшення залежності від імпорتنих енергоносіїв.

Аналіз причин втрат електричної енергії показав, що основними чинниками є технічні недоліки обладнання, застарілі технології та неефективне управління енергоресурсами. Втрати електроенергії мають серйозний вплив на загальну енергетичну ефективність, збільшують витрати на виробництво та транспортування електроенергії, а також спричиняють додаткове навантаження на навколишнє середовище через підвищені викиди парникових газів. Вирішення цієї проблеми потребує модернізації енергетичної інфраструктури, впровадження новітніх технологій та підвищення ефективності управлінських процесів.

Загалом, вирішення ключових проблем розвитку відновлюваної енергетики сприятиме не лише покращенню енергетичної безпеки та зниженню екологічного навантаження, але й стимулюватиме економічний розвиток і підвищення якості життя населення. Реалізація запропонованих заходів та стратегій дозволить забезпечити сталий розвиток енергетичного сектору та сприятиме досягненню довгострокових цілей сталого розвитку.

РОЗДІЛ 2. ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

2.1. Реалізація енергоефективності у житлових будівлях

Енергоефективні будівлі вже стали реальністю нашого часу і є одним із ключових факторів сталого розвитку довкілля людини. З кінця 70-х років минулого століття вони перетворилися з одиничних пілотних проєктів на реальні об'єкти, такі як енергоактивні, енергопасивні, нульові та енергоефективні будівлі. Ці будівлі являють собою синтез архітектурно-планувальних, конструкторських та інженерних рішень, спрямованих на зниження споживання енергоресурсів без втрати надійності та комфортності.

Накопичений досвід проектування та будівництва енергоефективних будівель показує, що ефективність є динамічною характеристикою, яка формується протягом усього життєвого циклу будівлі, а не лише на стадії проектування. Саме в цьому ключі розглядається ця найважливіша характеристика. Важливу роль у формуванні енергоефективності відіграють організаційні процеси життєвого циклу будівлі, оскільки вони є основною умовою успішного проходження від задуму до реалізації.

Ефективна, продумана організаційна підготовка всіх стадій життєвого циклу будівлі — від інвестиційного задуму до виведення з експлуатації — має вирішальний вплив на ефективність взаємодії численних учасників інвестиційно-будівельного процесу. Цей процес стає дедалі складнішим у зв'язку з підвищенням вимог до енергетичної ефективності будівель.

Завдяки таким підходам енергоефективність будівель формується протягом усього життєвого циклу як складної енергетичної системи. Це включає врахування безлічі аспектів, таких як утеплення, використання відновлюваних джерел енергії, впровадження сучасних технологій управління енергоспоживанням, а також забезпечення належного технічного обслуговування протягом всього періоду експлуатації будівлі. Це дозволяє не

тільки знизити енергоспоживання, але й покращити якість життя мешканців, сприяючи збереженню природних ресурсів для майбутніх поколінь.

З часом змінилися як вимоги до енергоефективності будівель, так і наукова основа для їх досягнення. Основні з них включають:

- ✓ Зниження споживання теплової енергії на опалення будівель на 28-50%;
- ✓ Зменшення споживання первинної енергії в житлових будинках до 30%;
- ✓ Використання внутрішніх теплових ресурсів будівлі для опалення;
- ✓ Використання відновлюваних енергетичних ресурсів у будинках;
- ✓ Мінімізація теплообміну будівель з навколишнім середовищем за рахунок високоякісної теплоізоляції;
- ✓ Обмеження викидів парникових газів шляхом підвищення енергоефективності будівель;
- ✓ Розробка енергетичних паспортів будівель;
- ✓ Регулярний моніторинг витрат енергетичних ресурсів під час експлуатації будівель;
- ✓ Створення механізмів державного субсидування заходів зі зниження витрат енергоресурсів;
- ✓ Обов'язкове прийняття програм сприяння енергоефективності будівель;

Ці зміни вимагають інтегрованого підходу та участі як державних органів, так і приватного сектору для досягнення високих стандартів енергоефективності

Для досягнення високої енергетичної ефективності будівлі протягом всього її життєвого циклу важливо враховувати не лише енергоспоживання самої будівлі під час будівництва та експлуатації, але й енергію, необхідну для виробництва будівельних матеріалів, виробів та конструкцій. Оболонка будівлі (стіни, вікна, покриття та підлоги) протягом свого існування споживає енергію на різних етапах: створення захисних конструкцій, їх ремонт, а також на демонтаж та утилізацію після закінчення терміну служби. Під час експлуатації

будівля споживає енергію для підтримки належного температурно-вологісного режиму.

З точки зору енергетичної ефективності, спрямованої на мінімізацію енергетичних витрат та економію ресурсів, доцільно розділити способи енергозбереження в будівлі на активні та пасивні. Активні способи включають методи, що забезпечують енергозбереження за рахунок постійних та змінних витрат. Пасивні методи, навпаки, спрямовані на забезпечення енергозбереження без змінних витрат.

Оптимізація способів енергозбереження з урахуванням цієї класифікації представлена в таблиці 2.1. Це дозволяє ефективно планувати та впроваджувати заходи для зниження енергоспоживання та забезпечення сталого розвитку будівель.

Таблиця 2.1. - Оптимізація способів енергозберігаючих заходів

Активні способи енергозбереження	Пасивні способи енергозбереження
Сонячний колектор	Орієнтація будівлі на південь
Сонячна батарея на основі фотоелементів	Загальна архітектурно-планувальна концепція будівлі
Тепловий насос	Світла покрівля
Рекуператор	Площа скління
Теплообмінник	Вікна, що вентилюються
Тепла підлога	Рециркуляційний повітропровід у плитах перекриттів
Енергозберігаюче освітлення	Відбите освітлення
Фотоелементи пристроїв освітлення	Теплоємні огорожувальні конструкції
Автоматизована система управління інженерним обладнанням будівлі	Вузол обліку енергоресурсів

На сьогоднішній день розроблено та застосовується безліч архітектурних, конструктивних та інженерних рішень, які дозволяють знижувати рівень енергоспоживання будівлями. Очевидно, що максимальна економія енергетичних ресурсів може бути досягнута лише за умови комплексного використання енергозберігаючих рішень. Таким чином, застосування системного підходу є методологічно правильним і найефективнішим способом досягнення енергоефективності будівель.

Дослідження різних архітектурних та інженерних рішень, які сприяють енергозбереженню в будинках, вказує на необхідність їх інтеграції у концептуальну схему енергоефективної будівлі. Це дозволяє створити наочний приклад системного підходу до енергозбереження, що включає ряд ключових аспектів:

- ✓ Оптимізація планування будівлі, зменшення площ тепловтрат, використання натурального освітлення та вентиляції, а також застосування пасивних методів охолодження та опалення.

- ✓ Використання сучасних матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями, які забезпечують мінімальні тепловтрати та максимальне збереження енергії.

- ✓ Впровадження систем відновлюваної енергії, таких як сонячні панелі, вітрові турбіни, геотермальні системи, а також інтелектуальних систем управління енергоспоживанням.

Комплексний підхід до енергозбереження в будівлях дозволяє досягти високого рівня енергоефективності, знизити витрати на експлуатацію та зменшити негативний вплив на довкілля. Таким чином, інтеграція різних рішень у рамках концептуальної схеми енергоефективної будівлі є наочним прикладом системного підходу до енергозбереження та сталого розвитку.

2.2. Використання відновлюваних джерел енергії в будівлях з фасадними панелями: аналіз та оцінка

Тепло ґрунту верхніх шарів землі є одним з найбільш доступних джерел низькопотенційної теплової енергії, яка може бути використана для теплого та холодного постачання будівель. Ґрунт фактично функціонує як необмежений тепловий акумулятор, поглинаючи та зберігаючи енергію Сонця. Ця сонячна енергія, поглинена земною поверхнею, формує температурний режим шару ґрунту до 20 метрів глибини, залежно від умов місцевості.

Температурні коливання ґрунтового масиву відстають у часі від коливань температури зовнішнього повітря. Завдяки цьому, на певній глибині максимальні температури ґрунту можуть спостерігатися навіть у холодну пору року. Це явище робить ґрунт ідеальним джерелом для стабільного теплопостачання та охолодження будівель протягом усього року.

Використання геотермальної енергії ґрунту дозволяє забезпечити ефективну роботу систем опалення та кондиціонування, зменшуючи залежність від традиційних джерел енергії та сприяючи зниженню викидів парникових газів. Інноваційні системи, такі як геотермальні теплові насоси, можуть ефективно використовувати цю енергію для створення комфортного мікроклімату в будівлях.

Таким чином, інвестування в технології, які використовують тепло ґрунту, є важливим кроком на шляху до енергоефективного та екологічно чистого майбутнього. Це дозволяє не тільки економити енергетичні ресурси, але й зменшувати вплив на навколишнє середовище, зберігаючи природні ресурси для майбутніх поколінь.

На рисунку 2.1 представлено карту потенціалу накопиченої сонячної енергії у верхньому шарі ґрунту завтовшки 1,6 метра. Кількість тепла, накопиченого в одному кубічному метрі ґрунтової товщі, обчислюється за допомогою формули:

$$Q/V = \rho \cdot C \cdot (T_{1,6\text{ м}}^{\text{гр.ср.}} - T^{\text{5хС}}) \quad (2.1.)$$

де ρ – щільність ґрунту;

C – питома теплоємність ґрунту;

$T_{1,6\text{ м}}^{\text{гр.ср.}}$ — середньорічна температура ґрунту на глибині 1,6 метра;

T^{5XC} — температура повітря найбільш холодної п'ятиднівки забезпеченістю 0,92.

Ґрунтовий колектор — це система труб, через які циркулює теплоносій, який відбирає тепло від ґрунту і передає його споживачу. Спожита енергія компенсується теплоприпливами з навколишнього масиву, що дозволяє використовувати ґрунт як джерело низькопотенційного тепла. У літній період ґрунтовий масив використовується для охолодження будівель: ґрунт охолоджує теплоносій і підвищує свою температуру. Накопичене влітку тепло підвищує температурний потенціал ґрунту до початку опалювального сезону.

Концепція полягає у створенні теплозахисних і енергогенеруючих стінових конструкцій, в яких на зовнішньому боці фасаду встановлені сонячні панелі (рисунок 2.1). Пропонується виконувати фасадну систему з панелей з замкнутим повітряним вентиляваним зазором, в який подається тепле повітря, попередньо нагріте ґрунтовим теплообмінником.

Такі інноваційні рішення дозволяють суттєво підвищити енергоефективність будівель, мінімізуючи витрати на опалення та охолодження за рахунок використання відновлюваних джерел енергії та ефективної теплоізоляції. Це сприяє збереженню природних ресурсів та покращенню екологічної ситуації.

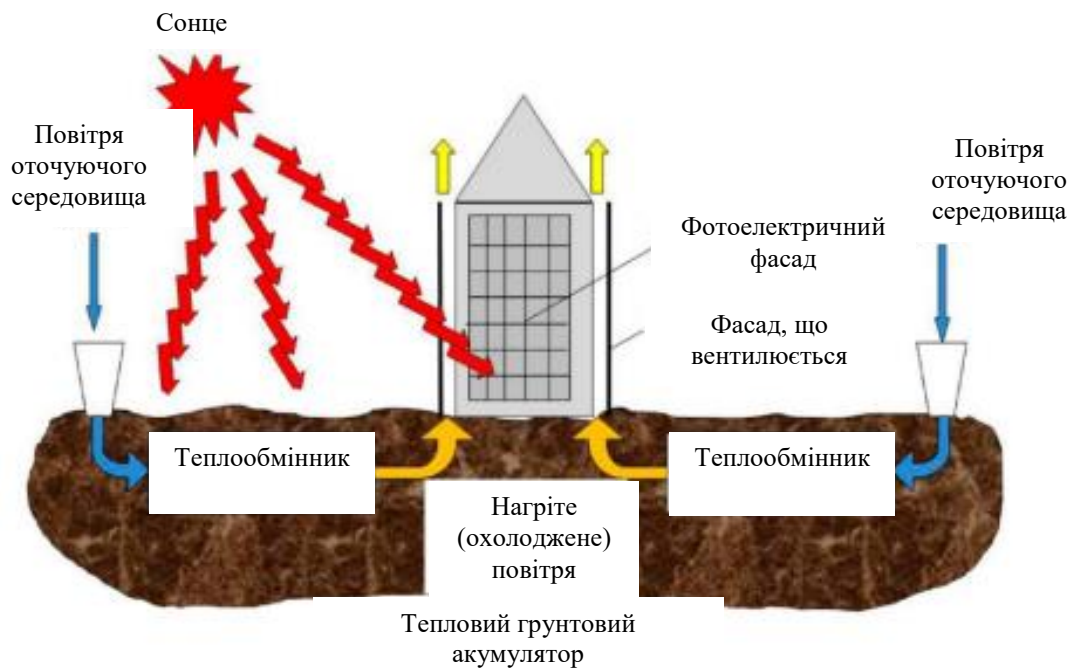


Рисунок 2.1. – Використання відновлювальних джерел енергії у будівлях з фасадними панелями з вентильованим повітряним зазором

В результаті аналізу сучасних фасадних рішень був розроблений новий тип огорожувальної конструкції – багатошарова фасадна панель (БФП). Прототипом для БФП став один із трендів європейської архітектури – кліматичний фасад, або фасад із «подвійною шкірою» (double-skin façade).

Конструкція БФП (рисунок 2.2) з повітряним вентильованим зазором складається з внутрішнього (2) та зовнішнього (6) теплоізоляційних шарів, між якими розташований каркас із перфорованих швелерів (4). Внутрішній шар панелі складається з каркасу з термопрофілів (10), облицьованих цементними вологостійкими плитами (3) з обох сторін. Між цементними плитами (1, 3) на стінки термопрофілів (10) укладається теплоізоляція (2). Цементні плити кріпляться до каркасу (10) за допомогою шурупів, а їх внутрішня поверхня та теплоізоляція з'єднуються клейовим складом.

Цементні плити (1,3), виготовлені із сердечника на основі портландцементу та легкого мінерального заповнювача, поверхні якого армовані склосіткою, захищають теплоізоляцію. Вологостійкість, стійкість до ураження грибком та пліснявою, довговічність, негорючість дозволяють зберегти мінеральну вату

протягом усього заявленого терміну служби. По чотирьох кутах внутрішнього шару панелі встановлюються елементи кріплення (11). Кріпильний елемент є коробчастим куточком з пазом, в який заводиться полиця двутавра, що утворює опорний елемент. Кріпильний елемент з'єднує всі внутрішні шари панелі між собою і з'єднується з каркасом термопрофілів за допомогою саморізів. Внутрішній шар з'єднується з несучим каркасом з перфорованих швелерів (4) за допомогою зварювання: елемент кріплення по внутрішній і зовнішній кромці приварюється до швелерів.

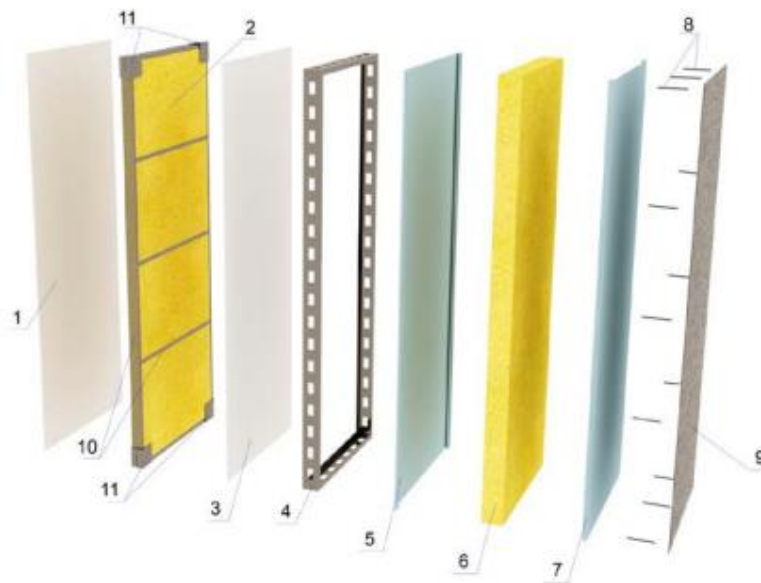


Рисунок 2.2. – Конструкція МФП з визначенням шарів

Каркас (4) виготовлений із швелерів з перфораціями у горизонтальному та вертикальному напрямках, що забезпечує безперешкодний рух повітря. Зовнішній шар панелі є тришаровою сендвіч-панеллю заводського виготовлення, яка складається з шару теплоізоляції (6), облицьованого алюмінієвими листами (5, 7) з обох сторін. З'єднання зовнішніх шарів панелей здійснюється в горизонтальному напрямку за допомогою замка Z-lock, а у вертикальному — за допомогою утеплення та встановлення спеціального нащільника.

Зовнішній алюмінієвий шар може бути забарвлений у будь-який колір та мати будь-яку фактуру, змінюючи таким чином архітектурний вигляд будівлі. Сучасні технології та обладнання для фотодруку дозволяють наносити будь-який

рисунок або текстуру на панелі, такі як імітація дерева, металу тощо. Захисні шари зберігають теплоізоляцію протягом заявленого терміну служби, запобігаючи її розпушенню, деформації та проникненню вологи всередину панелі. Крім того, ці шари слугують поверхнею, готовою для внутрішнього оздоблення.

Каркас, виготовлений з перфорованих профілів для забезпечення безперешкодного руху повітря, створює повітряний проміжок по всій площині фасаду будівлі. Герметичність конструкції стін, зібраних з таких фасадних панелей, дозволяє використовувати нагріте повітря у зазорі для зменшення витрат теплової енергії на опалення та вентиляцію.

На південному боці фасаду передбачено можливість встановлення тонкоплівкових фотоелементів на зовнішній алюмінієвий лист БФП (рисунок 2.2). Завдяки невисокій вартості (від 0.25\$ за 1 Вт), коефіцієнту корисної дії (ККД) від 12 до 20% модулів третього покоління та високій продуктивності при розсіяному світлі порівняно з кристалічними аналогами, ці елементи доцільно використовувати навіть у регіонах з переважно похмурою погодою. Деякі види модулів мають прозорість до 20%, що дозволяє застосовувати такі тонкоплівкові батареї на світлопрозорих конструкціях.

Найбільш поширеними є тонкоплівкові батареї на основі аморфного кремнію з ККД трохи більше 12%. Наразі найбільш ефективні тонкоплівкові фотоелементи виготовляються на основі індію, селену та міді з ККД близько 20%. Вікна в будинках можна робити "до підлоги", залишаючи тільки парапетну панель. Також можливе облаштування підвіконної частини з БФП, при цьому перфорації у несучому каркасі в горизонтальній площині не перешкоджатимуть руху повітря.

На рисунку 2.3 зображено схему монтажу фасаду будівлі поелементно. Монтаж панелей (1) починається знизу вгору, завершуючи будівництво парапетною панеллю (2). Вітраж (3) обладнується замкнутою конструкцією (4), яка формує віконні укоси та вузол з'єднання з панелями. На покрівлю додатково можуть бути встановлені сонячні батареї (5).



Рисунок 2.3. – Схема монтажу по элементам обмежующих конструкций будівлі

Для ефективної роботи БФП може бути використаний ґрунтовий теплообмінник. На рисунку 2.4 зовнішнє холодне повітря надходить у ґрунтовий теплообмінник, потім надходить у припливно-витяжну установку, де відбувається догрівання, і звідти надходить у приміщення. Відпрацьований витяжний повітря спочатку проходить через рекуператор, потім через конденсаційне осушувач, після чого надходить у нижній частині вентилязованого повітряного зазору фасаду. Тепле повітря в зазорі панелей піднімається вгору, де відбувається видалення витяжного повітря через вентиляційні ґрати в рівні парапету будівлі.

В літній період припливне повітря охолоджується за рахунок використання ґрунтового теплообмінника до температури ґрунту, а потім подається у повітряний зазор фасаду, що зменшує необхідну потужність системи кондиціонування.

Такі схеми роботи створюють замкнутий цикл руху повітряних мас, де весь обсяг нагрітого повітря для систем примусової вентиляції спрямовується на підтримання позитивної температури у вентильованому зазорі. Подача нагрітого осушеного повітря відбувається через розподільний П-подібний лоток, розташований під панеллю першого поверху на рівні плити перекриття між підвалом та першим поверхом. Викид повітря здійснюється через спеціальний отвір у верхній частині парапетної панелі.

Панелі, розташовані на південних фасадах, можуть мати додатковий шар – тонкоплівковий фотоелектричний перетворювач. Конструкція багатошарової фасадної панелі передбачена для будівель із сонячно-геотермальним енергопостачанням, забезпечуючи ефективне використання відновлюваних джерел енергії та мінімізацію енергоспоживання.

2.3. Технології та принципи роботи мережевих сонячних електростанцій

Зовні багатошарова фасадна панель може бути доповнена фотоелектричним перетворювачем. На прикладі триповерхової житлової будівлі розглянуто влаштування мережної сонячної електростанції, інтегрованої у південний фасад.

На рисунку 2.6 схематично зображено південний фасад. На кожній БФП можна розмістити 6 фотоелектричних перетворювачів потужністю 100 Вт з ефективністю 20% (18, 5,56 А). Всього на фасаді розмістилося 162 сонячні панелі.

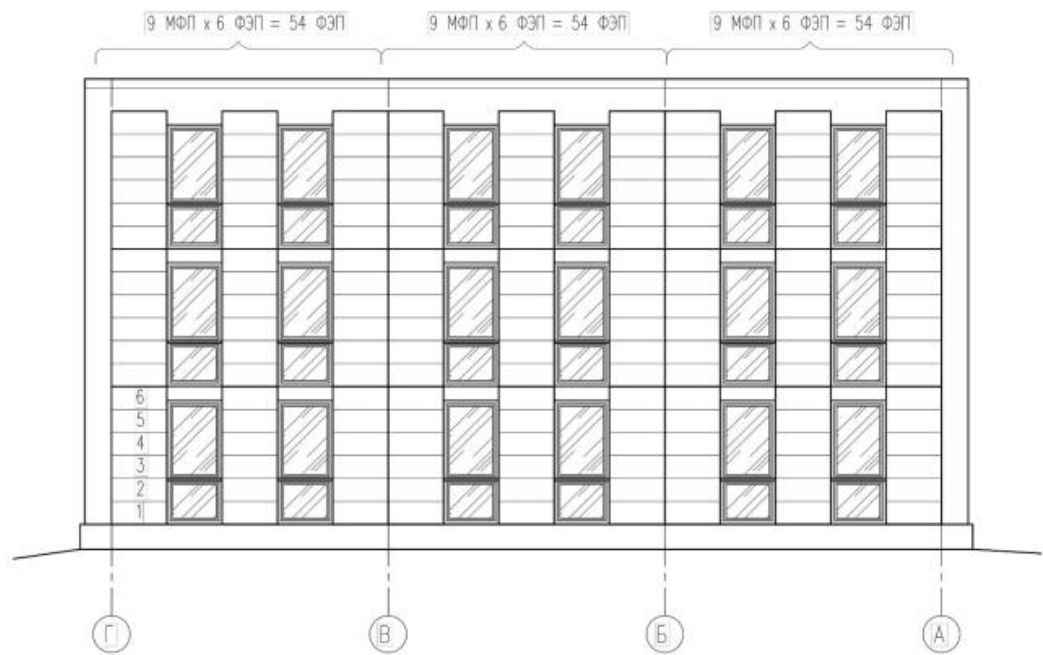


Рисунок 2.6. – Південний фасад з розташованими фотоелектричними перетворювачами

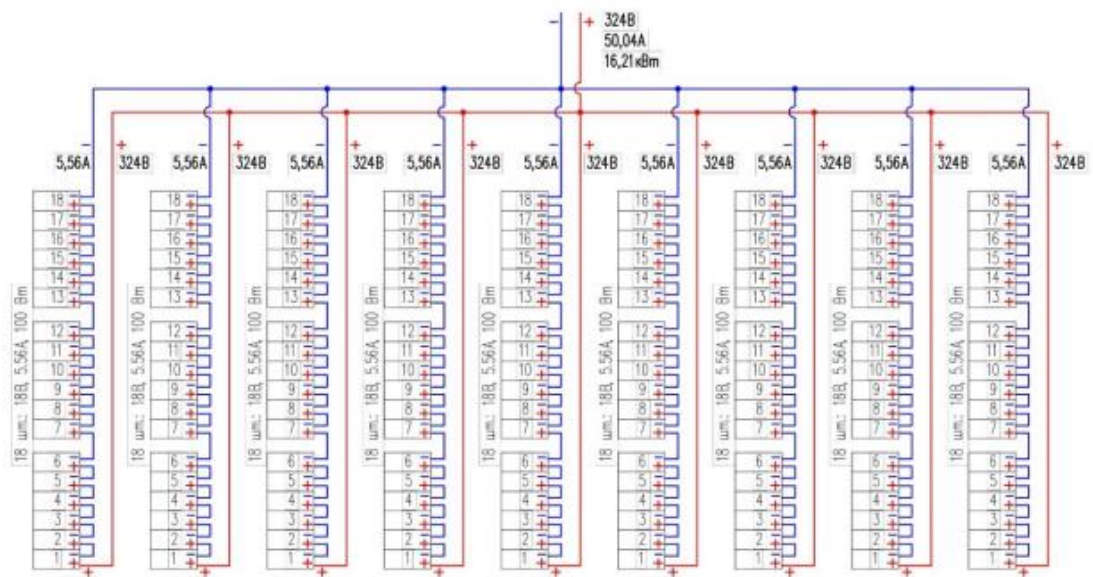


Рисунок 2.7. – Схема з'єднання сонячних панелей

На рисунку 2.8 представлено схему з'єднання інтегрованих сонячних панелей з міською мережею через мережевий герметичний трифазний інвертор із вбудованими MPPT-контролерами.

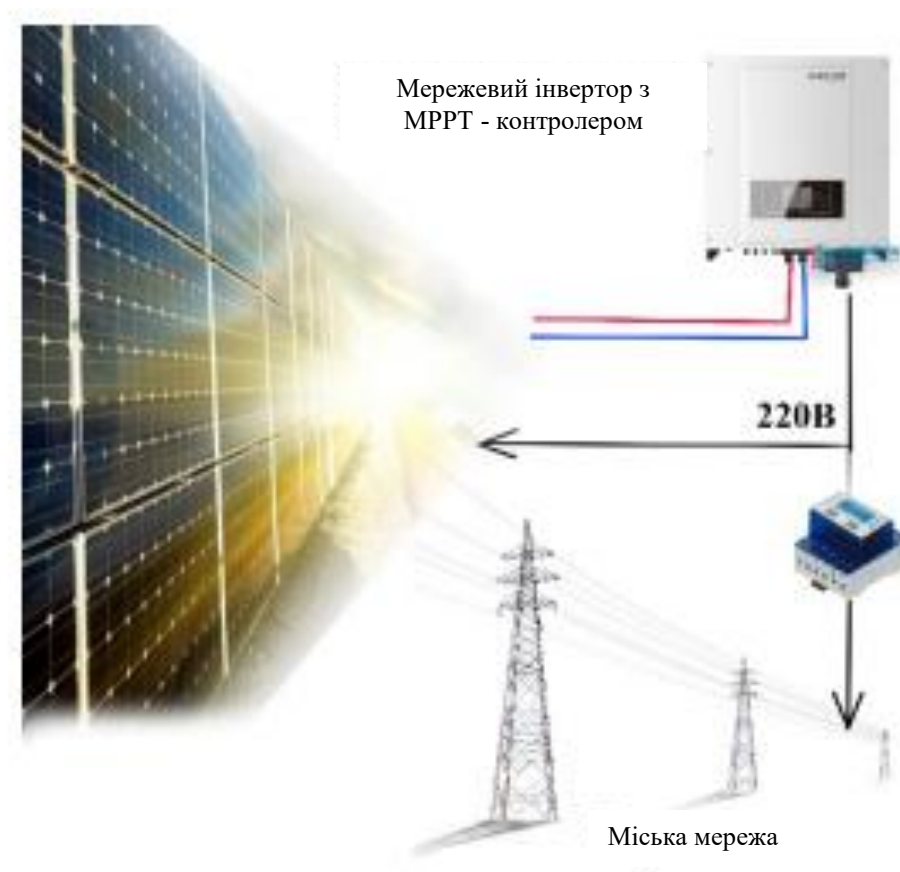


Рисунок 2.8. – Умовна схема сонячної електростанції

2.4. Ефективні стратегії використання відновлюваних джерел енергії для будівель

Розрахунок конструкції багатошарової фасадної панелі (БФП) за граничними станами першої та другої групи враховує несприятливі комбінації навантажень. Ці комбінації визначаються на основі аналізу реальних варіантів одночасного впливу різних навантажень на кожній стадії експлуатації панелі. Формула для визначення основних комбінацій навантажень, які включають постійні, тривалі та короткочасні навантаження, має наступний вигляд:

$$C_m = P_d + (\psi_{l1} \cdot P_{l1} + \psi_{l2} \cdot P_{l2} + \dots) + (\psi_{t1} \cdot P_{t1} + \psi_{t2} \cdot P_{t2} + \dots) \quad (2.2.)$$

де P_d – постійне навантаження, що дорівнює вазі панелі при максимальних товщинах теплоізоляційних шарів та максимальної величини вентиляованого зазору;

P_l – тривалі навантаження, до них відносяться впливи, зумовлені зміною вологого режиму зовнішнього шару теплоізоляції сендвіч-панелі при порушенні цілісності конструкції чи герметичності вузлів з'єднання;

P_t – короточасні навантаження, до них відносяться кліматичні навантаження. Також додатково задане горизонтальне навантаження на панель з боку приміщення.

ψ_l, ψ_t – коефіцієнти поєднань для тривалих та короточасних навантажень, відповідно, прийняті для оцінки найбільш несприятливого поєднання рівними $\psi_{l1} = 1; \psi_{t1} = 1; \psi_{t2} = 1$.

Для навісних фасадних систем необхідно враховувати пікові позитивні та негативні впливи вітрового навантаження, нормативні значення яких визначаються за формулою:

$$\omega_{+(-)} = \omega_0 \cdot k(z_e)[1 + \xi(z_e)] \cdot c_{p,+(-)} \cdot v_{+(-)}, \quad (2.3.)$$

де ω_0 - нормативне значення тиску вітру, кПа;

z_e - еквівалентна висота, м;

$k(z_e), \xi(z_e)$ - коефіцієнти, що враховують, відповідно, зміна тиску та пульсацій тиску вітру на висоті z_e ;

$c_{p,+(-)}$ - пікові значення аеродинамічних коефіцієнтів позитивного тиску (+) або відсмоктування (-);

$v_{+(-)}$ - коефіцієнти кореляції вітрового навантаження, що відповідають позитивному тиску (+) та відсмоктування (-), залежать від площі огороження, якої збирається вітрове навантаження.

У розрахунковій моделі прийнято фрагмент фасаду 3-х поверхової будівлі, $z_e = 11$ м.

Прийнятий тип місцевості В – міські території, лісові масиви та інші місцевості, рівномірно вкриті перешкодами заввишки понад 10 м-коду.

У розрахунку прийнято II вітровий район. Нормативні значення пікового вітрового навантаження прийнято $\omega_+ = 0,46$ кПа, $\omega_- = -0,841$ кПа.

Модель панелі в SOLIDWORKS розроблена з деякими припущеннями:

– Термопрофілі прийняті швелерами суцільного перерізу (без перфорацій);

- Зовнішній шар панелі (сендвіч-панель) змодельований без урахування сполучних пазів (замка Z-lock);

- Гвинти для кріплення зовнішнього шару панелі до несучого каркасу змодельовані без різьблення, капелюшки, шайби. Шайба задана відбитком на зовнішньої поверхні алюмінієвого листа (діаметром 28 мм);

- Усі сталеві елементи змодельовані без радіусів згинання з кутами 90° ;

- Самонарізні гвинти для кріплення цементних плит до каркасу з термопрофілю та кріпильних елементів та саморізи, що з'єднують каркас з термопрофілів з елементами кріплення, задані точками перетину ескізних кромок (для моделювання зазначених зв'язків у ANSYS).

У моделі були призначені наступні контактні взаємодії:

- Між цементними плитами та сталевими елементами (каркасом з перфорованих швелерів, елементами кріплення та термопрофілями) взаємодія задано контактом типу “Frictional” (фрикційний) з коефіцієнтом тертя (friction coefficient) рівним 0,45;

- Взаємодія сталевих елементів між собою (каркаса з перфорованих швелерів, кріпильних елементами та термопрофілів) контактом типу “Frictional” (фрикційний) з коефіцієнтом тертя (friction coefficient) рівним 0,15;

- Взаємодія між теплоізоляцією та сталевими елементами задано контактом типу “Frictional” (фрикційний) з коефіцієнтом тертя (friction coefficient) рівним 0,4;

- Самонарізні гвинти для кріплення цементних плит до термопрофілів та кріпильних елементів, а також для кріплення термопрофілів до кріпильних елементам задані точковими контактами "Weld";

- Взаємодії між теплоізоляцією та цементними плитами, теплоізоляцією та термопрофілями, з'єднаних між собою клейовим складом, задані контактом "Bonded";

- Зварний шов між кріпильними елементами та каркасом із перфорованих швелерів заданий контактом “Bonded”;

– Взаємодія між алюмінієвим листом сендвіч-панелі та каркасом із перфорованих швелерів задано контактом типу “Frictional” (фрикційний) з коефіцієнтом тертя (friction coefficient) рівним 0,5;

– Гвинти для кріплення сендвіч-панелі до каркасу з перфорованих швелерів задані контактом Joints (шарніри), тип Cylindrical з типом зв'язку "Body-Body".

Спочатку фіксацію сендвіч-панелі до несучого каркасу передбачалося здійснити за допомогою 6 гвинтів. Максимальні переміщення склали понад 5 мм (рисунок 2.9), що допустимо для даної висоти конструкції, але максимальна напруга в алюмінієвому листі при другому варіанті поєднання навантажень в області шайб значно перевищувала межу плинності (рисунок 2.10).

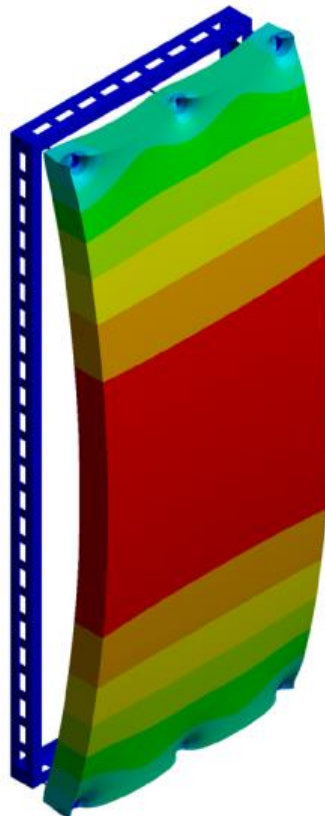
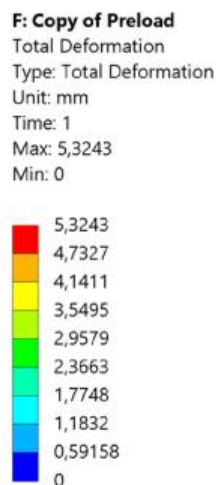


Рисунок 2.9 - Деформації зовнішнього шару (сендвіч-панелі) БФП із кріпленням за допомогою 6 гвинтів.

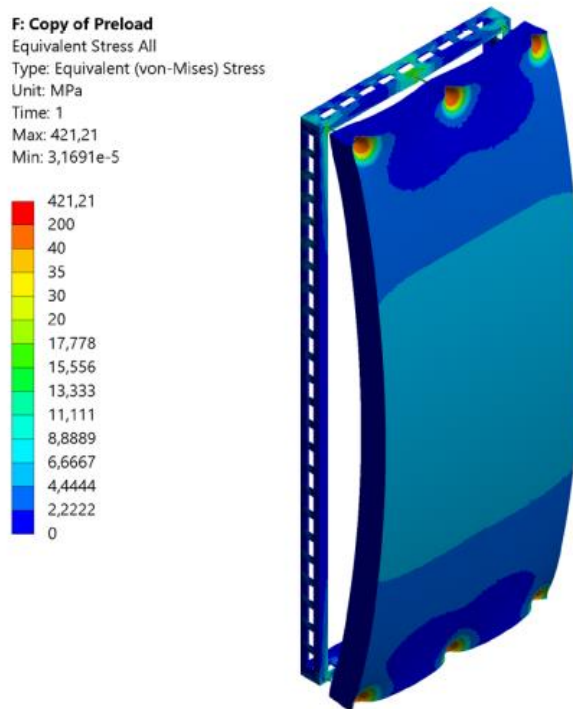


Рисунок 2.10. - Напруги в зовнішньому шарі (сендвіч-панелі) БФП із кріпленням за допомогою 6 гвинтів

Раніше проведений тестовий ітераційний розрахунок для визначення необхідної кількості кріпильних елементів і діаметра шайби був проаналізований. У ході розрахунків було встановлено необхідну кількість та розташування саморізів. Попередній натяг гвинта був встановлений за допомогою переміщення (-0,2 мм).

Для забезпечення коректності розрахунку з урахуванням можливості відриву алюмінієвого листа від головки гвинта при стисненні сендвіч-панелі, граничні умови переміщення у шарнірі Cylindrical були замінені на відповідні сили, визначені окремим розрахунком для всіх шарнірів. Результати цього розрахунку наведені у таблиці 2.2. Максимальне значення осьової сили становить 73,9 Н. В подальших розрахунках було прийнято максимальне значення осьової сили 74 Н для всіх з'єднань. Нумерація шарнірів зображена на рисунку 2.9.

Таблиця 2.2. - Значення осьових сил, спричинених попереднім натягом гвинтового з'єднання -0,2 мм

Номер шарніру	Осьова сила в з'єднанні, Н
1	4,4
2	72,7
3	64,6
4	72,5
5	73,1
6	73,7
7	64,5
8	73,4
9	64,7
10	73,9
11	73,0
126	72,5

Фіксація розрахункової моделі здійснювалася за допомогою шарнірів "Joint" типу "General" з типом зв'язку "Body-Ground". Зв'язок нижнього лівого кріпильного елемента з опорним елементом був реалізований за допомогою трьох окремих шарнірів, кожен з яких пов'язаний з відповідною контрольною поверхнею елемента кріплення, при цьому кожен шарнір забезпечував фіксацію одного ступеня свободи переміщення; ступені свободи повороту в усіх випадках були дозволені [13].

Зв'язок нижнього правого кріпильного елемента з опорним елементом був здійснений двома окремими шарнірами, кожен з яких пов'язаний з відповідною контрольною поверхнею елемента кріплення, при цьому кожен шарнір забезпечував фіксацію одного ступеня свободи переміщення (ступінь свободи переміщення вздовж осі Z був дозволений); ступені свободи повороту в усіх випадках були дозволені.

Зв'язок верхнього лівого елемента кріплення з опорним елементом здійснена одним шарніром, що обмежує ступінь переміщення вздовж осі X; ступеня свободи повороту дозволено. Зв'язок верхнього правого кріпильного елемента із опорним елементом задана аналогічно.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

В розділі «Підвищення енергоефективності будівель за рахунок використання відновлювальних джерел енергії» було розглянуто різні аспекти підвищення енергоефективності будівель за рахунок використання відновлюваних джерел енергії. На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

Використання сучасних енергоефективних технологій та рішень дозволяє значно знизити витрати на опалення, вентиляцію та освітлення у побутових будівлях. Впровадження додаткової теплоізоляції, заміна застарілих систем опалення на більш ефективні та використання енергоощадних освітлювальних приладів сприяє суттєвій економії енергії та підвищенню комфорту проживання.

Інтеграція відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі, у фасадні системи будівель дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію для забезпечення потреб будівель у електроенергії. Використання тонкоплівкових фотоелементів на фасадах сприяє підвищенню енергоефективності будівель та зменшенню залежності від традиційних джерел енергії.

Запровадження мережових сонячних електростанцій є перспективним напрямом у розвитку енергоефективних будівель. Вони забезпечують генерацію електроенергії безпосередньо на місці споживання, що дозволяє зменшити втрати при транспортуванні та підвищити загальну ефективність енергосистеми. Мережева інтеграція таких електростанцій дозволяє оптимізувати енергопостачання та сприяє стабільності електроенергетичної системи.

Комбіноване використання різних відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, геотермальна та біоенергетика, дозволяє забезпечити безперебійне та ефективне енергопостачання будівель. Такий підхід сприяє зниженню навантаження на одну конкретну систему та забезпечує більшу гнучкість і надійність енергозабезпечення.

Загалом, впровадження відновлювальних джерел енергії та енергоефективних технологій у будівельний сектор є важливим кроком на шляху

до сталого розвитку та збереження природних ресурсів. Це дозволяє знизити витрати на енергоресурси, покращити екологічну ситуацію та забезпечити комфортні умови для проживання та роботи.

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ ЗАВДЯКИ БАГАТОШАРОВИМ ФАСАДНИМ ПАНЕЛЯМ

3.1. Роль «Розумного дому» у зменшенні втрат електричної енергії

Використання приладів для обліку енергії є обов'язковою складовою при аналізі зменшення використання паливно-енергетичних ресурсів. Застосування концепції «інтелектуальної будівлі» (ІБ) завдяки комплексній інтеграції дозволяє досягти економії 10-15% порівняно з окремими системами. Споживання енергії, води, газу та тепла скорочується приблизно на 30%. Відповідно, знижуються викиди у навколишнє середовище та витрати на їх утилізацію.

Застосування сучасних енергозберігаючих технологій дозволяє знизити потужності та ресурси, що підводяться, а значить, дає можливість використовувати більш дешеві комунікації. Наприклад, підрахунки показують, що встановлення системи вентиляції та кондиціонування з рекуперацією тепла в офісно-житловому комплексі середніх розмірів дозволяє економити на електроенергії до кількох тисяч доларів на рік. При цьому витрати на обладнання окупаються приблизно за півроку. Вартість експлуатації «інтелектуального будинку» протягом його життєвого циклу є суттєво нижчою, ніж при традиційних рішеннях. Всі ці фактори забезпечують високу споживчу та інвестиційну привабливість, на що варто звернути окрему увагу.

Інвестиції в «інтелектуальні будівлі» є значно надійнішими порівняно з традиційним оснащенням завдяки тому, що використання концепції «інтелектуальної будівлі» робить всі системи стійкішими та довговічнішими завдяки оптимізації зв'язків між ними. Це, у свою чергу, усуває можливі конфлікти між системами, збільшує термін служби всієї будівлі та знижує ризики для інвесторів проекту.

Сучасна будівельна галузь активно розвивається у всіх напрямках. Інтерес до сучасних технічних систем будівель та будинків зростає. Очікується, що в 25% багатофункціональних комплексів, що проектуються та будуються, будуть використані технології «інтелектуальних будівель». Також прогнозується

зростання темпів розвитку у малоповерховому та заміському будівництві, а згодом і в основному секторі ЖКГ — багатоквартирних будинках.

Переваги використання автоматизованих систем керування будинками (АСУБ) можна детально проілюструвати на прикладах.

✓ Система відеоспостереження підвищує безпеку будівлі для бізнесу та працівників, забезпечуючи надійний контроль за периметром та внутрішніми приміщеннями.

✓ Система захисту від протікань знижує ризик аварій, швидко виявляючи та реагуючи на витoki води, що дозволяє уникнути значних пошкоджень і витрат на ремонт.

✓ Автоматизація системи вентиляції та кондиціонування підвищує комфорт у будівлі, забезпечуючи оптимальний температурний режим навіть за несприятливих погодних умов.

✓ Управління освітленням дозволяє ефективно заощаджувати ресурси, автоматично регулюючи освітлення в залежності від природного освітлення та присутності людей у приміщенні.

Кожна інженерна система відповідає за певні функції та забезпечує більш ефективне використання всіх комунікацій будівлі. Об'єднання управління цими системами призводить до синергії – зростання ефективності діяльності в результаті інтеграції окремих частин у єдиний комплекс. Це створює системний ефект, що включає підвищення безпеки, покращення комфорту та значну економію ресурсів.

Крім того, витрати на побудову такої системи зменшуються: об'єднана система стає більш потужною та коштує менше, ніж десяток окремих систем управління. Наприклад, встановлення системи вентиляції та кондиціонування з рекуперацією тепла в офісно-житловому комплексі середнього розміру дозволяє економити до кількох тисяч доларів на рік на електроенергії, а витрати на обладнання окупаються приблизно за півроку.

Таким чином, використання АСУБ забезпечує високу споживчу та інвестиційну привабливість, оскільки знижуються витрати на експлуатацію

будівлі протягом її життєвого циклу, збільшується термін служби систем та зменшуються ризики для інвесторів проекту. Це підтверджує необхідність і доцільність впровадження автоматизованих систем керування будинками в сучасних будівельних проектах.

Повернення інвестицій є ключовим фактором при ухваленні рішення про автоматизацію будівлі. Для відповідальних проектів, де використання технології «розумного будинку» є обов'язковим, оцінювати лише окупність не завжди коректно. В інших випадках проведення розрахунків є необхідним.

Наразі, з урахуванням вартості ресурсів та робочої сили, середній термін окупності «розумних» рішень становить 5-7 років. Проте, існують пропозиції з коротшими термінами окупності, наприклад, 1-3 роки. Найбільш прийнятним для інвестора є показник ефективності вкладень у відсотках річних, що дозволяє оцінити доцільність інвестицій в «інтелектуальну будівлю» або вибір будівництва звичайної будівлі.

Для розрахунку цього показника необхідно оцінити всю суму економії енергоресурсів, трудовитрат персоналу та витрат на обслуговування інженерних систем будівлі, які забезпечуються АСУБ протягом періоду, що перевищує термін окупності. З цієї суми віднімаються витрати на розробку та створення АСУБ, після чого результат призводить до відносних відсотків річних, шляхом поділу на кількість років та загальну вартість АСУБ. Середнім вважається показник 10-20% річних.

У сфері нерухомості важливо бути в курсі актуальних трендів і слідувати їм, щоб залишатися конкурентоспроможними. Наприклад, тенденція до використання автоматизованих систем керування будинками (АСУБ) у приватній нерухомості передбачає постачання майже готових рішень «з коробки» та активну пропозицію комплексних рішень економ-класу. Очікується значне зростання попиту на системи з локальною автоматикою для різних функцій, які є зручними та вигідними для користувачів.

Розвитку ринку сприятиме і конкуренція. Європейські та китайські компанії, розуміючи перспективність і ємність сегменту «розумного»

будівництва, активно починають просувати свої продукти. Це здебільшого стосується середніх компаній, оскільки великі світові виробники вже давно представлені на вітчизняному ринку.

Крім того, сучасні тенденції вимагають від розробників і постачальників рішень бути більш гнучкими та адаптивними до потреб клієнтів. Це призводить до появи нових продуктів та послуг, орієнтованих на максимальне задоволення потреб споживачів. Впровадження інноваційних технологій і постійне вдосконалення рішень сприяють підвищенню ефективності управління будинками та забезпеченню комфорту мешканців.

Таким чином, стеження за актуальними трендами в сфері нерухомості, впровадження нових технологій та адаптація до потреб ринку є ключовими чинниками для досягнення успіху в сучасних умовах. Комплексні рішення для автоматизації будинків не тільки підвищують привабливість нерухомості, але й забезпечують її конкурентні переваги на ринку.

3.2. Оцінка параметрів мікроклімату та енергоефективності будівлі

Люди проводять більшу частину свого часу в будинках, тому будівлі повинні бути не лише енергоефективними, але й комфортними, безпечними та надійними. Комфортний мікроклімат у будівлях та приміщеннях тісно пов'язаний з енергетичною ефективністю, оскільки значна частина енергоресурсів витрачається на підтримання потрібної температури за допомогою опалення чи охолодження та забезпечення повітрообміну. Показники мікроклімату є важливими складовими безпечних умов для проживання та перебування людей у будівлях і спорудах.

В проектній документації для будівель та споруд з приміщеннями, де перебувають люди, повинні бути передбачені такі заходи:

- ✓ Обмеження проникнення в приміщення пилу, вологи та шкідливих речовин з атмосферного повітря.

✓ Забезпечення повітрообміну, достатнього для своєчасного видалення шкідливих речовин з повітря та підтримання хімічного складу повітря у пропорціях, сприятливих для життєдіяльності людини.

✓ Запобігання проникненню шкідливих речовин та неприємних запахів з трубопроводів систем каналізації, опалення, вентиляції та кондиціонування, а також з повітроводів і технологічних трубопроводів, і вихлопних газів з вбудованих автомобільних стоянок.

✓ Запобігання проникненню ґрунтових газів (радону, метану) у приміщення, якщо під час інженерних вишукувань було виявлено їх наявність на території, де здійснюватиметься будівництво та експлуатація будівлі або споруди.

Комфортні умови проживання включають декілька важливих аспектів:

✓ Оптимальний тепловий режим приміщення - підтримання оптимальної температури та вологості повітря, що сприяє комфортному перебуванню людей у приміщенні.

✓ Оптимальний склад повітря - забезпечення необхідної кількості кисню та відсутність шкідливих для здоров'я людини домішок, що підтримують здорове середовище всередині приміщення.

✓ Акустичний комфорт - захист від надмірного шуму, що забезпечує спокійне та комфортне середовище для мешканців.

Повітряне середовище закритого приміщення повинне задовольняти низці вимог, які пред'являються як людьми, що знаходяться у приміщенні, так і обладнанням або майном, що зберігається всередині. Ці вимоги можна поділити на дві групи:

Санітарно-гігієнічні вимоги - спрямовані на забезпечення здорового та безпечного середовища для людей.

Технологічні вимоги - спрямовані на збереження та оптимальне функціонування обладнання та майна.

Хоча всі фактори повітряного середовища діють на людей та обладнання комплексно, вимоги до повітря закритих приміщень можна поділити на наступні групи:

а) Вимоги до газового складу повітря - регламентують допустимі відхилення у відсотковому вмісті основних газів, що становлять повітря.

б) Вимоги до чистоти повітря - обмежують вміст у повітрі різних сторонніх домішок, таких як тверді або рідкі частинки (пил, дим, туман), гази, пари та живі мікроорганізми (бактерії).

в) Вимоги до метеорологічних параметрів повітря - включають параметри температури, вологості та швидкості руху повітря, що впливають на комфорт та здоров'я мешканців приміщення.

Забезпечення відповідності цим вимогам є ключовим завданням при створенні комфортного, безпечного та енергоефективного середовища для проживання.

Фактори, що створюють комфортне середовище, включають:

- ✓ Відносну вологість повітря.
- ✓ Температуру повітря у приміщенні.
- ✓ Температуру поверхні конструкцій, що захищають.
- ✓ Теплонагромадження огорожувальних конструкцій.
- ✓ Температуру підлоги.
- ✓ Якість повітря, зокрема, вміст CO₂.
- ✓ Рух (швидкість потоку повітря).
- ✓ Освітлення, освітленість.
- ✓ Шумозахист.
- ✓ Одяг людини.
- ✓ Вид діяльності.

Таким чином, поняття «мікроклімат будівель» та «комфортні умови перебування людини в будівлях» мають відмінності та взаємно доповнюють одне одного. Важливу роль для комфортного мікроклімату відіграє теплонакопичувальна здатність конструкцій будівлі.

Влітку конструкції накопичують теплову енергію протягом дня і віддають її ввечері та вночі, охолоджуючи повітря в приміщенні. Взимку огорожувальні конструкції під час роботи опалення накопичують тепло і можуть віддавати його у повітря приміщення при вимкненні опалення. Завдяки теплонакопиченню біля стін не виникає відчуття протягів, і стіни можуть випромінювати тепло, що покращує самопочуття мешканців.

Комфорт перебування в приміщенні залежить не лише від перерахованих факторів, а й від теплового випромінювання поверхонь конструкцій, що захищають це приміщення. Це забезпечує оптимальні умови для комфортного проживання та ефективного функціонування приміщень.

Людина відчуває комфорт тоді, коли внутрішні поверхні стін взимку не холодніші за температуру повітря у приміщенні більше ніж на 3°C , а влітку не тепліші за температуру повітря більше ніж на 3°C . Температура поверхонь стін визначається їх опором теплопередачі.

Впровадження системотехнічних принципів енергоефективності будівель.

Під час аналізу сучасних методологічних засад будівельного виробництва автори дійшли висновку, що розробка методичних підходів до забезпечення енергоефективності будівель має ґрунтуватися на фундаментальних та сучасних науках, таких як системотехніка будівництва. Це твердження базується на тому, що енергоефективна будівля є складною енергетичною системою, яка не є простою сумою окремих елементів, а являє собою їх системну, синергетичну інтеграцію.

Системотехніка як науково-технічна дисципліна вивчає складні технічні, організаційні та управлінські системи, створені людиною. До них повною мірою належать автоматизовані системи управління, планування, проектування та будівництва. Становлення та розвиток системотехніки будівництва пов'язане не тільки з його комп'ютеризацією, а й зі зміною інженерного мислення. Це необхідно для проектування, будівництва та експлуатації складних об'єктів і систем, які виявили невідомі раніше проблеми, у тому числі стикові.

На даний момент процеси життєвого циклу будівель організовані таким чином, що характеристики енергоефективності досягаються простим сумуванням архітектурних, конструктивних та інженерних рішень, без врахування їх взаємозалежності та взаємодії у системі. При цьому організаційні аспекти життєвого циклу будівлі також не отримують належної уваги. Через це не вдається досягти потрібного рівня енергоефективності та забезпечити його стабільність на всіх етапах життєвого циклу.

Тому необхідно розглядати енергоефективні будівлі з позиції теорії функціональних систем – організацій, що динамічно працюють. Системний підхід, базований на теорії функціональних систем, дозволяє вивчати системну взаємодію будівлі, її внутрішньої оболонки та зовнішнього середовища. Це забезпечує більш ефективну інтеграцію всіх елементів та підвищує загальну енергоефективність будівлі.

Інтерпретація життєвого циклу енергоефективних будівель з позиції системного підходу робить обґрунтованим застосування методів системотехніки та дозволяє:

- ✓ Розглянути будівлю як єдину енергетичну систему та зрозуміти об'єднуючі причинно-наслідкові зв'язки, що характеризують перетворення початкової ситуації на кінцеву.
- ✓ Встановити взаємозв'язки функціональних підсистем та їх процесів на межах основних стадій життєвого циклу енергоефективних будівель.
- ✓ Забезпечити наступність рівня енергетичної ефективності будівель на всіх стадіях розвитку системи: від проектування до ліквідації чи реконструкції будівель із переходом на новий рівень енергетичної ефективності.

Новизна застосування системотехнічного та функціонального підходів до організації життєвого циклу будівлі полягає в усвідомленні будівлі як системи, що складається з функціональних підсистем і проходить у своєму розвитку всі стадії життєвого циклу. Застосування принципів системотехніки будівництва сприяє вирішенню організаційно-технічних завдань, які неможливо вирішити

стандартними методами, забезпечуючи більш ефективне функціонування будівельних об'єктів.

Для вдосконалення методології організації будівельного виробництва енергоефективних будівель були проаналізовані раніше сформовані нові принципи, які враховують системний підхід до будівництва та специфіку енергоефективності. Ці принципи засновані на загальних принципах системотехніки та нових вимогах до енергоефективності (рис. 3.1).

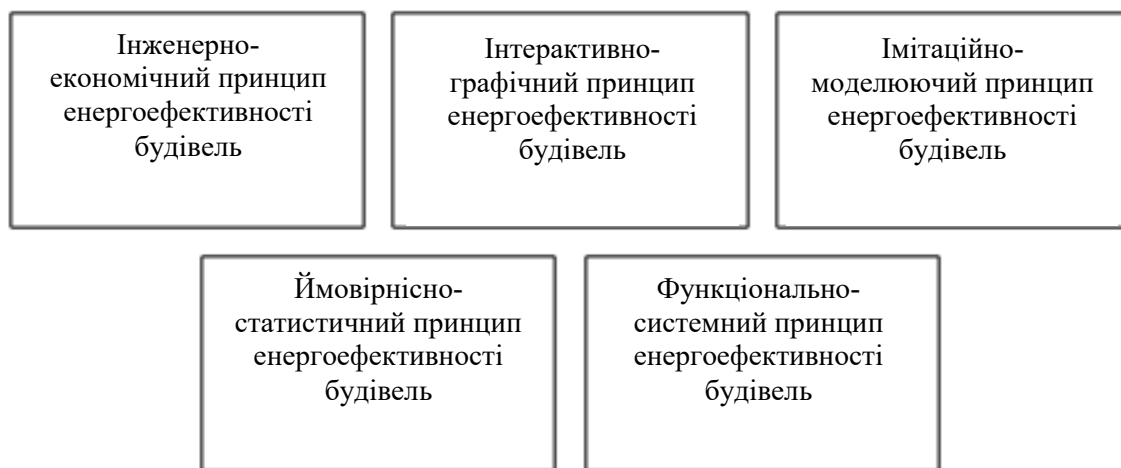


Рисунок 3.1. – Системотехнічні засади енергоефективності будівель

Основне завдання системного підходу полягає у встановленні бажаного стану функціонування системи, який є цільовим орієнтиром. Таким чином, головне завдання системного підходу в організації життєвого циклу енергоефективних будівель зводиться до забезпечення такого функціонування будівлі, при якому досягається високий рівень енергоефективності на всіх стадіях життєвого циклу. Системний підхід до організації життєвого циклу енергоефективних будівель також відповідає принципам сталого розвитку життєдіяльного середовища та системотехнічним принципам енергоефективності.

Організація життєвого циклу будівель на даний момент не відповідає основним принципам системного підходу, а саме:

Цілепокладання - основною метою будівництва, експлуатації чи реконструкції будівлі не завжди є досягнення високого рівня енергоефективності. Відсутня методика комплексної оцінки енергоспоживання будівлею, яка враховує споживання енергоресурсів на всіх стадіях життєвого циклу. Інвестори, проектувальники, будівельники та експлуатуючі організації мають різні цілі та прагнуть досягти їх на різних етапах життєвого циклу будівлі.

Зовнішнє середовище системи - зовнішній клімат, земна поверхня як джерело енергії та енергетичний обмін між будинком та зовнішнім середовищем враховуються лише на стадії проектування. На стадіях будівництва та експлуатації взаємодія будівлі та зовнішнього середовища враховується тільки з боку зовнішнього середовища (наприклад, при прийнятті рішення про утеплення зовнішніх конструкцій), але не враховується вплив будівлі на середовище (інфраструктура будівлі, енерго-ресурсообмін, утилізація будівельних матеріалів після ремонтних робіт, реконструкції та демонтажу будівлі).

Внутрішні компоненти будівлі як системи -взаємозв'язок архітектурно-планувальних, конструктивних, інженерних та енергетичних підсистем будівель, спрямованих на забезпечення високої енергоефективності, враховується не в масовій забудові та реконструкції, а лише в окремих пілотних проектах, сертифікованих за «зеленими» стандартами енергоефективності.

3.3. Роль багат шарових фасадних панелей в енергоефективності будівель

Для аналізу ефективності сонячного та геотермального енергопостачання будівлі з багат шаровими фасадними панелями були розглянуті три варіанти виконання багатоквартирного триповерхового житлового будинку:

- ✓ Будівля з БФП, ґрунтовим колектором та тепловим насосом.
- ✓ Будівля з БФП, ґрунтовим колектором, тепловим насосом і сонячною електростанцією, інтегрованою на південний фасад.

✓ Будівля з традиційним вентиляльованим фасадом, системою опалення та припливно-витяжною вентиляцією з рекуперацією тепла.

Для визначення необхідної теплової потужності інженерного обладнання для варіантів з БФП, було проаналізовано статистичні дані Національного управління з аеронавтики та дослідження космічного простору (NASA) щодо мінімальних добових температур за 2020 рік для відповідного регіону. Усі значення температур за опалювальний період були розділені на діапазони (рисунок 3.2).

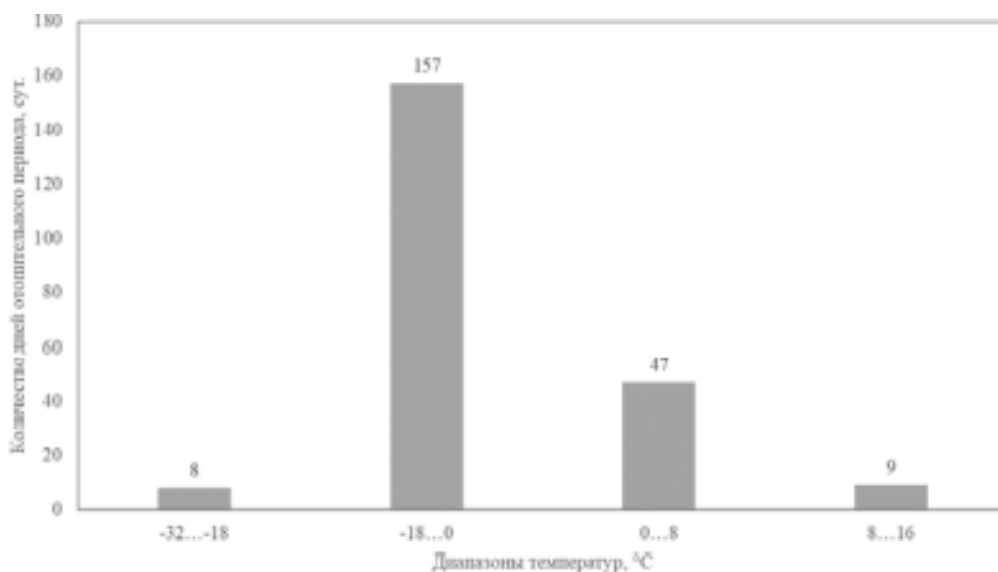


Рисунок 3.2. – Діаграма температурних діапазонів за опалювальний період відповідного регіону

Розрахунок горизонтального ґрунтового повітряного колектора для будівель із багатошаровою фасадною панеллю включає використання ґрунтового колектора, встановленого на глибині 3 метрів, для попереднього підігріву припливного повітря. Параметри теплообмінника визначалися з розрахунку нагрівання повітря при зовнішній температурі від -18 °C до 0 °C.

Проблема промерзання ґрунту в зоні колектора вирішується щорічним промиванням гарячою водою в літній період. У опалювальний сезон ґрунтовий теплообмінник використовується лише при негативних температурах навколишнього середовища.

В програмному комплексі ANSYS було змодельовано фрагмент поліетиленової труби разом із масивом ґрунту. Для розрахунків використовувався вологонасичений суглинок із щільністю 1600 кг/м^3 та питомою теплоємністю $1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$. Товщина стінки поліетиленової труби була прийнята рівною 9,8 мм для всіх зовнішніх варіантів діаметрів.

Фрагмент моделі у поперечному розрізі умовно зображено на рисунку 3.3. Для навколишнього ґрунту були встановлені температури верхнього та нижнього шару, рівні 5°C та 7°C відповідно. На вході в трубу колектора було задано швидкість повітря з температурою мінус 18°C . Швидкість повітря залежала від діаметра труби та кількості паралельних труб колектора. Схема ґрунтового колектора наведена на рисунку 3.4.

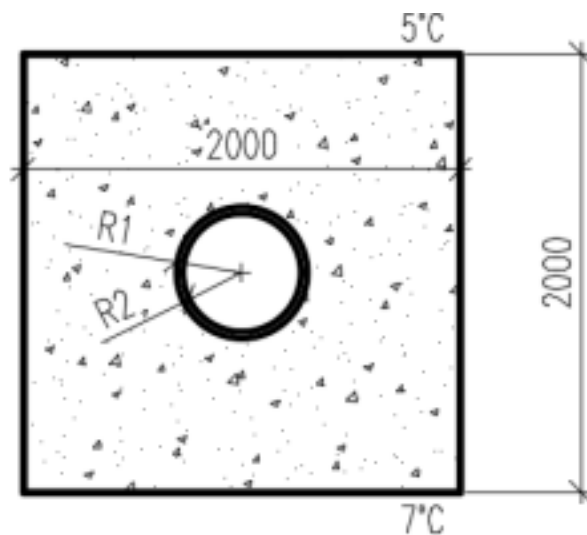


Рисунок 3.3. – Фрагмент моделі у поперечному розрізі (умовно)

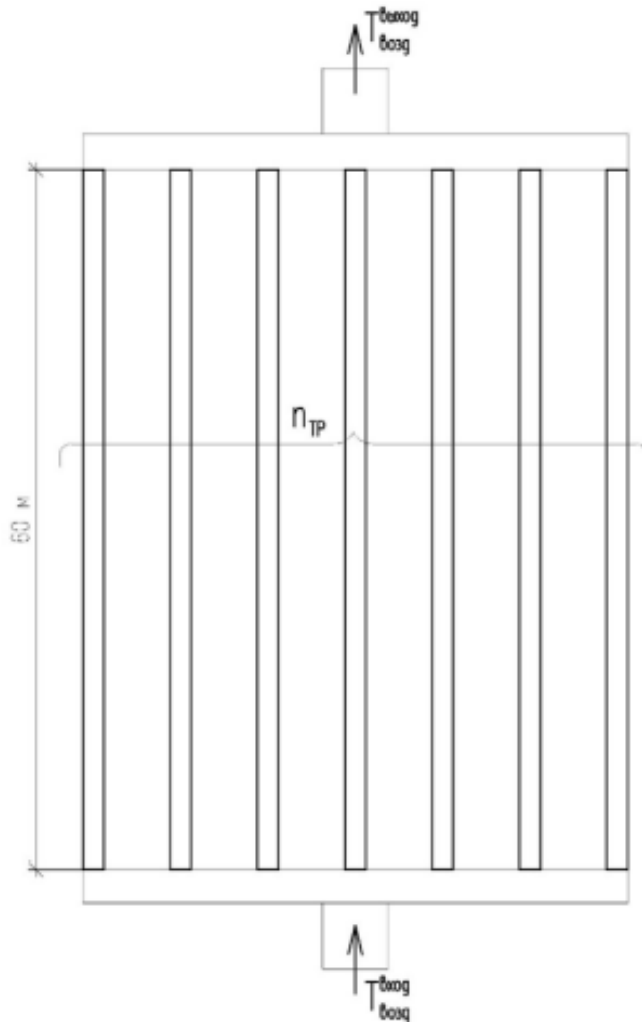


Рисунок 3.4. – Фрагмент моделі у поперечному розрізі (умовно)

Масова витрата повітря через трубу колектора визначається за формулою:

$$Q_m^{TP} = \frac{Q \cdot \rho_{\text{повітря}}}{3600 \cdot n_{TP}} \quad (3.1)$$

де Q_m^{TP} - масова витрата через трубу колектора, кг/с;

$\rho_{\text{повітря}}$ – щільність повітря, що входить у трубу, кг/м³;

n_{TP} – кількість паралельних труб ґрунтового колектора, шт;

Q – об'ємна витрата, м³/с.

Питоме теплознімання з погонного метра труби колектора визначається по формулі:

$$q = \frac{Q_m^{TP} \cdot c_{\text{повітря}} \cdot (T_{\text{повітря}}^{\text{вихід}} - T_{\text{повітря}}^{\text{вхід}})}{L} \quad (3.2.)$$

де q – питокий теплознімання, Вт/п.м;

$C_{\text{повітря}}$ – питома теплоємність повітря, що входить у трубу, Дж/(кг·К);

$T_{\text{повітря}}^{\text{вихід}}$ – температура повітря на виході з ґрунтового колектора, К;

$T_{\text{повітря}}^{\text{вхід}}$ – температура повітря на вході в ґрунтовий колектор, К;

L – Довжина труби колектора, м.м.

Швидкість потоку повітря у трубі колектора визначається за формулою:

$$V^{\text{ТР}} = \frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot 3,14 \cdot (D - 2 \cdot t)^2 \cdot n_{\text{ТР}}} \quad (3.3.)$$

де D - Зовнішній діаметр труби колектора, м;

t – товщина стінки труби, м.т.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків щодо визначення необхідних параметрів ґрунтового колектора

№	D , мм	$n_{\text{ТР}}$, шт	$Q_m^{\text{ТР}}$, кг/с	$V^{\text{ТР}}$, м/с	$T_{\text{повітря}}^{\text{вихід}}$, К	$T_{\text{повітря}}^{\text{вхід}}$, К	ΔT , К	q , Вт/п.м
1	0,4	3	0,44	2,77	255	262,29	7,29	54
2	0,4	6	0,22	1,39	255	265,86	10,86	40
3	0,4	9	0,15	0,92	255	268,35	13,35	33
4	0,4	12	0,11	0,69	255	270,49	15,49	28
5	0,4	16	0,08	0,52	255	272,65	17,65	24
6	0,4	18	0,07	0,46	255	273,68	18,68	23
7	0,28	10	0,13	1,78	255	269,45	14,45	32
8	0,28	14	0,09	1,27	255	271,75	16,75	26
9	0,28	16	0,08	1,11	255	272,58	17,58	24
10	0,28	20	0,07	0,89	255	273,77	18,77	21
11	0,225	6	0,22	4,76	255	265,91	10,91	40
12	0,225	9	0,15	3,17	255	268,61	13,61	33
13	0,225	10	0,13	2,85	255	268,59	13,59	30
14	0,225	12	0,11	2,38	255	268,88	13,88	25
15	0,225	14	0,09	2,04	255	269,71	14,71	23
16	0,225	18	0,07	1,59	255	271,53	16,53	20
17	0,225	22	0,06	1,30	255	272,64	17,64	18
18	0,225	26	0,05	1,10	255	276,4	21,4	18

Було проаналізовано три варіанти діаметрів труб колектора при різних швидкостях потоку повітря. Результати розрахунків, що визначають необхідні параметри ґрунтового колектора, наведені в таблиці 3.1.

Результати показали, що зі зниженням швидкості потоку повітря в трубі збільшується різниця температур повітря на вході та виході, а також знижується питомий теплоснімання. Зменшення кількості паралельних труб колектора безпосередньо призводить до скорочення обсягу земляних робіт для влаштування котловану. Мінімальна кількість паралельних гілок колектора досягається при використанні труб із зовнішнім діаметром 400 мм.

3.4. Енергоефективність будівель з багатошаровими фасадними панелями, ґрунтовим колектором та тепловим насосом

Для визначення витрат електричної енергії на опалення та вентиляцію будівлі протягом опалювального періоду було проаналізовано роботу обладнання при різних температурах. При зовнішніх температурах нижче -18°C для підігріву припливного повітря після ґрунтового колектора використовується електричний нагрівач.

Результати теплотехнічного розрахунку багатошарових фасадних панелей (БФП) показали, що застосування теплої підлоги є необхідним при температурі зовнішнього повітря нижче -18°C . Розрахункова потужність теплої підлоги при температурі зовнішнього повітря -32°C становить 75 Вт/м^2 .

Для забезпечення механічної вентиляції будівлі та вентильованого зазору фасадних панелей використовуються дві вентиляторні установки високого тиску, підібрані з урахуванням сумарного аеродинамічного опору елементів системи.

Для зниження енерговитрат на нагрівання припливного повітря використовується тепловий насос із тепловою потужністю 27,6 кВт та коефіцієнтом перетворення 4,6. Для роботи насоса необхідно встановити 14 свердловин для геотермальних зондів глибиною 60 метрів.

Витяжне повітря з приміщень, перед подачею у вентильований зазор фасадних панелей, проходить через каналний конденсаційний осушувач.

Схема роботи устаткування наведена на рисунку 3.5.

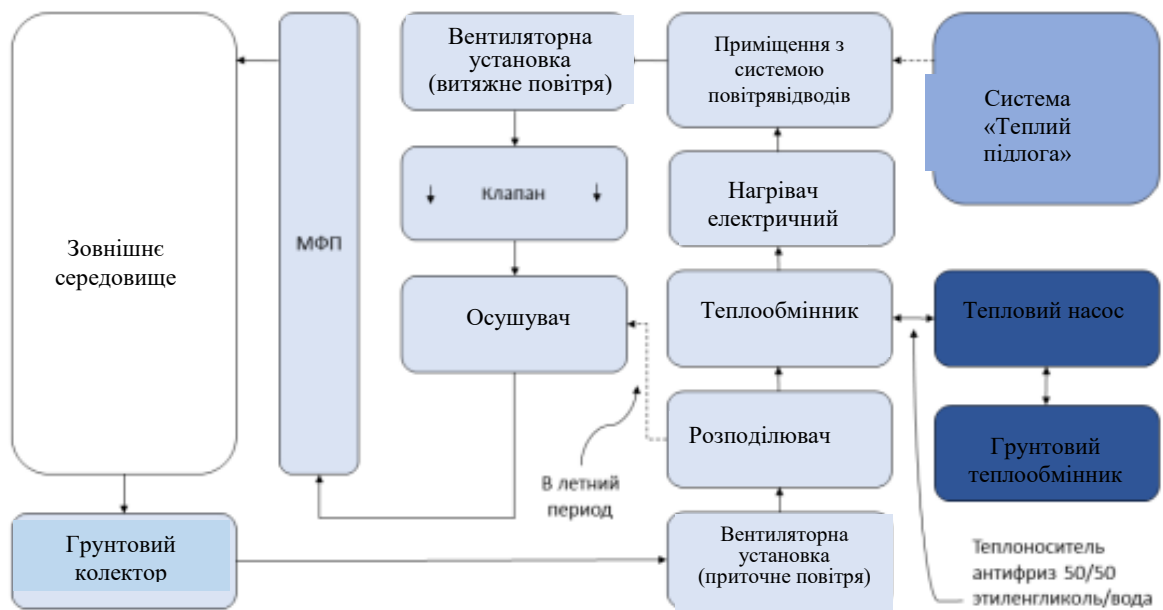


Рисунок 3.5. – Схема роботи інженерного обладнання

Будівля з багатошаровими фасадними панелями, ґрунтовим колектором, тепловим насосом і фотоелектричними перетворювачами

Цей варіант аналогічний першому, але додатково оснащений фасадною сонячною мережевою електростанцією загальною максимальною потужністю 16,2 кВт. Сонячна електростанція працює без акумуляторів.

Відповідно до чинного законодавства, вироблену сонячними панелями енергію пропонується купувати енергопостачальним організаціям за оптовим тарифом. Закон при цьому не передбачає можливості взаємозалікової компенсації електроенергії, переданої в мережу.

У розрахунку економічної ефективності розглянуто два потенційно можливі варіанти продажу виробленої енергії.

У цьому варіанті стінові огорожувальні конструкції будівлі виконані з цегляної кладки з утепленням і облицюванням алюмінієвими касетами. Передбачено підключення до централізованих теплових мереж.

Додатково будівля оснащена механічною системою вентиляції з рекуперацією тепла та ефективним теплообмінником.

Схема роботи інженерного обладнання представлена на рисунку 3.6.

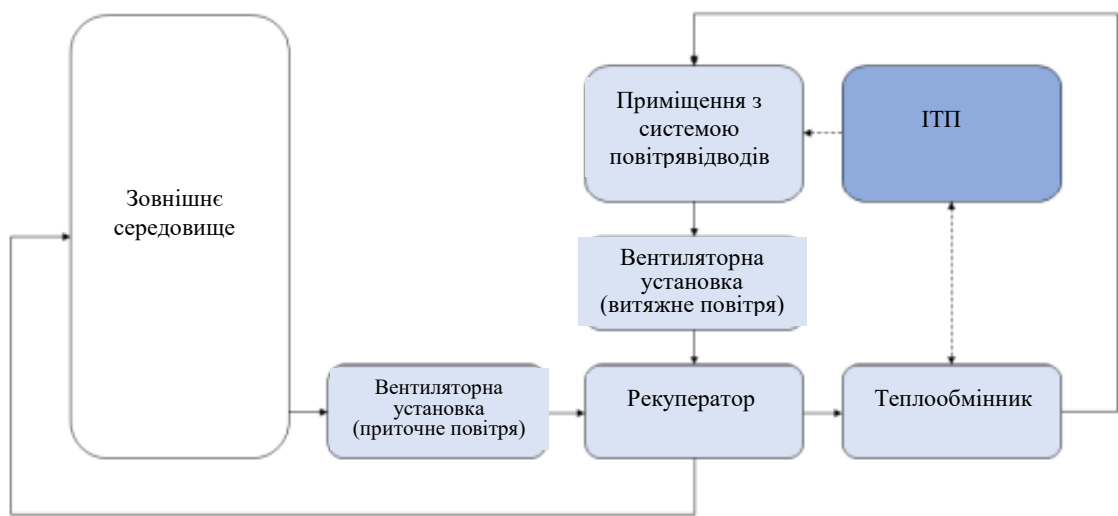


Рисунок 3.6. – Схема роботи інженерного обладнання

Розрахунок термінів окупності

Для економічної оцінки розглянутих варіантів був використаний метод чистого наведеного доходу (NPV, Net Present Value). Цей метод є надійним для порівняння різних варіантів. Наприклад, популярний метод оцінки EROI (Energy Returned on Investment) показує співвідношення отриманої енергії до витраченої на отримання цього енергетичного ресурсу. Оскільки багатошарові фасадні панелі (БФП) складаються з матеріалів, що використовуються у традиційних вентилязованих фасадах, оцінка витраченої енергії на виробництво матеріалів не є необхідною.

Суть методу NPV полягає в оцінці розміру фінансових надходжень як результату вкладень в інвестиційний проект з урахуванням супутніх витрат, тобто визначенні чистого дисконтованого прибутку.

Оцінка ефективності капітальних вкладень ґрунтується на таких принципах:

Ефективність визначається забезпеченням повернення вихідної суми інвестицій.

Інвестований капітал та грошовий потік наводяться до теперішнього часу або до розрахункового року.

Процес дисконтування грошових потоків та інвестиційних вкладень здійснюється за різними ставками дисконту, що залежать від особливостей проекту.

Термін окупності розраховується для трьох варіантів з однаковим терміном експлуатації — 25 років, що обумовлено заявленим терміном служби мінераловатної теплоізоляції. Економічний ефект визначається на основі різниці початкових капітальних витрат та щорічних експлуатаційних витрат, з урахуванням дисконтування. Початкові капітальні витрати (CF_0) прийняті як різниця вихідних інвестицій для порівнюваних варіантів.

Чистий наведений дохід розраховується за формулою:

$$NPV = C \cdot F_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (3.4)$$

де F_t - чистий грошовий потік, $i = 0, 1, \dots, t$;

r – ставка дисконтування; прийнята рівною 4%, як прогнозоване щорічне зростання вартості тарифів на електричну та теплову енергію.

Очікуваний чистий грошовий потік за визначений період розраховується як різниця між щорічними експлуатаційними витратами на електричну та теплову енергію для порівнюваних варіантів.

Результати розрахунків термінів окупності наведені на рисунку 3.4. Для реалізації варіанту з багатошаровими фасадними панелями (БФП) без фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) початкові інвестиції щодо традиційного варіанта становлять приблизно 1,6 млн грн. Термін окупності складає близько десяти років, а чистий дисконтований дохід (NPV) наприкінці розрахункового періоду становить 3,5 млн грн.

Для варіанту з БФП та ФЕП сума первісних інвестицій щодо традиційного варіанта становить близько 2,5 млн грн. За умови продажу виробленої енергії сонячною електростанцією за оптовим тарифом 1,05 грн/кВт·год термін окупності становить близько тринадцяти років, а чистий дисконтований прибуток становить 3,2 млн грн.

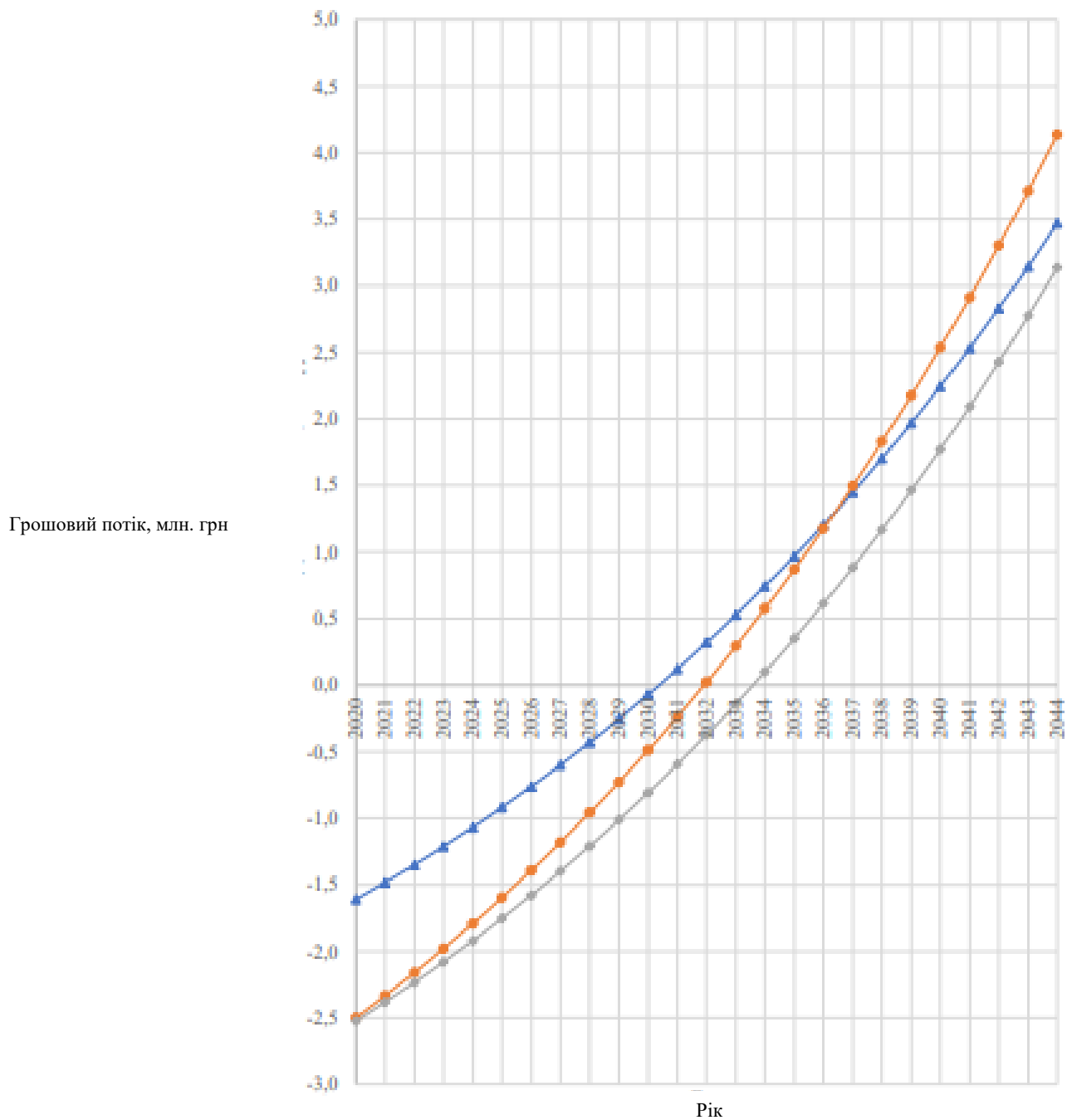


Рисунок 3.7. – Графік термінів окупності

Економічний та екологічний аналіз використання БФП у будівлях з сонячно-геотермальним енергопостачанням.

Енергетичний порівняльний аналіз показав, що за варіанту 1, який включає використання БФП, теплового насоса та ґрунтового теплообмінника, витрати енергії на опалення та вентиляцію знижуються більш ніж на 30% (73 871 кВт·год) у порівнянні з традиційним варіантом 3 протягом опалювального

періоду. Використання варіанту 2 з фасадною мережевою сонячною електростанцією дозволяє знизити енергоспоживання на 40% (86 652 кВт·год) у порівнянні з варіантом 3.

Екологічний аналіз показує, що при використанні БФП, теплового насоса, ґрунтового теплообмінника та фасадної сонячної електростанції викиди парникових газів знижуються на 40%, що становить близько 16 тонн діоксиду вуглецю за опалювальний період. Обсяг спалюваного природного газу скорочується на 12 800 м³ (40%) для аналізованого випадку.

Діаграма споживаної енергії та викидів парникових газів для аналізованих варіантів представлена на рисунку 3.5. Діаграма електроенергії, яку було спожито, та викидів парникових газів для варіантів, що аналізувалися, представлена на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7. – Діаграма електроенергії, яку було споживано, та викидів парникових газів для варіантів, які було проаналізовано

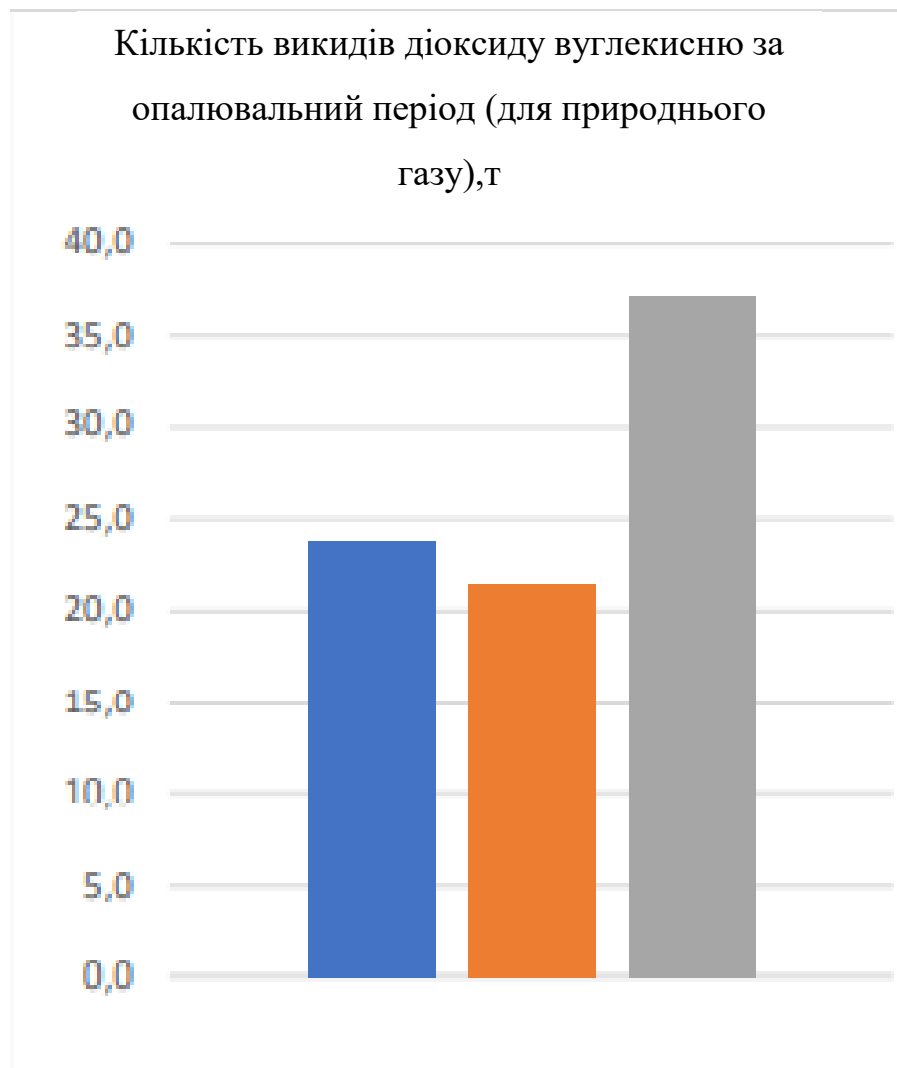


Рисунок 3.8. – Кількість викидів діоксиду вуглекисню за опалювальний період
(для природнього газу),т

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

Впровадження системи «Розумний дім» суттєво знижує втрати електричної енергії завдяки автоматизованому керуванню енергоспоживанням. Інтеграція різних систем, таких як освітлення, опалення, вентиляція та кондиціонування, дозволяє оптимізувати споживання енергії та зменшити загальні витрати.

Моніторинг параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість та якість повітря, дозволяє забезпечити комфортні умови для перебування людей у будівлі. Це сприяє підвищенню енергоефективності шляхом оптимізації роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

Використання багатошарових фасадних панелей (БФП) забезпечує підвищену теплоізоляцію та зменшує втрати тепла через огорожувальні конструкції. Це дозволяє значно знизити витрати на опалення в холодний період та кондиціонування в теплий період, покращуючи загальну енергоефективність будівель.

Комбінація багатошарових фасадних панелей з ґрунтовим колектором та тепловим насосом дозволяє знижувати витрати на опалення та кондиціонування завдяки використанню відновлюваних джерел енергії. Це забезпечує зниження споживання традиційних енергоносіїв та скорочення викидів парникових газів.

Таким чином, комплексний підхід до оптимізації енергоспоживання будівель, включаючи впровадження технологій «Розумного дому», використання багатошарових фасадних панелей, моніторинг мікроклімату та використання ґрунтових колекторів і теплових насосів, дозволяє досягти значного зменшення енерговитрат та підвищення загальної енергоефективності будівель.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ:

В розділі «Ключові проблеми розвитку відновлюваної енергетики» були розглянуті ключові проблеми розвитку відновлюваної енергетики як на глобальному, так і на національному рівнях. На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

Розвиток відновлюваної енергетики є одним з найважливіших пріоритетів сучасного світу. Зростання населення, підвищення енергоспоживання та необхідність зниження викидів парникових газів створюють значний тиск на традиційні енергетичні ресурси. У зв'язку з цим, розвиток відновлюваних джерел енергії стає необхідним для забезпечення сталого розвитку і збереження екологічної рівноваги. На національному рівні, зокрема в Україні, значний потенціал відновлюваних джерел енергії може бути ефективно використаний для задоволення енергетичних потреб та зменшення залежності від імпорتنих енергоносіїв.

Аналіз причин втрат електричної енергії показав, що основними чинниками є технічні недоліки обладнання, застарілі технології та неефективне управління енергоресурсами. Втрати електроенергії мають серйозний вплив на загальну енергетичну ефективність, збільшують витрати на виробництво та транспортування електроенергії, а також спричиняють додаткове навантаження на навколишнє середовище через підвищені викиди парникових газів. Вирішення цієї проблеми потребує модернізації енергетичної інфраструктури, впровадження новітніх технологій та підвищення ефективності управлінських процесів.

Загалом, вирішення ключових проблем розвитку відновлюваної енергетики сприятиме не лише покращенню енергетичної безпеки та зниженню екологічного навантаження, але й стимулюватиме економічний розвиток і підвищення якості життя населення. Реалізація запропонованих заходів та стратегій дозволить забезпечити сталий розвиток енергетичного сектору та сприятиме досягненню довгострокових цілей сталого розвитку.

В розділі «Підвищення енергоефективності будівель за рахунок використання відновлювальних джерел енергії» було розглянуто різні аспекти підвищення енергоефективності будівель за рахунок використання відновлюваних джерел енергії. На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

Використання сучасних енергоефективних технологій та рішень дозволяє значно знизити витрати на опалення, вентиляцію та освітлення у побутових будівлях. Впровадження додаткової теплоізоляції, заміна застарілих систем опалення на більш ефективні та використання енергоощадних освітлювальних приладів сприяє суттєвій економії енергії та підвищенню комфорту проживання.

Інтеграція відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі, у фасадні системи будівель дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію для забезпечення потреб будівель у електроенергії. Використання тонкоплівкових фотоелементів на фасадах сприяє підвищенню енергоефективності будівель та зменшенню залежності від традиційних джерел енергії.

Запровадження мережових сонячних електростанцій є перспективним напрямом у розвитку енергоефективних будівель. Вони забезпечують генерацію електроенергії безпосередньо на місці споживання, що дозволяє зменшити втрати при транспортуванні та підвищити загальну ефективність енергосистеми. Мережева інтеграція таких електростанцій дозволяє оптимізувати енергопостачання та сприяє стабільності електроенергетичної системи.

Комбіноване використання різних відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, геотермальна та біоенергетика, дозволяє забезпечити безперебійне та ефективне енергопостачання будівель. Такий підхід сприяє зниженню навантаження на одну конкретну систему та забезпечує більшу гнучкість і надійність енергозабезпечення.

Загалом, впровадження відновлювальних джерел енергії та енергоефективних технологій у будівельний сектор є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та збереження природних ресурсів. Це дозволяє знизити

витрати на енергоресурси, покращити екологічну ситуацію та забезпечити комфортні умови для проживання та роботи.

Впровадження системи «Розумний дім» суттєво знижує втрати електричної енергії завдяки автоматизованому керуванню енергоспоживанням. Інтеграція різних систем, таких як освітлення, опалення, вентиляція та кондиціонування, дозволяє оптимізувати споживання енергії та зменшити загальні витрати.

Моніторинг параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість та якість повітря, дозволяє забезпечити комфортні умови для перебування людей у будівлі. Це сприяє підвищенню енергоефективності шляхом оптимізації роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

Використання багатошарових фасадних панелей (БФП) забезпечує підвищену теплоізоляцію та зменшує втрати тепла через огорожувальні конструкції. Це дозволяє значно знизити витрати на опалення в холодний період та кондиціонування в теплий період, покращуючи загальну енергоефективність будівель.

Комбінація багатошарових фасадних панелей з ґрунтовим колектором та тепловим насосом дозволяє знижувати витрати на опалення та кондиціонування завдяки використанню відновлюваних джерел енергії. Це забезпечує зниження споживання традиційних енергоносіїв та скорочення викидів парникових газів.

Таким чином, комплексний підхід до оптимізації енергоспоживання будівель, включаючи впровадження технологій «Розумного дому», використання багатошарових фасадних панелей, моніторинг мікроклімату та використання ґрунтових колекторів і теплових насосів, дозволяє досягти значного зменшення енерговитрат та підвищення загальної енергоефективності будівель.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ:

1. <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
2. World population growth. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.
3. Carbon dioxide and other greenhouse emissions. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
4. Average temperature anomaly. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/temperature-anomaly/>.
5. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Вилучено з <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf>
6. 5 Закон «Про внесення змін до деяких законів України щодо створення умов для запровадження комплексної термомодернізації будівель». Вилучено з <https://www.rada.gov.ua/news/razom/226459.html>
7. Дзядикевич Ю.В., Брич В.Я., Джеджула В.В., Гевко Р.Б. (2018). Організаційно-економічний механізм енергозбереження Тернопіль: ТНЕУ. ISBN 978-966-654-497-4
8. Oliinyk, Y. The general trend of energy saving. Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions with Proceedings of the International Scientific and Practical Conf. (pp. 156-159). September 25–26, 2020. Prague.
9. Олійник Ю.С. Сучасні підходи у напрямку енергозбереження. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 204 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». 2019. С. 58-60.
10. Електронний ресурс: [http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-3]
11. Solar PV module prices, 1976 to 2016. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>.
12. ANSYS 2020 R1:Help / ANSYS Mechanical User's Guide. – 2020.

13. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії [Електронний ресурс] / Аналітична записка БАУ № 13.– Режим доступу: [http:// www.uabio.org/img/files/ docs/uabio-position-paper13-ua.pdf](http://www.uabio.org/img/files/docs/uabio-position-paper13-ua.pdf).
14. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.htm.
15. Брич В. Я. Методи управління ризиками енергопостачальної компанії: монографія / В. Я. Брич, О. Л. Шпак, З. І. Домбровський, А. М. Тибінь, М. З. Домбровський. – Тернопіль : ТНЕУ, 2013. – 304 с.
16. Гевко Б. Р. Організаційно-економічний механізм енергозбереження на підприємстві, його сутність та концептуальна модель / Б. Р. Гевко // Економічний вісник. – 2016. – № 2 (54). – С. 99–106.
17. Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго» – 2017. – Режим доступу: [http:// ww. ukrenergo. energy.gov.ua /Pages/main.aspx](http://ww.ukrenergo.energy.gov.ua/Pages/main.aspx).
18. Державне регулювання енергетики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://www.icps.com.ua/>.
19. Досвід США із збереження енергії в будівлях. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://wt.com. ua/archive/11opit.php](http://wt.com.ua/archive/11opit.php)).
20. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню: ДСТУ 2155-93. – К.: Держстандарт України, 1993. – 13 с.
21. Макогон Ю. В. Деякі аспекти реалізації політики енергозбереження в Україні: монографія / Ю. В. Макогон. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – 200 с.