

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання _____
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Олена БОРИЧЕНКО
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Системи забезпечення споживачів електричною енергією
на тему: «Реконструкція систем енергопостачання будівель для забезпечення виконання стандарту енергоефективності «Пасивний будинок»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ГЕ-31мп

Кравець Тарас Валентинович _____
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент Побігайло В.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормоконтроль провідний інженер Прокопенко І.Д. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Босак А.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

Завідувач кафедри

Олена БОРИЧЕНКО

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Кравцю Тарасу Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Реконструкція систем енергопостачання будівель для забезпечення виконання стандарту енергоефективності «Пасивний будинок» науковий керівник дисертації к.т.н., доцент Побігайло В.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 08 листопада 2024 р. №5008-с

2. Строк подання студентом дисертації 13 грудня 2024 року

3. Об'єкт дослідження: системи енергопостачання у процесі реконструкції будівель для забезпечення відповідності стандарту енергоефективності «Пасивний будинок»

4. Предмет дослідження: методи та технічні рішення, спрямовані на реконструкцію систем енергопостачання будівель для досягнення параметрів енергоефективності, передбачених стандартом «Пасивний будинок».

Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Надати детальний опис стандарту «Пасивний будинок» та проаналізувати можливі шляхи досягнення його вимог.

2. Обґрунтувати необхідність модернізації енергетичних систем будівель для відповідності стандарту «Пасивний будинок» та запропонувати методики такої модернізації.

3.Розробити стартап-проект, присвячений впровадженню сучасних рішень у сфері енергоефективності будівель відповідно до стандарту «Пасивний будинок».

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація.

7.Орієнтовний перелік публікацій _____

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

Прокопенко І.Д.

9.Дата видачі завдання 30 жовтня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Стандарт «Пасивний будинок»; Розділ 1	01.11.24-05.11.24	виконано
2	Матеріали та технології будівництва «Пасивних будинків» Розділ 2	06.11.24-13.11.24	виконано
3	Побудова розрахункових таблиць; аналіз результатів	13.11.24-16.11.24	виконано
4	Проектування систем енергопостачання «Пасивного будинку»; Розділ 3	17.11.24-25.11.24	виконано
5	Розробка стартап проекту	26.11.24-29.11.24	виконано
6.	Висновки щодо виконаної роботи	29.11.24	виконано
7.	Оформлення дисертації	05.11.24-29.11.24	виконано
8.	Оформлення презентації	29.11.24-06.12.24	виконано
9.	Попередній захист магістерської дисертації	09.11.24-10.11.24	заплановано
10.	Захист магістерської дисертації	13.11.24-20.11.24	заплановано

Студент _____

(підпис)

Кравець Т.В.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____

(підпис)

Побігайло В.А.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Реконструкція систем енергопостачання будівель для забезпечення виконання стандарту енергоефективності «Пасивний будинок»» присвячена дослідженню сучасних систем та методів модернізації систем енергопостачання для досягнення високих показників енергоефективності відповідно до міжнародного стандарту "Пасивний будинок".

Обсяг магістерської роботи 112 сторінки., робота містить 22 рисунки, 22 таблиці, 2 додатки, 36 посилань на першоджерела.

Актуальність теми. Необхідність реконструкції існуючих систем енергопостачання для досягнення стандартів енергоефективності «Пасивний будинок» зумовлена економічними, екологічними, соціальними та технічними причинами. Оскільки більшість будівель було зведено без врахування сучасних енергозберігаючих технологій, такі споруди характеризуються високим рівнем енерговтрат і неефективним використанням енергії.

Мета дослідження полягає у розробці та обґрунтуванні інженерних рішень для реконструкції систем енергопостачання будівель з метою забезпечення відповідності стандарту енергоефективності «Пасивний будинок».

Об'єктом дослідження виступають системи енергопостачання у процесі реконструкції будівель для забезпечення відповідності стандарту енергоефективності «Пасивний будинок»

Предметом дослідження є методи та технічні рішення, спрямовані на реконструкцію систем енергопостачання будівель для досягнення параметрів енергоефективності, передбачених стандартом «Пасивний будинок».

Особистий внесок виконавця полягає у розробці чіткого та зрозумілого алгоритму дій щодо трансформації застарілого за показниками енергоефективності малоповерхового будинку у сучасний, зручний та енергоефективний простір стандарту «Пасивний будинок», з урахуванням економічної доцільності та раціональності такої модернізації.

Наукова новизна та практична значущість роботи. У роботі розглянуто основні принципи стандарту «Пасивний будинок», його вимоги до енерговтрат, вентиляції, використання відновлюваних джерел енергії та оптимізації теплових процесів у будівлях. Здійснено аналіз сучасного стану систем енергопостачання та визначено ключові проблеми їх адаптації до нового стандарту. Розроблено методологію оцінки енергоефективності будівель після реконструкції та проведено моделювання енергетичних характеристик оновлених систем.

Експериментальні розрахунки продемонстрували можливість досягнення вимог стандарту «Пасивний будинок» для типових будівель із різними умовами експлуатації. На прикладі [будинку](#) (Рис.6) запропоновано комплекс інженерно-технічних рішень для реконструкції існуючих систем енергопостачання, що включає впровадження високоефективних термоізоляційних матеріалів, установку вентиляційних систем із рекуперацією тепла, використання сонячних панелей, теплових насосів та інших джерел відновлюваної енергії.

Ключові слова: пасивний будинок, енергоефективність, системи енергопостачання, реконструкція, відновлювані джерела енергії, тепловий насос, вентиляція з рекуперацією тепла.

SUMMARY

The master's thesis titled «Building energy supply systems reconstruction to ensure compliance with the Passive House energy efficiency standard» focuses on studying modern systems and methods for upgrading energy supply systems to achieve high energy efficiency in accordance with the international Passive House standard.

The master's thesis consists of 112 pages, includes 22 figures, 22 tables, 2 appendices, and 36 references to original sources.

Relevance of the topic. The need for reconstructing existing energy supply systems to meet the energy efficiency standards of the Passive House is driven by economic, environmental, social, and technical factors. Since most buildings were constructed without consideration of modern energy-saving technologies, they are characterized by high levels of heat loss and inefficient energy use.

Objective of the study. The objective is to develop and justify engineering solutions for reconstructing energy supply systems in buildings to ensure compliance with the Passive House energy efficiency standard.

Object of the study. Energy supply systems undergoing reconstruction to achieve compliance with the Passive House energy efficiency standard.

Subject of the study. Methods and technical solutions aimed at reconstructing building energy supply systems to meet the energy efficiency parameters defined by the Passive House standard.

Personal contribution of the author. The author has developed a clear and practical algorithm for transforming an outdated, low-energy-efficiency low-rise building into a modern, convenient, and energy-efficient space that complies with the Passive House standard, considering the economic feasibility and rationality of such modernization.

Scientific novelty and practical significance of the work. The thesis examines the fundamental principles of the Passive House standard, its requirements for heat loss, ventilation, the use of renewable energy sources, and optimization of thermal processes in buildings. An analysis of the current state of energy supply systems was conducted, and key challenges of their adaptation to the new standard were identified. A methodology for

assessing the energy efficiency of buildings after reconstruction was developed, and energy performance simulations of the upgraded systems were performed.

Experimental calculations demonstrated the feasibility of meeting the Passive House standard requirements for typical buildings under various operational conditions. Using the example of a specific building (Figure 3), a set of engineering and technical solutions for reconstructing existing energy supply systems was proposed, including the implementation of high-performance insulation materials, installation of ventilation systems with heat recovery, and the use of solar panels, heat pumps, and other renewable energy sources.

Keywords: Passive House, energy efficiency, energy supply systems, reconstruction, renewable energy sources, heat pump, ventilation with heat recovery.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП	12
Соціальні та екологічні аспекти реконструкції	13
Актуальність дослідження.	15
Мета дослідження	17
Мета дослідження	17
Методи дослідження.....	17
Особистий внесок виконавця.....	17
Наукова новизна та практична значущість роботи.	17
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА «ПАСИВНИХ БУДИНКІВ»	18
1.1. Історія виникнення та розвиток стандарту «Пасивний будинок»	18
Основні етапи розвитку стандарту:.....	18
1.2. Основні критерії та принципи енергоефективності «Пасивного будинку».....	19
Класифікація будівель за рівнем енергоефективності	19
Критерії стандарту «Пасивний будинок».....	20
Методи досягнення стандарту «Пасивний будинок».....	21
Уникнення термічних містків	21
Вікна та двері «пасивного будинку».....	22
Вентиляція, Рекуперація, мікроклімат.....	22
Термічні буферні зони	23
Оптимізація внутрішнього простору	23
Автоматизація управління кліматом.....	23
Пасивне використання сонячної енергії.....	23
1.2. Критерії «Стандарту EnerPHit для методу компонентів будівлі»	23

2. МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА «ПАСИВНИХ БУДИНКІВ».....	27
2.1. Матеріали для будівництва несучих конструкцій	27
2.2. Фактори, які впливають на комфорт в будівлі.....	28
2.3. Вплив питомої маси матеріалів на комфорт в будівлі	30
2.4. Паропроникність матеріалів	31
2.5. Гігроскопічність матеріалів	32
2.6. Термоізоляційні матеріали.....	33
2.7. Архітектура.....	35
2.8. Точка роси.....	37
Основні етапи розрахунку точки роси	37
Приклад Розрахунку точки роси	39
2.9. Теплотехнічний розрахунок.....	41
Основні етапи теплотехнічного розрахунку:	41
2.10. Приклад теплотехнічного розрахунку	44
2.11. Висновки розділу 2	52
3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ «ПАСИВНИХ БУДИНКІВ».....	53
3.1. Енергетичне моделювання на основі аналізу ефективності будівельних заходів зниження енергозатрат.....	55
Повний розрахунок Системи вентиляції з рекуперацією	55
Освітлення.....	57
Додаткове обладнання	58
Система опалення з урахуванням екстремальних режимів.....	58
Система кондиціонування.....	59
Підсумки енергоспоживання	62
3.2. Локальна СЕС	62
3.3. Локальна ВЕС.....	68
3.4. Сонячні колектори (СК)	71
3.5. Теплові насоси та Традиційні Системи опалення.	73
3.6. Балансувальний модуль.....	76

	10
3.7. Система «Розумний будинок»	81
3.8. Оцінка економічної доцільності	84
3.9. Висновки розділу 3	85
4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ	87
4.1. Ідея стартапу.....	87
Основні елементи системи:.....	87
Цінність продукту	89
4.2. Аналіз конкурентів.....	90
4.3. Технологічний аудит ідеї проєкту.....	92
4.4. Аналіз ринкових можливостей і загроз, які можуть вплинути на впровадження проєкту.....	93
4.5. Розроблення ринкової стратегії проєкту	96
4.6. Висновки розділу 4.	102
ВИСНОВКИ.....	103
Первинна оцінка стану будинку.....	104
Аналіз отриманих результатів та порівняння їх з вимогами стандарту «Пасивний будинок».....	104
Визначення необхідних заходів щодо модернізації.....	105
Проектування системи енергозабезпечення.....	105
Оцінка економічної доцільності	107
Розробка стартап проєкту.....	107
Узагальнення	107
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ISO – International Organization for Standardization

ЄС – Європейський Союз

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ГВП – гаряче водопостачання

ОЕС-У – Об'єднана енергетична система України

ДБН – Державні будівельні норми

XPS – Екструдований полістирол

EPS – Спінений полістирол

PUR – Спінений поліуретан

ПЗ – Програмне забезпечення

ДСТУ – Державний стандарт України

ТН – тепловий насос

ГВП – гаряче водопостачання

HRV – Heat recovery ventilation (вентиляція з рекуперацією)

ІоТ – Технології Інтернету речей

СЕС – Сонячна електростанція

ВЕС – Вітрова електростанція

АКБ – акумуляторна батарея

СК – Сонячний колектор

СОР – Коефіцієнт продуктивності

BMS – система керування акумуляторними батареями

ВСТУП

Енергозбереження та енергоефективність у сучасному світі стали пріоритетами. Одним із провідних стандартів, спрямованих на досягнення високої енергоефективності будівель, є «Пасивний будинок» (нім. Passivhaus, англ. passive house) – це стандарт енергоефективності будівель, при якому створюються комфортні умови проживання, в той же час є економічно вигідним і мінімально шкодить довкіллю. Цей стандарт, розроблений Інститутом Пасивного Будинку в Німеччині [1], спрямований на зниження витрат на опалення та охолодження, зберігаючи комфортний рівень мікроклімату всередині приміщень.

Точне визначення стандарту Пасивного Будинку (PHI): «Пасивний Будинок – будівля, в якій тепловий комфорт (ISO 7730) досягається виключно за рахунок додаткового попереднього підігріву (або охолодження) маси свіжого повітря, необхідного для підтримання в приміщеннях повітря високої якості, без його додаткової рециркуляції» [2, 3].

Технологія пасивного будинку, завдяки своїй універсальності та адаптивності, є актуальною практично для всіх кліматичних територій світу.

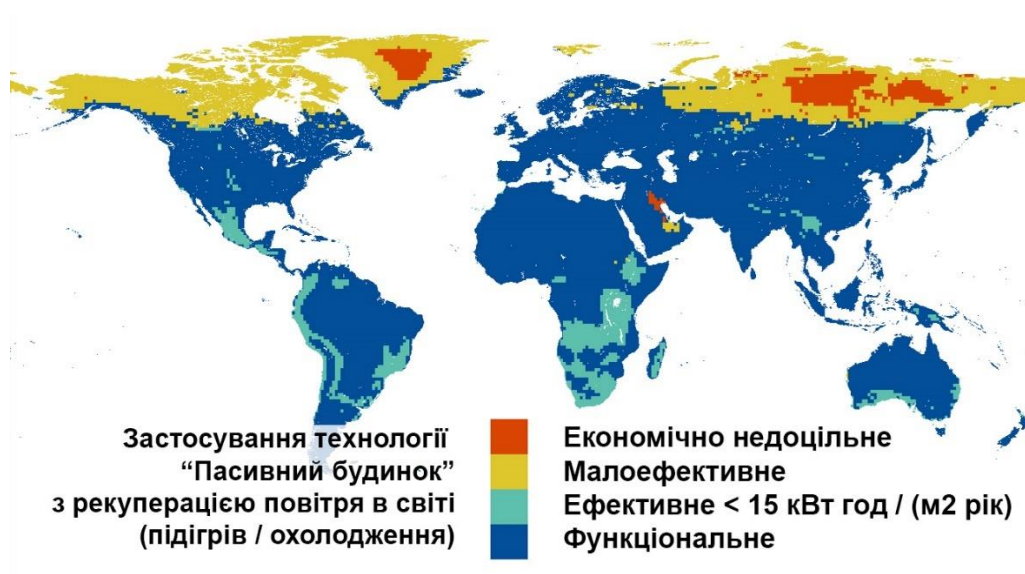


Рис.1. Ефективність застосування технології «Пасивний будинок» у світі [4]

Соціальні та екологічні аспекти реконструкції будівель в контексті «Зеленого будівництва»

Реконструкція будівель має суттєвий вплив на навколишнє середовище, соціальні умови та якість життя мешканців. Ключові аспекти цього впливу [\[5, 6\]](#):

Соціальні аспекти

- Підвищення життєвого комфорту мешканців

Покращення мікроклімату: Реконструкція передбачає встановлення якісної термоізоляції, систем вентиляції та опалення, що забезпечують комфортну температуру в приміщенні незалежно від сезону.

Зниження шумового впливу: Використання сучасних звукоізоляційних матеріалів сприяє створенню спокійного житлового середовища.

- Доступ до сучасних технологій

Впровадження елементів «розумного будинку» дозволяє мешканцям керувати енергоспоживанням, освітленням і безпекою, підвищуючи зручність життя.

- Інтеграція систем безбар'єрного доступу забезпечує комфортні умови для маломобільних груп населення.

Підвищення економічної доступності житла

- Зниження витрат на комунальні послуги за рахунок використання енергоефективних технологій позитивно впливає на фінансовий стан мешканців.
- Реконструйовані будівлі зростають у ринковій вартості, що підвищує їхню інвестиційну привабливість.

Екологічні аспекти

- Зниження екологічного навантаження.

Покращення енергоефективності будівлі зменшує викиди парникових газів за рахунок скорочення споживання енергії. Заміна традиційних джерел енергії на відновлювані (сонячні панелі, теплові насоси) мінімізує негативний вплив на довкілля. Використання екологічно чистих будівельних матеріалів зменшує кількість токсичних відходів і знижує рівень забруднення під час будівництва.

- Управління будівельними відходами.

У процесі реконструкції важливо організувати роздільний збір і утилізацію будівельних відходів, що сприяє зменшенню кількості сміття на полігонах.

Переробка матеріалів (бетон, метал, дерево) скорочує споживання природних ресурсів.

- Збереження природних ресурсів

Впровадження систем збору та повторного використання дощової води або сіркової води сприяє раціональному використанню водних ресурсів.

Інтеграція зелених зон (озеленення дахів, фасадів, територій) сприяє поліпшенню локального мікроклімату та очищенню повітря.

Вплив на міське середовище

- Реконструкція сприяє оновленню міської інфраструктури, покращуючи естетичний вигляд районів і сприяючи створенню комфортного міського середовища.
- Збільшення кількості зелених зон навколо реконструйованих об'єктів покращує якість повітря та сприяє підвищенню біорізноманіття.

Актуальність дослідження.

Необхідність реконструкції існуючих систем енергопостачання для досягнення стандарту енергоефективності «Пасивний будинок» зумовлена економічними, екологічними, соціальними та технічними причинами. Оскільки більшість будівель було зведено без врахування сучасних енергозберігаючих технологій, такі споруди характеризуються високим рівнем енерговтрат і неефективним використанням енергії. Це призводить до високого рівня споживання енергії на опалення та охолодження, надмірного навантаження на енергосистеми, високих викидів парникових газів та фінансових витрат [6].

Реконструкція спрямована на покращення наступних чинників:

1. Економічна ефективність. Постійне зростання цін на енергоносії робить питання енергозбереження актуальним з точки зору економії коштів на усіх рівнях. Реконструкція енергопостачання за стандартом «Пасивного будинку» дозволяє значно зменшити енергоспоживання, що призводить до зниження витрат на опалення і кондиціонування та швидкої окупності інвестицій у реконструкцію.
2. Екологічна стійкість. Сучасні екологічні виклики, зокрема зміна клімату, вимагають скорочення викидів CO₂, значна частка яких припадає на будівлі. Впровадження енергоефективних систем енергопостачання, зокрема з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) таких як сонячні панелі, теплові насоси, рекуперація тепла, дозволяє знизити вуглецевий слід і підтримати природні ресурси для майбутніх поколінь.
3. Покращення якості життя та комфорту. Пасивний будинок забезпечує стабільний внутрішній мікроклімат, що сприяє покращенню здоров'я, комфорту та продуктивності мешканців завдяки збереженню постійної температури, ефективній вентиляції та відсутності протягів. Системи з рекуперацією тепла та автоматизованим регулюванням температури створюють оптимальні умови для мешканців, незалежно від зовнішніх температур.

4. Технологічність. Останнім часом на ринку з'явилися новітні енергоефективні рішення, що допомагають не лише зменшити споживання енергії, а й зробити процес модернізації будівель більш доступним та ефективним. Використання сучасних термоізоляційних матеріалів, багатокамерних вікон, інтелектуальних систем контролю клімату в приміщенні дозволяє досягти рівня енергоефективності, передбаченого стандартом пасивного будинку, навіть для старих будівель.



Рис.2. Актуальність технології «Пасивний будинок»

5. Законодавчі вимоги та світові тренди. Вимоги до енергоефективності будівель посилюються в багатьох країнах світу, зокрема і в Україні, де запроваджено закони, спрямовані на підтримку енергоефективності та поступовий перехід до стандартів, подібних до стандарту пасивного будинку (Закон України «Про енергетичну ефективність») [7].

Мета дослідження

Мета дослідження полягає у розробці та обґрунтуванні інженерних рішень для реконструкції систем енергопостачання будівель з метою забезпечення відповідності стандарту енергоефективності «Пасивний будинок». Це передбачає впровадження ефективних заходів для зниження споживання енергії, підвищення рівня термоізоляції, використання відновлюваних джерел енергії та оптимізації внутрішнього клімату в приміщеннях.

Методи дослідження

У дослідженні будуть представлені методи розрахунку енерговтрат будівель, а також описані основні принципи вибору технологій та матеріалів для термоізоляції. Основна частина роботи зосередиться на принципах вибору енергетичного обладнання, розрахунках та оцінці його ефективності та економічному обґрунтуванні використання.

Особистий внесок виконавця

У цій роботі розроблено чіткий та зрозумілий алгоритм дій щодо трансформації застарілого за показниками енергоефективності малоповерхового будинку у сучасний, зручний та енергоефективний простір стандарту «Пасивний будинок». Особливий акцент робиться не лише на створенні комфортних умов для проживання чи роботи, але й на економічній доцільності та раціональності модернізації. Розробка враховує оптимізацію витрат на оновлення будівлі, вибір енергоефективних технологій та матеріалів, що забезпечать довгострокову економію енергії й підвищення ринкової вартості будинку.

Наукова новизна та практична значущість роботи.

У роботі буде запропоновано технічні рішення для оптимізації енергоспоживання, що дозволяють адаптувати традиційні будівлі до стандарту «Пасивного будинку». Це включає поєднання систем термоізоляції, рекуперації повітря, використання систем опалення на основі теплових насосів паралельно з традиційними системами, управління кліматом та системам ВДЕ.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА «ПАСИВНИХ БУДИНКІВ»

1.1. Історія виникнення та розвиток стандарту «Пасивний будинок»

Стандарт «Пасивний будинок» був розроблений у 1990-х роках і став результатом спільної роботи німецького фізика Вольфганга Файста та шведського дослідника Бо Адамсона. Метою було створення будівлі з наднизьким енергоспоживанням, яка забезпечувала б оптимальний комфорт без значних витрат на опалення чи кондиціонування. [1, 2, 3] Перший пасивний будинок був побудований у 1991 році в місті Дармштадт, Німеччина, та показав, що за рахунок ізоляції, герметичності та використання систем рекуперації тепла можна досягти значної економії енергії.

Основні етапи розвитку стандарту:

1990-ті роки: Перші дослідження та експерименти. Спільні дослідження Вольфганга Файста та Бо Адамсона вивчали можливість значного зниження енерговтрат у будівлях за рахунок термоізоляції та рекуперації тепла. Після успішних результатів був розроблений перший концепт «Пасивного будинку», що включав жорсткі вимоги до термоізоляції, герметичності та енергоефективності будівель.

1996 рік: Заснування Інституту пасивного будинку. У 1996 році Вольфганг Файст заснував у Дармштадті Інститут «Пасивного будинку» (Passive House Institute, PHI), що займається дослідженнями, стандартизацією та популяризацією технологій пасивного будівництва. Даний інститут розробив чіткі вимоги, які дозволили будівельникам та проєктантам дотримуватися єдиних критеріїв при зведенні пасивних будинків.

2000-ті роки: Міжнародне поширення стандарту. Стандарт «Пасивний будинок» починає набувати популярності у країнах Європи, зокрема в Австрії, Швейцарії, Нідерландах та Великобританії. З'являються перші проєкти пасивних шкіл, лікарень та офісів, що демонструють універсальність технології.

2010-ті роки: Інтеграція з іншими екологічними стандартами. Стандарт починає поєднуватися з іншими екологічними стандартами (LEED, BREEAM) і

зосереджується на зниженні вуглецевого сліду. Технології пасивного будинку використовуються у великих житлових комплексах та висотних будівлях, що демонструє їхню ефективність не тільки у малоповерхових, але і у багатоповерхових будинках.

Сучасний етап: Розширення стандарту та розвиток нових підходів. Інститут пасивного будинку продовжує адаптувати стандарт для різних кліматичних зон, розробляючи рішення для будівель у тропічних, пустельних та арктичних умовах. Активно досліджуються нові матеріали та технології для підвищення енергоефективності, зокрема використання ВДЕ, автоматизації контролю мікроклімату та інтелектуальних систем управління. На сьогодні стандарт «Пасивний будинок» став загально визнаним підходом до проектування і будівництва енергоефективних споруд. Його принципи широко застосовуються в різних країнах світу, стимулюючи розвиток екологічного будівництва та зниження енергоспоживання в будівництві. [\[1, 2, 3\]](#)

1.2. Основні критерії та принципи енергоефективності «Пасивного будинку»

Класифікація будівель за рівнем енергоефективності

- Старі будинки (збудовані до 1970-х років) – споживають на опалення близько $300 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$.
- Нові будинки (зведені до 2000 року) – на рівні $150 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$.
- Будівлі з низьким споживанням енергії (будівництво нових будівель що не відповідають стандарту з 2002 року заборонене) – $60 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$.
- Пасивні будинки (відповідно до закону з 2019 року, усі нові будівлі мають не мають перевищувати) – $15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$.
- Будинки нульової енергії – що не потребують зовнішньої енергії на опалення та кондиціонування, забезпечують себе власними енергетичними ресурсами – $0 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$.

- Будинки з плюсовою енергією – виробляють більше енергії, ніж витрачають, завдяки використанню сонячних батарей, сонячних колекторів, теплових насосів тощо. [\[1, 2, 3\]](#)

Згідно з Директивою про енергетичні характеристики будівель (Energy Performance of Buildings Directive [\[8\]](#), прийнято в ЄС у грудні 2009 р), з 1 січня 2020 року всі нові будівлі повинні відповідати стандартам енергетичної нейтральності, тобто бути принаймні пасивними будинками.

Критерії стандарту «Пасивний будинок»

Стандарт «Пасивний будинок» орієнтований на забезпечення високого рівня енергоефективності шляхом мінімізації енерговтрат та максимального використання природних джерел енергії. Критерії стандарту «Пасивний будинок» наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Критерії стандарту «Пасивний будинок» у ЄС [\[3\]](#)

				Критерії	Альтернативні критерії
Опалення					
Потреби опалення	[кВт·год/м ² ·рік]	≤	15	-	
Теплове навантаження	[Вт/м ²]	≤	-	10	
Охолодження					
Охолодження та осушення	[кВт·год/м ² ·рік]	≤	15 + Вимоги пасивного будинку		
Герметичність					
випробування на герметичність n ₅₀	[1/л]	≤	0.6		
Поновлювальна первинна енергія					
Потреби в поновлювальній первинній енергії	[кВт·год/м ² ·рік]	≤	Класік	Плюс	Преміум
Виробництво відновлюваної енергії (з посиланням на площу проектної будівлі)	[кВт·год/м ² ·рік]	≥	60	45	30
			-	60	120
Допускається перевищення ± 15 [кВт·год/м ² ·рік] З компенсацією вищевказаного відхилення шляхом додаткового вироблення					

При сертифікації промислових та адміністративних будівель за стандартом «Пасивний будинок» енергія, що використовується для виробничих процесів, роботи обладнання, тощо, не враховується. Стандарт враховує лише енергію для забезпечення комфорту та експлуатаційних потреб самої будівлі: обігрів, охолодження, вентиляція, освітлення та роботи систем безпеки.

Методи досягнення стандарту «Пасивний будинок»

Термоізоляція.

Огороджувальні конструкції (стіни, фундамент, вікна, дах, підлога) мають високий коефіцієнт теплопередачі, що спричиняє значні енерговитрати. Наприклад, енерговитрати у звичайному цегляному будинку становлять близько 250 – 350 кВт·год/м² площі будівлі на рік. У пасивних будинках застосовується ефективна термоізоляція всіх зовнішніх елементів: стін, фундаментів, підлоги, стелі, горища, підвалу, що передбачає використання декількох термоізоляційних шарів (внутрішнього і зовнішнього). Це забезпечує ефективне утримання тепла в будинку і запобігає проникненню холоду ззовні. Також приділяється увага усуненню теплових містків (частин конструкції будівлі з підвищеною теплопередачою), щоб втрати тепла через конструкції не перевищували 15 кВт·год/м² на рік для клімату Центральної Європи, що забезпечує близько 20% економії енергії.

Головні принципи енергоефективного проектування пасивного будинку:

- Термоізоляційний конверт: забезпечує мінімізацію втрат тепла через огороджувальні конструкції.
- Герметизуючий шар: вітрозахисна оболонка до термоізоляції для запобігання протягам
- Мінімізація термічних містків: для зменшення енерговтрат.

Термоізоляція є важливішим фактором для енергоефективності, ніж накопичення тепла, і значно підвищує тепловий комфорт та захищає конструкції від пошкоджень. [\[9, 10, 11\]](#)

Уникнення термічних містків. Термічні містки негативно впливають на внутрішній мікроклімат, знижуючи температуру внутрішніх поверхонь зовнішніх стін, що може спричинити вологість і утворення плісняви. Пасивні будинки зводять цей ризик до мінімуму, завдяки чому температури на зовнішніх поверхнях зберігаються достатньо високими, щоб уникнути надмірної вологості та незначних додаткових енерговтрат. Конструкції вважаються такими, що відповідають вимогам

«без термічних містків», якщо енерговитрати з термічних містків не перевищують граничне значення лінійного коефіцієнта теплопередачі $0,01 \text{ Вт/м}^2$. [11]

Герметичність. Показник герметичності будинку визначає повітропроникність або витік повітря через конструкції і вимірюється в метрах кубічних за годину на метр квадратний площі огорожувальних конструкцій будинку за умов перепаду тиску 50 Па ($\text{м}^3/\text{год}/\text{м}^2$ при 50 Па). Площа оболонки включає сумарну площу підлог, стін і стель, у тому числі конструкції, що відокремлюють будинок від сусідніх опалюваних або неопалюваних приміщень. (Паропроникність конструкцій не впливає на показник герметичності будівлі) [11]

Вікна та двері «пасивного будинку» [10]

- Подвійний склопакет з низько емісійними покриттями та інертним газом.
- Термоізольовані дистанційні рамки між склопакетами та віконними рамами.
- Енергоефективні віконні рами для зменшення енерговтрат.
- Південна орієнтація: Вікна орієнтують на південь, що дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію.

Вентиляція, Рекуперація, мікроклімат

Для створення оптимального мікроклімату в пасивних будинках передбачено ефективну систему вентиляції, обігріву та кондиціонування. Стандартно вентиляція здійснюється природним шляхом через пасивні вентиляційні системи на кухні та у санвузлі, та через фіранки. У пасивних будинках використовується герметична припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла, де теплова енергія відпрацьованого повітря передається свіжому повітрю через теплообмінник. Завдяки цьому свіже повітря, що подається в приміщення, має температуру близько 17°C , незалежно від сезону. [11]

Термічні буферні зони

Використовуються як термічний буфер між зовнішнім середовищем та житловою зоною, що додатково знижує втрати тепла.

- Зимовий сад або веранда:
- Тамбур входних дверей (подвійні входні двері) [\[11\]](#)

Оптимізація внутрішнього простору

- Мінімізація коридорів і технічних зон: Більша частина площі використовується для житлових приміщень, що ефективніше в енергетичному сенсі.
- Зонування теплих і холодних приміщень: Розташування теплих приміщень у центрі, а технічних і допоміжних ближче до зовнішніх стін. [\[10\]](#)

Автоматизація управління кліматом

- Система «розумний будинок»: Автоматизує управління освітленням, температурою, вентиляцією для оптимізації споживання енергії. [\[11\]](#)

Пасивне використання сонячної енергії

- Теплоємність: Використовують матеріали з високою теплоємністю (бетон, цегла), які акумулюють тепло вдень і віддають його вночі.
- Ці елементи разом забезпечують пасивному будинку максимальну енергоефективність та комфорт, значно скорочуючи потреби в традиційних джерелах енергії. [\[10\]](#)
- Проектування вікон з урахуванням сезонного положення сонця в небі

1.2. Критерії «Стандарту EnerPHit для методу компонентів будівлі»

Досягнення стандарту «Пасивний будинок» не завжди можливе, особливо при модернізації зведених будівель, навіть при достатньому фінансуванні. Для таких випадків Інститут пасивного будинку розробив сертифікат «EnerPHit – Сертифікація будівель, що модернізуються з компонентами пасивного будинку» [\[12\]](#), що має свої регламентовані критерії. У таблиці 2 наведено ключові вимоги, які необхідно

виконати для отримання сертифікації за цією методикою. При реконструкції багатоквартирних будинків можна застосовувати заходи, пов'язані з пасивним будинком, спрямовані на підвищення термоізоляції та усунення термічних містків. Разом з тим, враховуючи специфіку інженерних систем будинків та наявність вторинних джерел енергії, можна розглядати додаткові рішення для багатоквартирних будівель, які сприяють підвищенню рівня енергоефективності та теплового комфорту.


Концепція 1

- Вентиляція: встановлення рекуператорів тепла типу «стіновий клапан» з акцентом на подачу повітря у житлових приміщеннях.
- Опалення: проектування низькотемпературних систем опалення
- Джерело тепла: газова котельня з конденсаційними котлами.
- Очікуваний ефект: економія палива до 5% від початкових об'ємів, покращення показників мікроклімату.

Концепція 2

- Вентиляція: встановлення рекуператорів тепла типу «стіновий клапан» з акцентом на подачу повітря у житлових приміщеннях.
- Опалення: проектування низькотемпературних систем опалення
- Джерело тепла: газова котельня з конденсаційними котлами.
- Каналізація: відокремлення стояків для фекальних стоків від умовно «чистих» стояків (кухня, ванна), рекуперація тепла «чистих» вод для підігріву води для ГВП.
- Гаряче водопостачання (ГВП): підбір рекуператора для середнього споживання гарячої води з доповненням індивідуальними бойлерами для кожної квартири.
- Очікуваний ефект: до 5% економії палива та 30-35% економія на ГВП, поліпшення мікроклімату.

Таблиця 2. Критерії Стандарту EnerPHit для методу компонентів будівлі [12]

Кліматична зона	Огороджувальні конструкції				Вікна (та вхідні двері)				Вентиляція			
	Фунд.	Зовнішні			Загалом			Скло	Сонячне навантаж	Вентиляція		
	Ізоляція	Зовнішня зольація	Внутрішня зольація	Колір	Макс. коефіцієнт теплопередачі			Коефіцієнт посилення сонячного тепла (g)	Макс. питоме сонячне навантаження в період охолодж.	Мін. ефективність рекуперації тепла	Мін. ефективність регенерації вологи	
	Коефіцієнт теплопередачі (U)			Холодні кольори								
	[Вт/м²К]			-	[Вт/м²К]			-	[кВт·год/ м²·р]	%		
												
Арктична	Визначено залежно від кількості днів опалення та охолодження біля основи	0.09	0.25	-	0.45	0.50	0.60	$U_g - g \cdot 0.7 \leq 0$	100	80%	-	
Холодна		0.12	0.30	-	0.65	0.70	0.80	$U_g - g \cdot 1.0 \leq 0$		80%	-	
Помірно холодна		0.15	0.35	-	0.85	1.00	1.10	$U_g - g \cdot 1.6 \leq 0$		75%	-	
Помірно тепла		0.30	0.50	-	1.05	1.10	1.20	$U_g - g \cdot 3.2 \leq -0.6$		75%	-	
Тепла		0.50	0.75	-	1.25	1.30	1.40	-		-	-	
Спекотна		0.50	0.75	Так	1.25	1.30	1.40	-		-	-	60 % (вологий клімат)
Дуже спекотна		0.25	0.45	Так	1.05	1.10	1.20	-		-	-	60 % (вологий клімат)

Концепція 3

- Вентиляція: встановлення рекуператорів тепла типу «стіновий клапан» з акцентом на подачу повітря у житлових приміщеннях.
- Опалення: проектування низькотемпературних систем опалення
- Джерело тепла: повітряні теплові насоси для опалення і частково для ГВП, з режимами роботи до $-5 \dots -7$ °С; газова котельня з конденсаційними котлами в якості резервного опалення.
- Каналізація: відокремлення стояків для фекальних стоків від умовно «чистих» стояків (кухня, ванна), рекуперація тепла «чистих» вод для підігріву води для ГВП.

- Гаряче водопостачання (ГВП): підбір рекуператора для середнього споживання гарячої води з доповненням індивідуальними бойлерами для кожної квартири.
- Очікуваний ефект: заміщення до 70-75% природного газу електроенергією (для роботи теплових насосів), 30-35% економія на ГВП, поліпшення мікроклімату.

Концепція 3а

- Відмінність: доповнення концепції 3 – додаткові альтернативні джерела енергії для ГВП, наприклад, сонячні колектори, які працюють у літній та перехідний періоди.

Концепція 4

- Вентиляція: встановлення рекуператорів тепла типу «стіновий клапан» з акцентом на подачу повітря у житлових приміщеннях.
- Опалення: індивідуальна електрична система опалення з установкою приладів, що акумулюють теплову енергію (наприклад, магнезит) під нічний тариф електроенергії.
- ГВП: індивідуальні бойлери або централізоване ГВП на основі альтернативних джерел (з рекуперацією тепла з каналізації).
- Очікуваний ефект: індивідуальне опалення за низькою вартістю електроенергії в нічний час, повне заміщення природного газу електроенергією, спрощення монтажу системи опалення, поліпшення мікроклімату і розвантаження ОЕС-У.

2. МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА «ПАСИВНИХ БУДИНКІВ»

2.1. Матеріали для будівництва несучих конструкцій

Розглянемо основні будівельні матеріали для «Пасивних будинків»

1. Бетон, питома маса 2200–2500 кг/м³, ДСТУ 9208:2022 [13] – це незамінний будівельний матеріал, який використовується для будівництва фундаментів та підвальних приміщень. Завдяки високій міцності, довговічності та хорошій стійкості до навантажень, бетон забезпечує надійну основу будівлі. Проте бетон має важливий недолік – високу теплопровідність, та дуже швидко віддає теплову енергію. В місцях використання бетону в «Пасивному будинку» обов'язково передбачена ефективна термоізоляція, яка б зменшила енерговитрати.
2. Керамічна цегла та керамічні блоки, питома маса 1600–1900 кг/м³ ДСТУ Б В.2.7-61:2008 [14]. Ці матеріали забезпечують високу термоізоляцію, міцність та екологічну безпеку. Керамічні блоки, завдяки своїй пористій структурі, мають меншу вагу, покращену термоізоляцію, сприяють регуляції мікроклімату всередині приміщення. Мають хороші звукоізоляційні властивості та високу стійкість до вологи.
3. Газоблоки та піноблоки, питома маса 300–600 кг/м³, ДСТУ Б В.2.7-45:2010 [15]. Це легкі й теплі матеріали з пористою структурою, що забезпечують високий рівень термоізоляції та низьку вагу будівлі. Газоблоки і піноблоки легко піддаються обробці, що полегшує їхнє використання для будівництва енергоефективних споруд. Проте мають погану звукоізоляцію і легко руйнуються під механічним впливом.
4. Дерево, питома маса 500–700 кг/м³ Екологічний матеріал з природними термоізоляційними властивостями. Дерев'яні конструкції мають здатність утримувати тепло взимку і зберігати прохолоду влітку. Також дерево забезпечує ефективний повітрообмін, що покращує мікроклімат.

Деревина є відновлюваним ресурсом, тому вона підходить для екологічно чистого будівництва.

5. СІП-панелі (Структурні Ізоляційні Панелі), питома маса 600–800 кг/м³ ДСТУ Б EN 14509:2014 [16]. Це матеріал, що складається з двох шарів орієнтовано-стружкової плити (OSB) з внутрішнім ізоляційним шаром (пінополістирол або поліуретан). СІП-панелі мають високі термоізоляційні властивості, дозволяють швидко зводити конструкції і підходять для герметичних будинків. Вони також забезпечують низькі втрати тепла через стіни і легко монтуються.

Таб.3. Властивості основних будівельних матеріалів

Бетон	Керамічна цегла	Газо / піно блоки	Дерево	СІП панелі
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)				
1,2 - 1,7	0,4 - 0,8	0,1 - 0,2	0,12 - 0,18	0,028 - 0,035
Питома маса кг/м³				
2200 - 2500	1600 - 1900	300 - 600	500 - 700	600 - 800
Коефіцієнт паропроникності, г/(м·год·Па)				
0,03 - 0,15	0,11 - 0,17	0,2 - 0,23	0,3 - 0,32	0,005 - 0,015
Коефіцієнт гігроскопічності, % маси				
2 - 6	8 - 12	20 - 25	>30	5 *

* Гігроскопічність OSB, 5-10%, гігроскопічність внутрішнього наповнення з пінополіуретану 1%

2.2. Фактори, які впливають на комфорт в будівлі

На комфорт всередині приміщення в впливають температура та вологість повітря, а також інші фактори, такі як повітрообмін, рівень освітлення, звукоізоляція та якість повітря. Однак саме температура і вологість відіграють ключову роль у створенні здорового та комфортного мікроклімату.

Примітка: коефіцієнт теплопровідності вимірюється в Вт/м · °К, в де-яких джерелах його задають Вт/м·°С. Оскільки 1°К = 1°С, для зручності сприйняття в роботі я використовую Вт/м·°С.

Температура. Оптимальна температура повітря варіюється залежно від типу приміщення та діяльності, що в ньому відбувається. У житлових приміщеннях комфортною вважається температура 20 – 22°C, відмітимо, що у спальних кімнатах температуру рекомендують знижувати до 17 – 19°C для кращого сну.

Температура у виробничих приміщеннях залежить від характеру виробничого процесу, рівня фізичної активності працівників, специфіки обладнання та матеріалів, які використовуються. Для приміщень, що передбачають високу фізичну активність працівників, рекомендована температура у межах 16 - 18°C. Це дозволяє зменшити теплове навантаження на організм, запобігає перегріву та підтримує продуктивність праці. З помірним фізичним навантаженням – 18 - 20°C. Це забезпечує комфортний мікроклімат, запобігає втратам тепла та сприяє зниженню втоми. Для роботи, що не потребує значної фізичної активності (офісні приміщення), рекомендується температура в діапазоні 20–22°C. Такий рівень підтримує комфортні умови, сприяє зосередженню та забезпечує стабільну роботу у приміщеннях, де потрібна точність і концентрація.

Надмірна температура призводить до відчуття сухості повітря і дискомфорту, а занадто низька – до втрати теплового комфорту та збільшення ризику простудних захворювань.

Вологість. Комфортний рівень відносної вологості становить 40-60%. Така вологість сприяє природному термообміну та відчуттю свіжості у приміщенні. Висока вологість повітря значно знижує тепловий комфорт. При високій вологості повітря механізми регулювання температури організму працюють менш ефективно, що створює дискомфорт. У перегрітих приміщеннях із надмірною вологістю температура здається ще гарячішою, а у холодних – ще холоднішою. «Похибка» складає 2-3°C, а спроба її компенсації за рахунок зміни температури призводить до зайвих енерговитрат. Ефективний інструмент боротьби з надмірною вологістю – якісна система вентиляції з рекуперацією тепла.

Занадто низька вологість призводить до пересихання шкіри, подразнення слизових оболонок і зниження імунітету. Підвищити вологість повітря можливо встановивши зволожувачі повітря або з допомогою кімнатних рослин.

Вентиляція. Якісна вентиляція підтримує належний рівень кисню, видаляє зайву вологу та шкідливі речовини, що виділяються меблями, побутовою технікою або будівельними матеріалами. Завдяки достатньому повітрообміну запобігається накопичення CO₂, що сприяє покращенню концентрації, самопочуття та загальної працездатності.

Звукоізоляція. Зайві шуми можуть викликати стрес, заважати відпочинку і знижувати якість життя. Ізоляція від зовнішніх звуків і внутрішнє планування приміщення забезпечують спокій і затишок у приміщенні.

Освітлення. Природне та штучне освітлення також відіграє важливу роль у комфорті. Правильний рівень освітлення не тільки сприяє зору і продуктивності, а й впливає на настрій і загальне самопочуття. [\[17\]](#)

2.3. Вплив питомої маси матеріалів на комфорт в будівлі

Питома маса матеріалів має важливий вплив на комфорт в приміщеннях, оскільки вона визначає, як будівельні елементи здатні зберігати теплову енергію, впливати на акустичні характеристики та регулювати вологість.

Термоізоляція. Матеріали з високою питомою масою, як правило, мають кращу теплову інерцію. Вони здатні накопичувати теплову енергію в холодні періоди і поступово його віддавати, що допомагає підтримувати стабільну температуру в середині будівлі. Що особливо важливо для забезпечення теплового комфорту в зимовий та весняно-осінній періоди.

Акустичні властивості. Висока питома маса матеріалів, таких як бетон або цегла, також сприяє кращій звукоізоляції. Вони можуть ефективно поглинати та розсіювати звукові хвилі, зменшуючи шум з зовнішнього середовища та між приміщеннями, що покращує загальний комфорт.

Регуляція вологості. Деякі матеріали з великою питомою масою здатні поглинати вологу з повітря, підтримуючи рівень вологості в приміщенні на оптимальному рівні. Що, в свою чергу, сприяє запобіганню розвитку плісняви, яка негативно впливає на якість повітря і комфорт.

Енергоефективність. Будівлі з матеріалами з високою питомою масою зазвичай демонструють кращу енергоефективність. Вони потребують менше енергії для обігріву або охолодження, оскільки здатні підтримувати більш стабільний температурний режим.

В той же час матеріали з низькою питомою масою вигідніше використовувати для будівель призначених для періодичного використання. Так як приміщення таких будівель будуть швидко нагріватись або охолоджуватись без значних витрат на нагрів чи охолодження конструкцій.

Отже, правильний вибір матеріалів з урахуванням їх питомої маси може суттєво вплинути на комфорт у житлових і виробничих приміщеннях, забезпечуючи оптимальні умови для проживання та роботи.

2.4. Паропроникність матеріалів

Паропроникність – це властивість яка дозволяє пропускати водяну пару крізь товщу матеріалу. Одиниця виміру – коефіцієнт паропроникності (μ) – показник, який характеризує кількість водяної пари, що проходить через матеріал за певний час і тиск. Вимірюється в $\text{г}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$. [\[18\]](#)

Цей показник є ключовим у будівництві енергоефективних і комфортних для життя будівель, оскільки впливає на здатність будівлі «дихати», регулювати вологість всередині за рахунок різниці температур всередині та зовні. З початком морозів вологість повітря різко знижується і волога, що накопичилась, зсередини приміщення і з несучих конструкцій виходить назовні.

При проєктуванні енергоефективних будівель важливо забезпечити баланс паропроникності різних шарів конструкції: внутрішні шари мають бути менш

паропроникними, ніж зовнішні, щоб пара вільно виходила назовні, а не накопичувалася всередині стін.

2.5. Гігроскопічність матеріалів

Гігроскопічність матеріалів – це здатність будівельних матеріалів поглинати вологу з повітря та утримувати її. Ця властивість особливо важлива для підтримання стабільного рівня вологості в приміщенні, а також для уникнення проблем, пов'язаних із накопиченням вологи, яка може призводити до виникнення термічних містків чи до руйнування матеріалу. [\[19\]](#)

Гігроскопічність – критично важливий показник при виборі термоізоляційних матеріалів, так як накопичення вологи в них значно знижує їх ефективність.

Основні поняття гігроскопічності:

- Вологовбирання – показник, який характеризує кількість вологи, яку матеріал може увібрати з навколишнього середовища. Вимірюється у відсотках від маси матеріалу або у грамах на метр кубічний.
- Вологовіддача – здатність матеріалу віддавати поглинуту вологу назад у повітря. Це важливо для природного регулювання вологості в приміщенні.

Вплив високого рівня гігроскопічності на будівництво:

- Погіршення термоізоляції: поглинена матеріалом волога може знижувати його термоізоляційні властивості, оскільки волога є гарним провідником тепла.
- Ризик утворення цвілі та грибка: матеріали з високою гігроскопічністю при підвищеній вологості можуть створити сприятливе середовище для розвитку грибка та цвілі.

- Довговічність матеріалів: постійне насичення і висихання матеріалу з часом призводить до його руйнування, особливо актуально для деревини та газобетону.

2.6. Термоізоляційні матеріали

Порівняння основних термоізоляційних матеріалів є важливим етапом у виборі оптимальних варіантів для будівництва. Не існує ідеального матеріалу. Кожен із зазначених має свої характеристики, переваги та недоліки, які варто враховувати. При виборі термоізоляційного матеріалу слід враховувати конкретні умови експлуатації, вимоги до вогнестійкості, екологічності, а також вартість матеріалів. Наприклад: скляна і базальтова вата підходять для звукоізоляції і вогнестійкості, тоді як полістироли (як екструдований, так і спінений) забезпечують високу термоізоляцію з різними характеристиками механічної міцності та водопоглинання. Спінений поліуретан є ідеальним вибором для максимальної термоізоляції, але його вартість може бути обмежуючим фактором. Розглянемо найпопулярніші термоізоляційні матеріали. [\[20, 21\]](#)

Скляна вата.

Теплопровідність: 0,032-0,040 Вт/м·°С.

Переваги: висока вогнестійкість, хороша звукоізоляція, низька маса.

Основний недолік: висока гігроскопічність, що обмежує сферу застосування – лише всередині приміщень.

Базальтова вата.

Теплопровідність: 0,035-0,045 Вт/м·°С.

Переваги: стійкість до вогню, низька гігроскопічність, екологічно чистий матеріал, хороша звукоізоляція. Кращий матеріал для утеплення стін та дахів.

Недоліки: вища вартість порівняно зі скляною ватою та пінополістиролом.

Таб.4. Фізичні властивості основних термоізоляційних матеріалів

Скляна вата	Базальтова вата	Екструдований полістирол (XPS)	Спінений полістирол (EPS)	Спінений поліуретан (PUR)
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)				
0,032 - 0,04	0,035 - 0,045	0,03 - 0,04	0,035 - 0,045	0,022 - 0,028
Питома маса кг/м³				
10 - 30	30 - 200	30 - 50	10 - 30	30 - 60
Коефіцієнт паропроникності, г/(м·год·Па)				
0,5 - 0,7	0,4 - 0,5	0,03 - 0,07	0,05 - 0,08	0,1 - 0,2
Коефіцієнт гігроскопічності, % маси				
15 - 25	1 - 2	0	3 - 10 **	0,5 - 1

** Гігроскопічність EPS варіюється в залежності відкриті чи закриті пори в зернах

Екструдований полістирол (XPS).

Теплопровідність: 0,030-0,038 Вт/м·°С.

Переваги: висока міцність на стиск, що робить його ідеальним для фундаментів. Нульова гігроскопічність, що забезпечує стабільність характеристик.

Недоліки: неекологічний матеріал, низькі звукоізоляційні властивості.

Спінений полістирол (EPS).

Теплопровідність: 0,035-0,045 Вт/м·°С.

Переваги: Легкий і простий в обробці, висока термоізоляційна ефективність, низька ціна.

Недоліки: висока горючість, потребує захисту від вогню, може піддаватися деформаціям під впливом механічних навантажень.

Спінений поліуретан (PUR).

Теплопровідність: 0,022-0,028 Вт/м·°С.

Переваги: найвища термоізоляційна ефективність серед зазначених матеріалів, низька гігроскопічність та висока стійкість до дії вологи.

Недоліки: висока вартість, низька екологічність виробництва.

2.7. Архітектура

Архітектурна складова «Пасивного будинку» включає комплекс рішень, спрямованих на забезпечення високого рівня енергоефективності, мінімізацію втрат тепла та використання природних ресурсів. Основні аспекти архітектурного проектування такого будинку включають [\[22\]](#):

Орієнтація будинку

Максимальне використання сонячної енергії: Будівля повинна бути орієнтована так, щоб основні вікна були розташовані на південній стороні. Це дозволяє отримувати максимальну кількість сонячного тепла в зимовий період. При реконструкції будинків цей фактор вкрай важко нівелювати [\[22\]](#).

Захист від перегріву: Для літнього періоду важливо передбачити сонцезахисні елементи (навіси, жалюзі, рослинність), щоб уникнути перегріву приміщень.

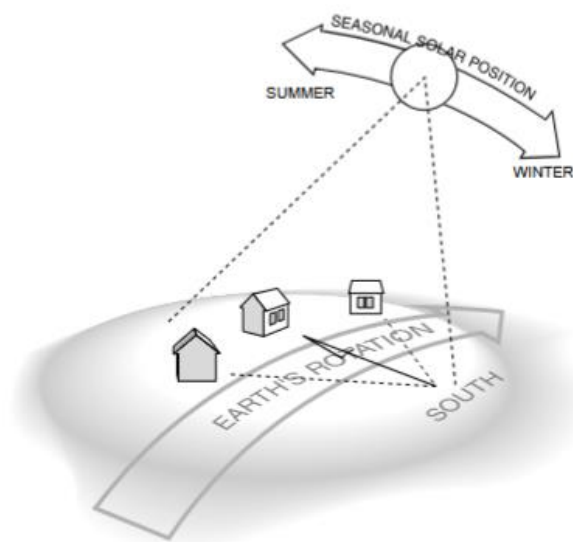


Рис.3. Орієнтація будинку по сторонам світу

Компактна форма будівлі

Зменшення енерговтрат: Простий і компактний дизайн (мінімізація складних форм, виступів, балконів) сприяє скороченню площі зовнішніх стін, що знижує втрати тепла [\[22\]](#).

Пасивне використання сонячної енергії

Матеріали з високою теплоємністю, такі як бетон і цегла, здатні накопичувати тепло протягом дня та поступово віддавати його вночі. Віконні проєми проєктуються з урахуванням сезонного положення сонця в небі. Завдяки цьому пасивні будинки забезпечують оптимальний комфорт і ефективне використання енергії, знижуючи залежність від традиційних джерел. [10]

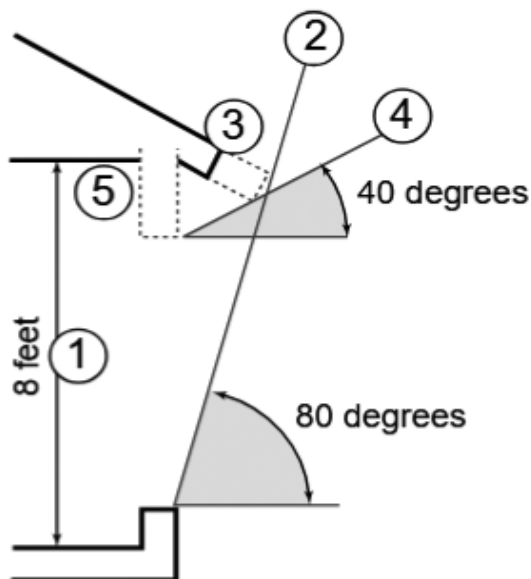


Рис.4. Проєктування затінення віконних проємів відповідно сезонному положенню сонця

Оптимізація об'єму: Важливо забезпечити оптимальний баланс між об'ємом і площею зовнішніх поверхонь, щоб уникнути зайвих енерговтрат [22].

Інтеграція з ландшафтом

Зелені насадження: Можуть забезпечувати природний захист від перегріву влітку та сприяти енергоефективності.

Ландшафтний дизайн: Передбачає оптимальне використання природного середовища для додаткового утеплення та захисту будівлі.

2.8. Точка роси

Точка роси – це температура, при якій водяна пара в повітрі досягає стану насичення, тобто при охолодженні починає конденсуватися на поверхнях (Джерело: Вікіпедія). Якщо температура матеріалу або поверхні знижується до точки роси, волога з повітря починає осідати на поверхні у вигляді конденсату. [23]

У будівництві розрахунок точки роси є критично важливим, особливо при плануванні термоізоляційних рішень, щоб уникнути утворення вологи всередині конструкцій. Високий рівень вологи в огорожувальних конструкціях призводить до значного збільшення енерговитрат будівлі. А також може спричинити утворення цвілі, пошкодження оздоблення та навіть послаблення несучих конструкцій. Тому правильне утеплення та вибір паропроникних матеріалів дозволяє перемістити точку роси всередину шару термоізоляції.

Саме тому важливо враховувати показники гігроскопічності термоізоляційних матеріалів. Невірно обрані матеріали з високою гігроскопічністю, використані для зовнішніх шарів утеплення, можуть звести нанівець усі зусилля з термоізоляції будівлі.

Основні етапи розрахунку точки роси

1. Визначення параметрів повітря:

Встановлюємо температуру та всередині і зовні приміщення. T_{int} та T_{ext} . Середня відносна вологість всередині приміщення 50%. Відносна вологість повітря при від'ємних температурах зовні зазвичай нижче, проте для спрощення самих розрахунків її також приймаємо 50%. Наприклад $T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$ та $T_{ext} = -10^{\circ}\text{C}$.

2. Визначення теплофізичних характеристик стіни:

Знаходимо в довідниках [20, 21] теплопровідність λ_i і зазначаємо товщину d_i кожного шару конструкції. Наприклад, стіна (зсередини назовні) може складатися з шару штукатурки 10 мм, керамічної цегли 500 мм, шару базальтової вати 50 мм і зовнішнього декоративного шару 2 мм.

3. Розрахунок термічного опору кожного шару:

Термічний опір R_i кожного шару обчислюється як:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}, [1]$$

де d_i – товщина шару, λ_i – теплопровідність шару (Вт/м·°С)

4. Розрахунок загального термічного опору:

Сумуємо термічний опір усіх шарів, щоб отримати загальний термічний опір стіни R . Зовнішній декоративний шар в розрахунках участі не приймає так як приймає температуру зовнішнього середовища. Навіть у випадку «колодязьної кладки», коли утеплювач знаходиться за зовнішнім шаром цегли, цей шар цегли не розраховується.

5. Розподіл температур у стіні:

Використовуємо значення загального термічного опору, щоб знайти температуру на межах кожного шару.

$$T_i = T_{int} - \left(\frac{R_i}{R} \cdot (T_{int} - T_{ext})\right), [2]$$

6. Визначення точки роси:

Для кожного шару обчислюємо температуру та порівнюємо її з температурою точки роси, відповідно до вологості повітря. Якщо температура в певній точці стіни нижча за точку роси, там може утворитися конденсат.

7. Додаткові розрахунки (за потреби):

Для обчислення точки роси при відомій відносній вологості та температурі повітря використовують формулу:

$$T_{dew} = \frac{243,04 \cdot \left(\ln RH + \frac{17,625 \cdot T}{243,04 + T}\right)}{17,625 - \left(\ln RH + \frac{17,625 \cdot T}{243,04 + T}\right)}, [3]$$

де RH – відносна вологість (у вигляді десяткового дробу, $50\% = 0,5$), T – температура повітря в $^{\circ}\text{C}$, $243,04$ – константа, яка використовується для точності формули у розрахунках при температурі в градусах Цельсія. Вона належить до формули для фазових змін води в повітрі, $17,625$ – постійний коефіцієнт, який залежить від характеристик водяної пари.

8. Для складних схем огорожувальних конструкцій можна скористатись онлайн калькулятором розрахунку точки роси або спеціальним ПЗ.

Приклад Розрахунку точки роси

Таб.5. Залежність точки роси від температури та вологості [24]

Температура повітря	Температура точки роси при відносній вологості повітря (%)													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-10°C	-23,2	-21,8	-20,4	-19	-17,8	-16,7	-15,8	-14,9	-14,1	-13,3	-12,6	-11,9	-10,6	-10
-5°C	-18,9	-17,2	-15,8	-14,5	-13,3	-11,9	-10,9	-10,2	-9,3	-8,8	-8,1	-7,7	-6,5	-5,8
0°C	-14,5	-12,8	-11,3	-9,9	-8,7	-7,5	-6,2	-5,3	-4,4	-3,5	-2,8	-2	-1,3	-0,7
+2°C	-12,8	-11	-9,5	-8,1	-6,8	-5,8	-4,7	-3,6	-2,6	-1,7	-1	-0,2	-0,6	1,3
+4°C	-11,3	-9,5	-7,9	-6,5	-4,9	-4	-3	-1,9	-1	0	0,8	1,6	2,4	3,2
+5°C	-10,5	-8,7	-7,3	-5,7	-4,3	-3,3	-2,2	-1,1	-0,1	0,7	1,6	2,5	3,3	4,1
+6°C	-9,5	-7,7	-6	-4,5	-3,3	-2,3	-1,1	-0,1	0,8	1,8	2,7	3,6	4,5	5,3
+7°C	-9	-7,2	-5,5	-4	-2,8	-1,5	-0,5	0,7	1,6	2,5	3,4	4,3	5,2	6,1
+8°C	-8,2	-6,3	-4,7	-3,3	-2,1	-0,9	0,3	1,3	2,3	3,4	4,5	5,4	6,2	7,1
+9°C	-7,5	-5,5	-3,9	-2,5	-1,2	0	1,2	2,4	3,4	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2
+10°C	-6,7	-5,2	-3,2	-1,7	-0,3	0,8	2,2	3,2	4,4	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1
+11°C	-6	-4	-2,4	-0,9	0,5	1,8	3	4,2	5,3	6,3	7,4	8,3	9,2	10,1
+12°C	-4,9	-3,3	-1,6	-0,1	1,6	2,8	4,1	5,2	6,3	7,5	8,6	9,5	10,4	11,7
+13°C	-4,3	-2,5	-0,7	0,7	2,2	3,6	5,2	6,4	7,5	8,4	9,5	10,5	11,5	12,3
+14°C	-3,7	-1,7	0	1,5	3	4,5	5,8	7	8,2	9,3	10,3	11,2	12,1	13,1
+15°C	-2,9	-1	0,8	2,4	4	5,5	6,7	8	9,2	10,2	11,2	12,2	13,1	14,1
+16°C	-2,1	-0,1	1,5	3,2	5	6,3	7,6	9	10,2	11,3	12,2	13,2	14,2	15,1
+17°C	-1,3	0,6	2,5	4,3	5,9	7,2	8,8	10	11,2	12,2	13,5	14,3	15,2	16,6
+18°C	-0,5	1,5	3,2	5,3	6,8	8,2	9,6	11	12,2	13,2	14,2	15,3	16,2	17,1
+19°C	0,3	2,2	4,2	6	7,7	9,2	10,5	11,7	13	14,2	15,2	16,3	17,2	18,1
+20°C	1	3,1	5,2	7	8,7	10,2	11,5	12,8	14	15,2	16,2	17,2	18,1	19,1
+21°C	1,8	4	6	7,9	9,5	11,1	12,4	13,5	15	16,2	17,2	18,1	19,1	20
+22°C	2,5	5	6,9	8,8	10,5	11,9	13,5	14,8	16	17	18	19	20	21
+23°C	3,5	5,7	7,8	9,8	11,5	12,9	14,3	15,7	16,9	18,1	19,1	20	21	22
+24°C	4,3	6,7	8,8	10,8	12,3	13,8	15,3	16,5	17,8	19	20,1	21,1	22	23
+25°C	5,2	7,5	9,7	11,5	13,1	14,7	16,2	17,5	18,8	20	21,1	22,1	23	24
+26°C	6	8,5	10,6	12,4	14,2	15,8	17,2	18,5	19,8	21	22,2	23,1	24,1	25,1
+27°C	6,9	9,5	11,4	13,3	15,2	16,5	18,1	19,5	20,7	21,9	23,1	24,1	25	26,1
+28°C	7,7	10,2	12,2	14,2	16	17,5	19	20,5	21,7	22,8	24	25,1	26,1	27
+29°C	8,7	11,1	13,1	15,1	16,8	18,5	19,9	21,3	22,5	22,8	25	26	27	28
+30°C	9,5	11,8	13,9	16	17,7	19,7	21,3	22,5	23,8	25	26,1	27,1	28,1	29
+32°C	11,2	13,8	16	17,9	19,7	21,4	22,8	24,3	25,6	26,7	28	29,2	30,2	31,1
+34°C	12,5	15,2	17,2	19,2	21,4	22,8	24,2	25,7	27	28,3	29,4	31,1	31,9	33
+36°C	14,6	17,1	19,4	21,5	23,2	25	26,3	28	29,3	30,7	31,8	32,8	34	35,1
+38°C	16,3	18,8	21,3	23,4	25,1	26,7	28,3	29,9	31,2	32,3	33,5	34,6	35,7	36,9
+40°C	17,9	20,6	22,6	25	26,9	28,7	30,3	31,7	33	34,3	35,6	36,8	38	39

Проведемо розрахунок точки роси гіпотетичної стіни будівлі:

Шар 1: штукатурка гіпсова; $\lambda_1 = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$ $d_1 = 0,01 \text{ м}$

Шар 2: кладка з керамічної цегли; $\lambda_2 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$ $d_2 = 0,5 \text{ м}$

Шар 3: базальтова вата; $\lambda_3 = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$ $d_3 = 0,05 \text{ м}$

Шар 4: декоративна штукатурка, не розраховується

Температура всередині 20°С

Температура зовні -10°С

Відносна вологість повітря 50%

$$R_1 = 0,01 / 0,35 = 0,029$$

$$R_2 = 0,5 / 0,81 = 0,62$$

$$R_3 = 0,05 / 0,04 = 1,25$$

$$R = 1,899 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{С /Вт)}$$

$$T_{1Max} = 20^\circ\text{С}$$

$$T_{1Min} = T_{2Max} = 20 - 0,029/1,896 \cdot (20 + 10) = 19,54^\circ\text{С}$$

$$T_{2Min} = T_{3Max} = 19,54 - 0,62/1,896 \cdot (19,54 + 10) = 9,9^\circ\text{С}$$

$$T_{3Min} = -10^\circ\text{С}$$

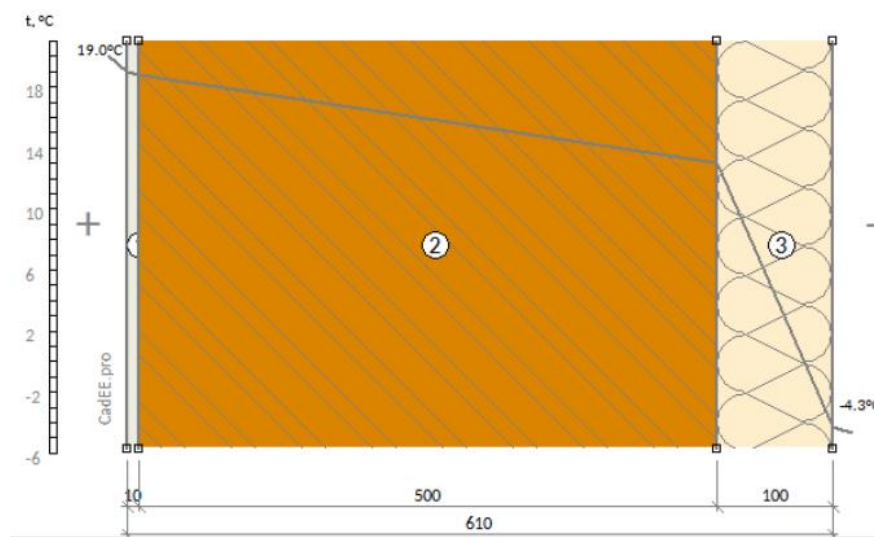


Рис.5. Розрахунок точки роси

Порівнявши отримані температури з температурами точки роси (Таб. 5), або провівши розрахунки за Формулою [3] визначимо, що криві температури матеріалів конструкції стіни та температури конденсації не перетинаються.

Тобто утеплення конструкцій достатнє і намокання не відбувається. Аналогічним чином проводяться розрахунки точки роси дахів та даху мансардного поверху, фундаментів, підлоги 1 поверху (цокольного поверху, підвалу).

2.9. Теплотехнічний розрахунок

Теплотехнічний розрахунок будівлі – це процес визначення енергетичних характеристик огорожувальних конструкцій (стін, даху, підлоги, вікон), а також розрахунку енерговитрат, необхідних для підтримання комфортної температури у приміщенні. Цей розрахунок дозволяє встановити оптимальну товщину термоізоляційних матеріалів, обрати тип опалення та вентиляції, щоб досягти мінімальних енерговитрат і енергоощадності.

Завдання теплотехнічного розрахунку:

- Визначити потреби будівлі в опаленні та охолодженні.
- Розрахувати товщину і тип термоізоляційного матеріалу для мінімізації енерговитрат.
- Зменшити експлуатаційні витрати за рахунок оптимізації енерговитрат.
- Теплотехнічний розрахунок є критично важливим для проектування енергоефективних, зокрема й пасивних, будинків.

Основні етапи теплотехнічного розрахунку:

Визначення вихідних даних: враховуються параметри кліматичної зони, розміщення будівлі, внутрішні параметри (температура, вологість) і нормативні вимоги/ ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» [\[25\]](#).

1. Розрахунок теплопередачі через огорожувальні конструкції: визначається коефіцієнт теплопередачі (U) для кожної поверхні (стіни, дах, підлога,

вікна). Формула для розрахунку коефіцієнта теплопередачі для багат шарової конструкції виглядає наступним чином:

$$U = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}}, [4]$$

де d_i – товщина шару, λ_i – теплопровідність шару (Вт/м·°С)

2. Розрахунок енерговитрат через огорожувальні конструкції: загальні енерговитрати визначаються на основі площі кожної конструкції та розрахованого коефіцієнта теплопередачі. Формула енерговитрат для певної площі виглядає так:

$$Q = U \cdot A \cdot (T_{int} - T_{ext}), [5]$$

де Q – енерговитрати (Вт), A – площа конструкції (м²), а T_{int} та T_{ext} – температури всередині та зовні будівлі (°С).

3. Визначення оптимальної товщини термоізоляції: підбір матеріалів і товщини шару для досягнення нормативних теплових характеристик. На цьому етапі обирається тип ізоляції, який максимально ефективно знижує енерговитрати, зберігаючи енергоефективність будівлі.
4. Вентиляційні енерговитрати розраховуються на основі об'єму повітря, що входить до приміщення, та різниці температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям. Цей тип втрат можна мінімізувати, встановивши рекуператори тепла, які дозволяють частково повернути теплову енергію з витяжного повітря в систему подачі.

$$Q_{vent} = V \cdot \rho \cdot c \cdot (T_{int} - T_{ext}), [6]$$

де Q_{vent} – енерговитрати через вентиляцію (Вт), V об’єм повітря, що входить за одиницю часу ($\text{м}^3/\text{год}$), ρ густина повітря (близько $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$), c – питома теплоємність повітря (близько $1005 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$), T_{int} та T_{ext} – температури всередині та зовні будівлі ($^\circ\text{C}$).

При використанні рекуператора енерговитрати зменшуються на ефективність пристрою. Ефективність рекуператора (η) може варіюватися 60% – 90% (0,6 – 0,9 в десяткових величинах) залежно від типу. Тоді:

$$Q_{Vent Rec} = Q_{vent}(1 - \eta), [7]$$

де $Q_{Vent Rec}$ – енерговитрати з урахуванням рекуперації (Вт), η – ефективність рекуператора (в десяткових).

Типові норми вентиляції, залежно від типу приміщення та його призначення,:

Житлові приміщення: 30–50% об’єму приміщення на годину.

Кухні та санвузли: через підвищену вологість та запахи потребують більш інтенсивного обміну – зазвичай 100–150% від об’єму приміщення на годину.

Офісні приміщення: 30–60% об’єму приміщення на годину.

Навчальні заклади та зали очікування: через високий рівень скупчення людей вимагають заміни 50–100% об’єму приміщення на годину.

5. Баланс енергоспоживання: підсумовуються всі енерговитрати та енергоспоживання для підтримки комфортної температури в будівлі протягом року. Щоб оцінити енергоефективність будівлі, енерговитрати потрібно перевести у річні значення на одиницю площі за формулою:

$$q = \frac{Q \cdot t}{A} \text{ (кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2 \text{ на рік)}, [8]$$

де Q – енерговитрати, t – інтервал часу (год), A – площа (м^2)

2.10. Приклад теплотехнічного розрахунку

В якості наочного прикладу проведемо теплотехнічний розрахунок реконструйованого двоповерхового офісного будинку 18,82 x 13,72 x 6,04 м.

- Стіни з керамічної цегли 336,4 м², з утепленням базальтовою ватою 135 кг/м³.
- Площа вікон / дверей 56,7 м²
- Переkritтя з пустотілих плит утеплений спіненим полістиролом; 258,8 м². Дах двоскатний, неутеплений, горище виконує функцію технічного поверху.
- Фундамент з блоків ФБС утеплений; підлога площею 258,8 м² утеплена екструдованим полістиролом.
- Внутрішній об'єм приміщення 2540 м³.

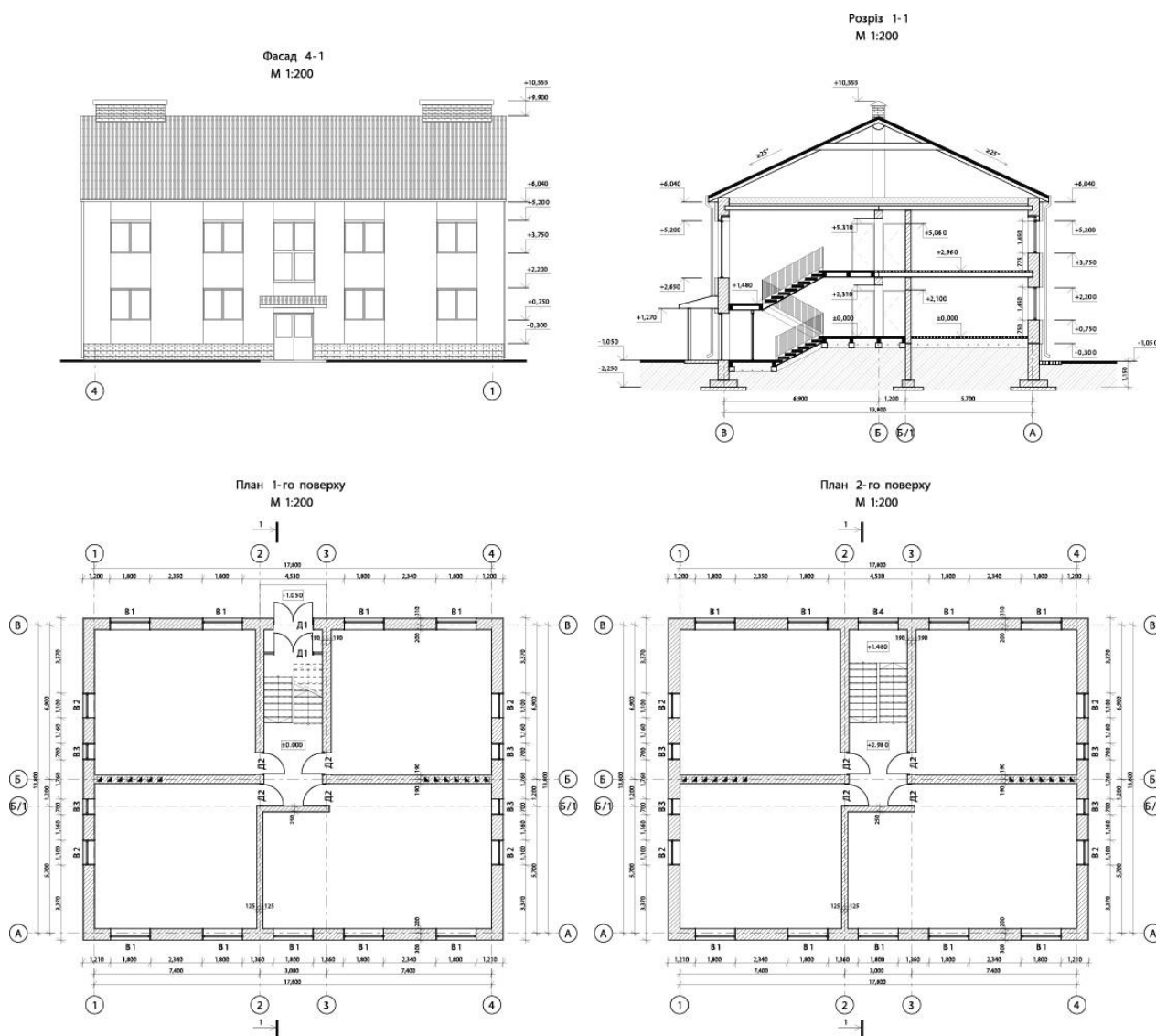


Рис.6. Архітектурний план будинку

Таб.6. Параметри огорожувальних конструкцій

Крнструкція	Стіни	Вікна	Перекрыття	Підлога 1 пов.	Загальна площа, м ²	Об'єм, м ³
Площа, м ²	336,4	56,7	258,8	258,8	517,6	2540
Матеріал	Керамічна цегла	Двокамерний склопакет	Плита пустотна	Суміш цементно-пісчана		
Товщина, м	0,5	0,042 / 0,052	0,2	0,1		
Коеф. теплопередачі	0,81	0,604 / 0,519	1,5	258,8		
Утеплювач	Базальтова вата		Спінений полістирол	Екструдований полістирол		
Коеф. теплопередачі	0,04	0,04	0,04	0,04		

Розрахуємо теплопередачу та енерговитрати через стіни з утеплювачем 5 см

$$U = \frac{1}{\frac{0,01}{0,35} + \frac{0,5}{0,81} + \frac{0,05}{0,04}} = \frac{1}{1,896} = 0,53 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_{wall} = 0,53 \cdot 336,4 \cdot (20 + 10) = 5348,76 \text{ (Вт)}$$

10 см

$$U = \frac{1}{\frac{0,01}{0,35} + \frac{0,5}{0,81} + \frac{0,1}{0,04}} = \frac{1}{3,146} = 0,32 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_{wall} = 0,32 \cdot 336,4 \cdot (20 + 10) = 3229,44 \text{ (Вт)}$$

15 см.

$$U = \frac{1}{\frac{0,01}{0,35} + \frac{0,5}{0,81} + \frac{0,15}{0,04}} = \frac{1}{4,44} = 0,23 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_{wall} = 0,23 \cdot 336,4 \cdot (20 + 10) = 2321,16 \text{ (Вт)}$$

20 см.

$$U = \frac{1}{\frac{0,01}{0,35} + \frac{0,5}{0,81} + \frac{0,2}{0,04}} = \frac{1}{5,646} = 0,18 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_{wall} = 0,18 \cdot 336,4 \cdot (20 + 10) = 1816,56 \text{ (Вт)}$$

Для аналізу ефективності збільшення товщини утеплювача побудуємо графік залежності енерговтрат стіни від товщини утеплювача (Рис.7). Графік демонструє нелінійне зниження енерговтрат до збільшення товщини утеплювача.

Побудуємо графік вартості матеріалів (Рис.8) для визначення оптимальної з економічної точки зору товщини утеплювача. . (В листопаді 2024 р базальтова вата Izovat фасадна, товщиною 50 мм та щільністю 135 кг/м³ коштує 158 грн/м²)

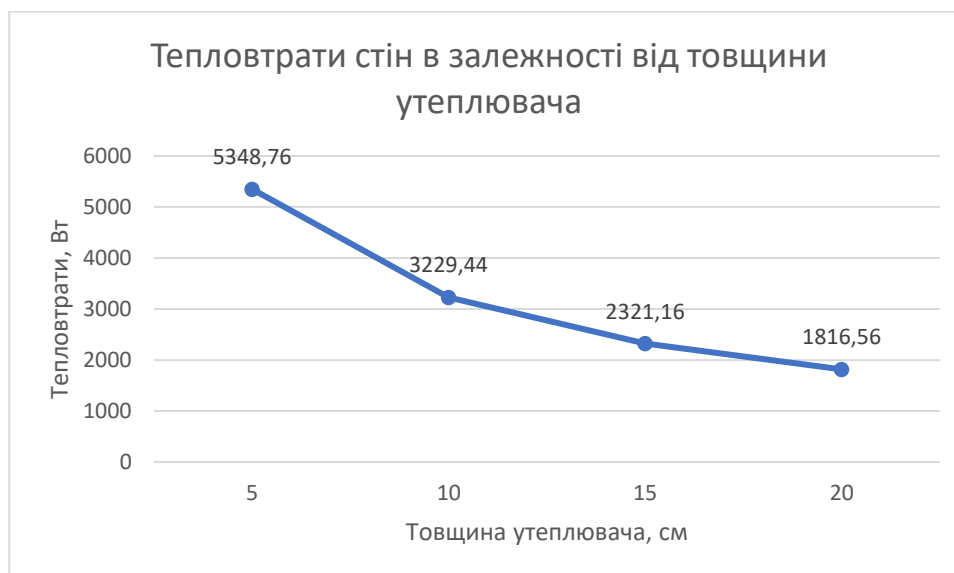


Рис.7. Енерговитрати стіни в залежності від товщини утеплювача

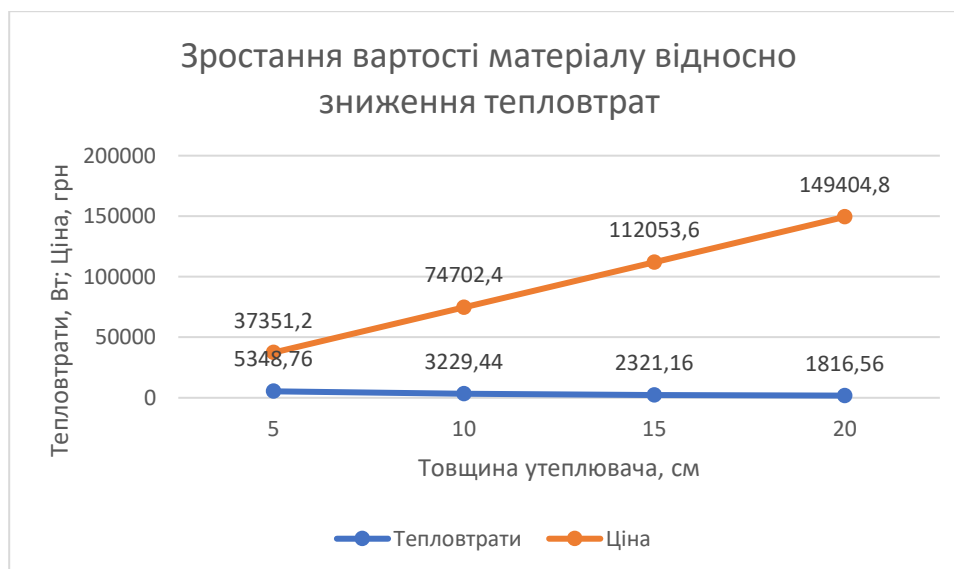


Рис.8. Зростання вартості матеріалу відносно зниження енерговтрат

Вартість матеріалів зростає лінійно на відміну від зниження енерговтрат. В нашому випадку оптимальна товщина утеплення знаходиться на рівні 10 см. Енерговитрати через стіни при утепленні базальтовою ватою 10 см складуть 3229,44 Вт або 0,98 Вт/м². Тобто виконане наступне завдання теплотехнічного розрахунку – визначення економічно обґрунтованого об'єму утеплення.

Розрахуємо теплопередачу та енерговитрати даху з утеплювачем 5 см

$$U = \frac{1}{\frac{0,2}{1,5} + \frac{0,2}{0,04}} = \frac{1}{5,133} = 0,19 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_{roof} = 0,19 \cdot 258,8 \cdot (20 + 10) = 1475,16 \text{ (Вт)}$$

Розрахуємо теплопередачу та енерговитрати підлоги з утеплювачем 10 см за умови утепленого фундаменту (енерговитрати рівномірні по всій площі підлоги і не збільшуються по периметру. Температура ґрунту +5°C

$$U = \frac{1}{\frac{0,1}{0,9} + \frac{0,1}{0,04}} = \frac{1}{2,61} = 0,38 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_{floor} = 0,38 \cdot 258,8 \cdot (20 - 5) = 1475,16 \text{ (Вт)}$$

Виконаємо розрахунок енерговитрат через вікна. Енергозберігаючі вікна з потрійним склом з енергозберігаючим покриттям і товщиною склопакета 42 мм скла мають теплопередачу 0,604 (Вт/м·°C) [\[26\]](#)

$$Q_{window} = 0,604 \cdot 56,7 \cdot (20 + 10) = 1027,4 \text{ (Вт)}$$

Виконаємо розрахунок енерговтрат через вентиляцію. Будівля використовується як офісна, норми повітрообміну згідно ДСанПіН 3.3.2-007-98 складають 30-60 %/год об'єму приміщення. [\[27\]](#). Розрахуємо середній показник 45%.

$$Q_{Vent} = 2540 \cdot 0,45 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot (20 + 10) = 41353,74 \text{ (Вт)}$$

Розрахуємо енерговитрати з рекуператором середньої ефективності, 75%.

$$Q_{Vent Rec} = 41353,74 \cdot (1 - 0,75) = 10338,44 \text{ (Вт)}$$

Загальні енерговитрати розраховуваної будівлі при $T_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{ext} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ складають

$$Q_{wall} + Q_{roof} + Q_{window} + Q_{floor} + Q_{Vent Rec} = 17545,6 \text{ Вт.}$$

Щоб порахувати річні енергозатрати, потрібно розрахувати усі ці параметри для середньомісячних показників температур [28] для періодів опалення та кондиціонування. Зробимо це за допомогою таблиць MS Excel [Додаток1].

Проаналізуємо отримані результати (Таб.7).

- По перше відмітимо, що будинок «не потребує» кондиціонування в літній період, бо середньомісячна температура відповідає температурі комфорту. (Враховуючи, що пікові показники температур значно відрізняються від середніх і той факт, що будівля буде використовувати вдень, система кондиціонування повітря має бути передбачена)
- Енерговитрати через огорожувальні конструкції та вентиляцію без системи рекуперації будинку складають 73,36 кВт·год/м²·рік, енергодефіцит - 58,36 кВт·год/м²·рік. (Таб.8)
- Енерговитрати через огорожувальні конструкції та систему вентиляції з рекуперацією складають 36,94 кВт·год/м²·рік, що відповідає рівню «Будівлі з низьким споживанням енергії» [1, 2, 3]. Дефіцит енергії (для опалення, без врахування інших систем) для відповідності стандарту «Пасивний будинок» складає 21,94 кВт·год/м²·рік.
- Найбільші втрати припадають на вентиляцію, 33%, вікна, 20% та стіни 18%.

Для їх зменшення проведемо наступні заходи (Таб.9):

- підвищимо ефективність рекуперації до 90% та знизимо повітряобмін до 30%;
- підберемо вікна з кращими показниками енергоефективності;
- збільшимо шар термоізоляції на всіх конструкціях.

За результатами обчислень будинок все ще не відповідає критеріям стандарту «Пасивний будинок»: енерговитрати $\leq 15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$.

Примітка. Економічне обґрунтування вибору вікон, об'єму утеплення перекриття даху та підлоги та вибору вентиляції з рекуперацією проводиться аналогічно описаному для стін.

2.11. Висновки розділу 2

Незважаючи на дво-трикратне збільшення шару термоізоляції, використанню максимально енергоефективних вікон та максимальних режимів рекуперації, для даної будівлі стандарт «Пасивний будинок» виключно будівельними засобами недоступний. Значне збільшення термоізоляції виявилось недостатнім. Таким чином Теплотехнічний розрахунок наочно демонструє необхідність модернізації систем енергопостачання.

Також, в процесі підготовки матеріалу був проведений розрахунок аналогічного одноповерхового будинку. Його розрахунки не увійшли в роботу але вони варті того, щоб про них згадати. Показники енерговитрат виявились в середньому на 25% вищими. Тобто можемо зробити ще один, неочевидний висновок: для будівництва «Пасивних будинків» доцільніше обирати проєкти кількоповерхових будівель, так як у них нижчий показник енерговитрат на одиницю корисної площі.

Для проєктування системи енергопостачання даного будинку необхідно обчислити:

- проаналізувати ефективність кожного з вжитих заходів і вибрати найефективніші;
- розрахувати номінальну потужність систем опалення та кондиціонування (з огляду на енерговитрати в найхолодніший та найспекотніший день року);
- розрахувати повний річний обсяг енергоспоживання для систем опалення/кондиціонування, освітлення, додаткових систем;
- передбачити використання альтернативних джерел енергії.

3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ «ПАСИВНИХ БУДИНКІВ»

Сучасні системи енергопостачання будівель спрямовані на забезпечення високого рівня енергоефективності, стабільності та зниження впливу на навколишнє середовище. У багатьох випадках енергопостачання поєднує як традиційні джерела енергії (електроенергія від централізованих мереж, газ), так і відновлювані джерела (сонячні панелі, вітряки, геотермальні установки). Важливою тенденцією є перехід до так званих «розумних» енергетичних систем, які автоматично регулюють споживання енергії.

Традиційні системи енергопостачання, які включають підключення до центральної енергетичної системи та використання природного газу, залишаються важливими через свою надійність та відносно низькі початкові витрати. Проте вони мають низку недоліків, таких як залежність від централізованих джерел енергії та більший вплив на екологію.

- Електропостачання від мережі – електроенергія подається від національних чи регіональних електромереж.
- Теплопостачання від централізованих котелень – тепла енергія виробляється в центральних котельнях або ТЕЦ і подається по тепломережах до будівель.
- Централізоване гаряче водопостачання – гаряча вода подається з центрального пункту до будівель по трубопроводах.

Відновлювані джерела енергії (сонячна, вітрова та геотермальна енергія) набули широкого поширення в сучасних будівлях завдяки їхній екологічності та перспективам зниження експлуатаційних витрат. Ці системи забезпечують автономне енергопостачання, зменшуючи залежність від зовнішніх джерел енергії та знижуючи викиди CO₂.

- Автономні системи електропостачання – вироблення електроенергії безпосередньо на місці використання (сонячні панелі, вітрогенератори, дизельні та газові генератори, мікро-ТЕЦ, тощо).

- Автономні системи енергопостачання – системи опалення з місцевим виробленням тепла (автономні котли на газу, електричні котли, теплові насоси).
- Системи гарячого водопостачання на основі поновлюваних джерел – використання сонячних колекторів, теплових насосів тощо.

Саме в цьому сегменті зосереджені основні інновації галузі такі як:

- Сонячні панелі – перетворюють сонячне світло в електроенергію.
- Вітрові турбіни – використовують енергію вітру для генерації електроенергії.
- Теплові насоси – використовують енергію з навколишнього середовища (грунту, води чи повітря) для обігріву чи охолодження.
- Системи зберігання енергії – акумулятори, що зберігають енергію, яка може бути використана в разі пікових навантажень або перебоїв у мережі.

Гібридні системи поєднують традиційні та відновлювані джерела енергії, що дозволяє ефективно використовувати переваги обох підходів. Такі системи можуть автоматично переходити між джерелами енергії в залежності від їхньої доступності та вартості, що забезпечує високу надійність та економічність.

Розвиток технологій IoT та автоматизації дозволив впровадити інтелектуальні енергетичні системи, які забезпечують моніторинг, контроль та оптимізацію використання енергії. Ці системи використовують датчики, контролери та програмне забезпечення для управління енергоспоживанням у реальному часі, що знижує загальні витрати на енергію.

На прикладі [будинку](#) (Рис.6) буде продемонстровано ефективність або недоцільність використання тої чи іншої технології та розглянуто економічну складову кожного етапу. В кінці розділу будуть виконані загальні технічна та економічна оцінка проекту.

3.1. Енергетичне моделювання на основі аналізу ефективності будівельних заходів зниження енергозатрат.

Проаналізувавши дані (Таб. 7, Таб. 8, Таб. 9) робимо висновок, що найбільший ефект для енергоспоживання з дає підвищення ефективності роботи рекуператора зі зміною режимів вентиляції. Розрахуємо усі інші витрати енергії в будинку, розглянемо можливості встановлення ВДЕ та розрахуємо їх параметри. Порівняємо витрати та генерацію енергії.

Для кожної з систем будинку розрахуємо наступні показники:

- Енерговитрати Q в момент часу, Вт
- Питомі енерговитрати q на одиницю площі будівлі на рік, кВт·год/м² рік
- Річну потужність E , необхідну для компенсації витрат, МВт
- Номінальну потужність P елементів енергосистеми з урахуванням екстремальних режимів роботи, кВт

Повний розрахунок Системи вентиляції з рекуперацією

Втрати енергії через дану систему складають до 70% усіх втрат будівлі. Тому особливо важливо використовувати обладнання з максимальним коефіцієнтом корисної дії (ККД). Іншим методом зниження витрат є зміна режимів вентиляції. [Будинок](#) (Рис.6) є адміністративною будівлею, то ж графік вентиляції буде прив'язаний до робочого дня. Тривалість робочого дня 8 годин. Суботу вважатимемо неповним робочим днем. В середньому маємо 21 робочий день на місяць, додавши 4 суботи по пів дня отримаємо 23 робочих дні на місяць, 276 робочих днів або 2208 год на рік, які будемо використовувати в розрахунках.

Проаналізувавши характеристики наявного обладнання, були визначені параметри необхідного обладнання для забезпечення рекуперації. Воно повинно забезпечувати повітрообмін у розмірі 1150 м³, що становить 45% від внутрішнього об'єму будівлі, із коефіцієнтом ефективності 90%.

Енерговитрати через вентиляцію з рекуперацією складають (Таб.10)

$$Q_{Vent Rec} = 1551,91 \text{ (Вт)} = 1,55 \text{ (кВт)}$$

$$q_{Vent Rec} = 6,62 \text{ (кВт}\cdot\text{год/м}^2 \text{ рік)}$$

Кількість енергії, необхідна для компенсації втрат розраховується за формулою:

$$E = q \cdot A, [9]$$

де, E – кількість енергії, кВт, q – питомі енерговитрати, кВт·год/м²,

A – площа, м²

$$E_{Vent Rec} = 6,75 \cdot 507,6 = 3360,1 \text{ (кВт}\cdot\text{год)} = 3,36 \text{ (МВт год)}$$

Енерговитрати на роботу обладнання.

Потужність обладнання складає 0,6 кВт. Тривалість роботи обладнання – 2080 годин на рік. Резервна потужність обладнання не передбачена.

Енерговитрати на роботу системи вентиляції з рекуперацією розраховуються:

$$Q = \frac{P \cdot t}{S}, [10]$$

де, Q – енерговитрати, Вт, P – потужність, Вт, t – час, год,

S – площа, м².

Так як ми розраховуємо енерговитрати в момент часу, то $t = 1$

$$Q_{Vent El} = \frac{0,6 \cdot 1}{507,6} = 0,0012 \text{ (кВт)}$$

$$q_{Vent El} = \frac{0,0012 \cdot 8 \cdot 276}{507,6} = 700 \text{ (Вт)} = 0,0052 \text{ (кВт}\cdot\text{год/м}^2 \text{)}$$

$$E_{Vent El} = 0,0052 \cdot 507,6 = 0,0026 \text{ (МВт)}$$

$Q_{Vent Rec}$ – витрати теплової енергії через вентиляцію з рекуперацією,

$Q_{Vent El}$ – витрати електроенергії на роботу обладнання, що забезпечує вентиляцію з рекуперацією.

Також необхідно розрахувати витрати енергії при екстремальних температурах. Ці дані будуть використані при розрахунках систем опалення та кондиціонування.

Енерговитрати системи вентиляції з рекуперацією при екстремальних зимових температурах на рівні $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [28]:

$$Q_{Vent\ Rec\ Wint} = 1551,91 \text{ (Вт)} = 1,55 \text{ (кВт)}$$

Енерговитрати системи вентиляції з рекуперацією при екстремальних літніх температурах на рівні $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [28]:

$$Q_{Vent\ Rec\ Sum} = 2121,72 \text{ (Вт)} = 2,12 \text{ (кВт)}$$

Ціни на рекуператори $1150\text{ м}^3\text{ год}$ (45% від 2560 м^3 [будинку](#) (Рис.6)) починаються від 40 тис. грн. Встановлення таких рекуператорів є економічно обґрунтованим з коротким терміном окупності.

Освітлення

Навіть за умов використання сучасних світлодіодних ламп, витрати на освітлення займають значиму частину в енергетичному балансі будівель. Згідно ДБН В.2.2-9-2009 Громадські будівлі та споруди [29] норми освітлення для офісної будівлі 300 – 500 лк (люкс). Що відповідає освітленню світлодіодними лампами близько 3 Вт на 1 м^2 .

Тривалість роботи систем освітлення – 2208 годин на рік.

$$Q_{Light} = 0,003 \cdot 507,6 = 1,52 \text{ (кВт)}$$

$$q_{light} = \frac{1,52 \cdot 8 \cdot 276}{507,6} = 6,61 \text{ (кВт}\cdot\text{год/м}^2\text{ рік)}$$

$$E_{Light} = 6,61 \cdot 507,6 = 3356,16 \text{ (кВт)} = 3,36 \text{ (МВт)}$$

Додаткове обладнання

Під додатковим обладнанням мається на увазі, в першу чергу, серверне обладнання та системи безпеки. Ці системи працюють цілодобово протягом року, тобто 8760 год. Середня потужність цих систем розраховується 1 Вт год/м^2 .

$$Q_{Sec} = 0,001 \cdot 507,6 = 0,508 \text{ (кВт)}$$

$$q_{Sec} = \frac{0,508 \cdot 24 \cdot 365}{507,6} = 8,77 \text{ (кВт} \cdot \text{год/м}^2 \text{ рік)}$$

$$E_{Light} = 8,77 \cdot 507,6 = 4451,65 \text{ (кВт)} = 4,45 \text{ (МВт)}$$

Система опалення з урахуванням екстремальних режимів

Енерговитрати на опалення без витрат на вентиляцію з рекуперацією складають:

$$Q_{constr} = Q_{wall} + Q_{roof} + Q_{window} + Q_{floor} = 2043,25 \text{ Вт} = 2,04 \text{ кВт}$$

Опалювальний період розраховується протягом 7 місяців, що складає 213 діб. На відміну від житлових приміщень, система опалення в адміністративних будівлях розраховується протягом повних квітня та жовтня.

$$q_{Sec} = \frac{2,04 \cdot 24 \cdot 213}{507,6} = 20,58 \text{ (кВт} \cdot \text{год/м}^2 \text{ рік)}$$

$$E_{constr} = 20,58 \cdot 507,6 = 10446,41 \text{ (кВт)} = 10,45 \text{ (МВт)}$$

Цей показник відображає середньозважені витрати на опалення будівлі в холодний період. (Таб.10)

Номінальна потужність необхідного обладнання обчислюється за формулою:

$$P = \frac{Q \cdot S}{t}, [11]$$

де P – потужність, Вт, Q – енерговитрати в піковий період на опалення та на вентиляцію з рекуперацією, Вт, S – площа приміщення, м^2 ,

t – час найхолоднішого місяця, січень, 744 год.

Номінальна потужність системи опалення з урахуванням витрат системи вентиляції з рекуперацією тепла за екстремальними показниками температур на рівні $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [28] в січні обчислюється за формулами [4], [5] та складає (Таб. 10):

$$Q_{Ext\ Wint} = 9788,63 \text{ (Вт)} = 9,79 \text{ (кВт)}$$

$$P_{Ext\ Wint} = \frac{4274,80 \cdot 507,6}{31 \cdot 24} + \frac{5513,83 \cdot 507,6}{31 \cdot 8} = 1420,21 \text{ (Вт)} = 14,2 \text{ (кВт)}$$

Також потрібно врахувати запас на ГВП 20% та запас потужності 20 %

$$P_{Ext\ Wint} = 14,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 20,45 \text{ (кВт)}$$

округлимо заплановану потужність обладнання системи опалення в більшу сторону до 21 кВт.

Отримані показники екстремальних температур не будуть використовуватись для розрахунків енерговитрат. Будівля має достатню термічну інерцію, а період опалення достатньо тривалий для компенсації даних температурних коливань, що не відобразиться на енергетичному балансі.

Система кондиціонування

Номінальна потужність системи кондиціонування повітря за середніми показниками температур на рівні $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ вказує, що теоретично будівля може функціонувати без систем кондиціонування. Але оскільки робочі години припадають на денний час, влітку матиме місце перегрів приміщення. Одразу зазначу, що система кондиціонування буде побудована на основі теплового насосу, який буде застосовуватись для опалення.

Номінальна потужність системи кондиціонування повітря при екстремальних літніх температурах на рівні $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [28] обчислюється за формулами [4], [5] по модулю. (Знак «-» означає, що відбувається охолодження – процес, протилежний нагріву)

$$U = \frac{1}{\frac{0,01}{0,35} + \frac{0,5}{0,81} + \frac{0,1}{0,04}} = \frac{1}{3,146} = 0,32 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_{Cond} = 0,32 \cdot 336,4 \cdot (20 - 30) = 1076,48 \text{ (Вт)}$$

$$q_{Cond} = 1,55 \text{ (кВт} \cdot \text{год/м}^2\text{)}$$

Екстремальні температури зазвичай не перевищують 4 год. на день протягом 3-х літніх місяців. За формулою [9] розраховується необхідна потужність обладнання:

Номінальна потужність системи кондиціонування враховуючи систему вентиляції з рекуперацією тепла за екстремальними показниками температур на рівні -20 °С [28] в липні складає (Таб. 10):

$$Q_{Ext Sum} = 2535,07 \text{ (Вт)} = 2,54 \text{ (кВт)}$$

$$P_{Ext Sum} = \frac{(1156,61 + 1378,76) \cdot 507,6}{31 \cdot 8} = 5189,33 \text{ (Вт)} = 5,19 \text{ (кВт)}$$

Також потрібно врахувати запас потужності 20 %

$$P_{Ext Wint} = 5,19 \cdot 1,2 = 6,23 \text{ (кВт)}$$

округлимо заплановану потужність обладнання системи охолодження в більшу сторону до 7 кВт. На відміну від системи опалення, показник енерговитрат на кондиціонування буде враховуватись в запланованих енерговитратах, так як без кондиціонування буде неможливо забезпечити комфортні умови. Теплоємність повітря низька, воно швидко нагрівається і легко потрапляє всередину приміщення. І, як вже говорилось, години з піковими температурами припадають на робочі години.

Підсумки енергоспоживання

Таб.11. Показники витрат енергосистеми будівлі

	Опалення	Опал. Екстем.	Конд. Екстем.	Вент. 3 рекуп.	Дод. на вент	Освітлення	Дод. Обладн.	Сумарно
Отримані показники енергоспоживання								
Q, кВт	1,73	9,08	2,36	1,55	0,0012	1,520	0,508	7,67
q, кВт·год/ м ² ·рік	17,45	-	3,42	6,75	0,0051	6,61	8,77	43,00
E, МВт год	8,86	-	1,74	3,43	0,0026	3,36	4,45	21,83
Обладнання, P, кВт	-	21	7	-	0,6	-	-	-
Показники стандарту "Пасивний будинок"								
q, кВт·год/ м ² ·рік								15,00
E, МВт·год								7,61
Дефіцит енергії, кВт·год/ м ² ·рік								28,00
Дефіцит енергії, МВт год								14,21

Розрахунки показали, що повні енерговитрати будівлі складають 43 кВт·год/м² рік, що відповідає показникам витрат енергії 21,83 МВт год на рік. Для відповідності стандарту «Пасивний будинок» необхідно компенсувати втрати 28 кВт·год/м² рік тобто генерувати з альтернативних джерел 14,21 МВт год енергії (Таб.11).

В якості альтернативного джерела енергії розглянемо можливість встановлення СЕС, на даху будинку.

3.2. Локальна СЕС

Встановлення сонячної електростанції на даху будівлі – ефективне рішення, що дозволить компенсувати певний об'єм енергії. Дах забезпечує оптимальні умови для розміщення панелей, гарантуючи максимальне надходження сонячної енергії без затінення, що сприяє ефективному виробництву електроенергії. Сонячні панелі додатково затінять дах, зменшуючи термічне навантаження на будівлю в літній період. За допомогою ПЗ System Advisor Model [30] розрахуємо параметри можливої СЕС для [будинку](#) (Рис.6) в Подільському районі Києва. Будинок зорієнтований зворотнім фасадом на Пд-Зх. Даний скат даху 19,5 x 8,5 м, площею 165,75 м² з кутом нахилу 25°, може бути використаний для встановлення сонячних панелей. Інше обладнання СЕС буде встановлено на горищі.

PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

PVGIS 5.3 is now released click here for more info. PVGIS 5.2 remains online in case needed

Cursor: Selected: 50.494, 30.463
Elevation (m): 108
PVGIS ver. 5.3

Use terrain shadows:
 Calculated horizon
 Upload horizon file

GRID CONNECTED PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

TRACKING PV
OFF-GRID
MONTHLY DATA
DAILY DATA
HOURLY DATA
TMY

Solar radiation database* PVGIS-SARAH3
PV technology* Crystalline silicon
Installed peak PV power [kWp] 1
System loss [%] 14

Fixed mounting options
Mounting position* Free-standing
Slope [°] 35
Azimuth [°] 0
 Optimize slope
 Optimize slope and azimuth

PV electricity price
PV system cost (your currency)
Interest [%/year]
Lifetime [years]

Address: Eg. Ispra, Italy Lat/Lon: 50.45 30.54

Visualize results

Рис.9. Перевірка коректності завантаження мапи погоди

Завантажуємо файл мапи погоди для Києва, перевіряємо його та аналізуємо графік загального річного опромінення.

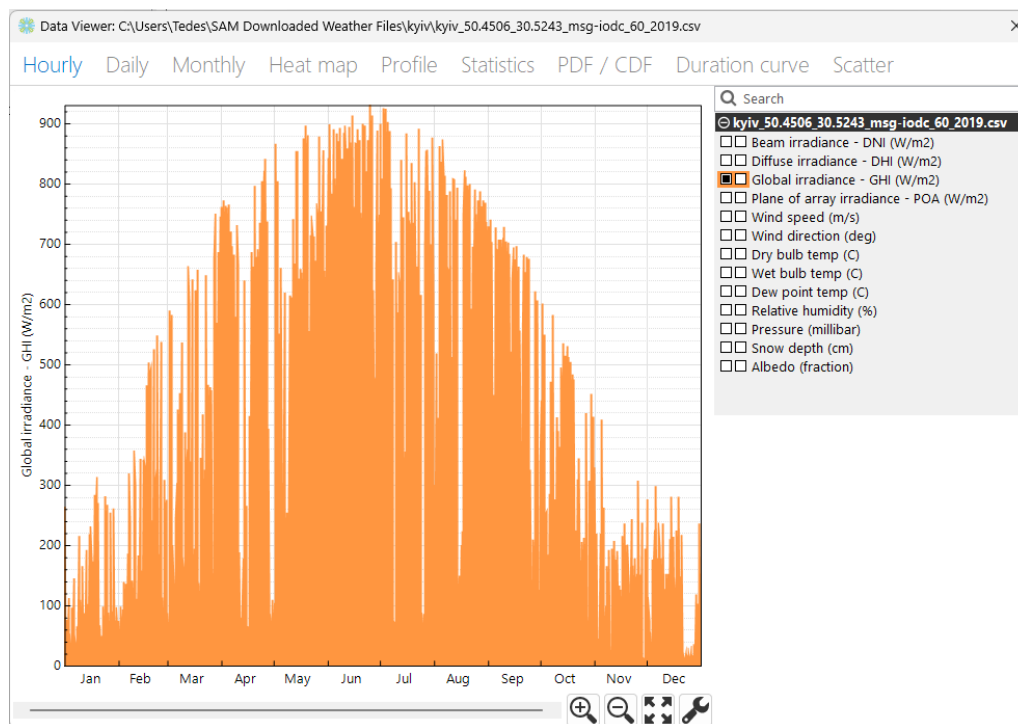


Рис.10. Глобальне опромінення - GHI (Вт/м²)

Проаналізувавши доступність на ринку підберемо сонячні панелі Trina Solar TSM-NEG19RC.20 600, потужністю 600 Вт (Рис.11, Таб.12)

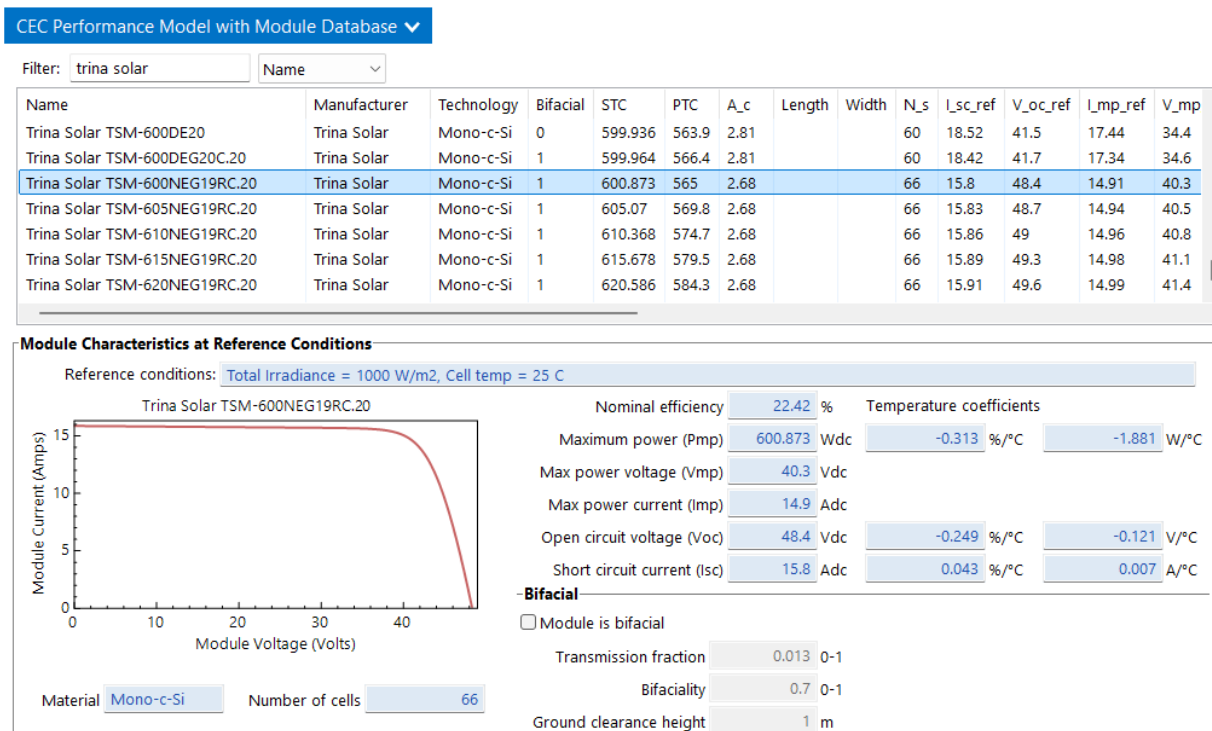


Рис.11. Параметри сонячних панелей Trina Solar TSM-NEG19RC.20 600

Таб.12. Параметри сонячних панелей Trina Solar TSM-NEG19RC.20 600

Електричні параметри

Номінальна потужність P _m , Вт	Ефективність модуля (%)	Напруга при макс. потужності V _{mp} , В	Струм при макс. потужності I _{mp} , А	Напруга холостого ходу V _{oc} , В	Струм короткого замикання I _{sc} , А
600	22,2	40,3	15,66	48,4	16,59

Технічні параметри

Сонячні клітини	К-сть клітин	Розміри модуля	Маса
монокристал	132 шт.	2382×1134×30 mm	33,7 кг

Площа поверхні даху дозволяє змонтувати 48 панелей, а нахил скату 25° надає широкий діапазон регулювань кута нахилу панелей. Номінальна потужність однієї панелі 600 Вт.

Підберемо інвертор: Fronius Symo Advanced 20.0-3-M (Рис.12, Таб.13)

$$0,6 \cdot 48 = 28,8 \text{ (кВт)}$$

Name	Paco	Pdco	Pso	Pnt	Vac	Vdcmax	Vdco	Mppt_high	Mppt_low	C0	C1	C2
Fronius International GmbH: Fronius ...	15...	15578.8	38.2588	0...	208	800	445	800	325	-8.46195e-07	2.99741e-05	0.0022759
Fronius International GmbH: Fronius ...	15...	15389.6	76.5365	1...	480	800	685	800	350	-4.63186e-07	-3.31484e-05	-0.000815
Fronius International GmbH: Fronius ...	17...	17899.4	65.6762	1...	480	800	700	800	400	-2.70457e-07	-3.37599e-05	-0.001136
Fronius International GmbH: Fronius ...	20...	20467.5	62.4723	1...	480	800	712	800	450	-2.30167e-07	-3.35705e-05	-0.001562

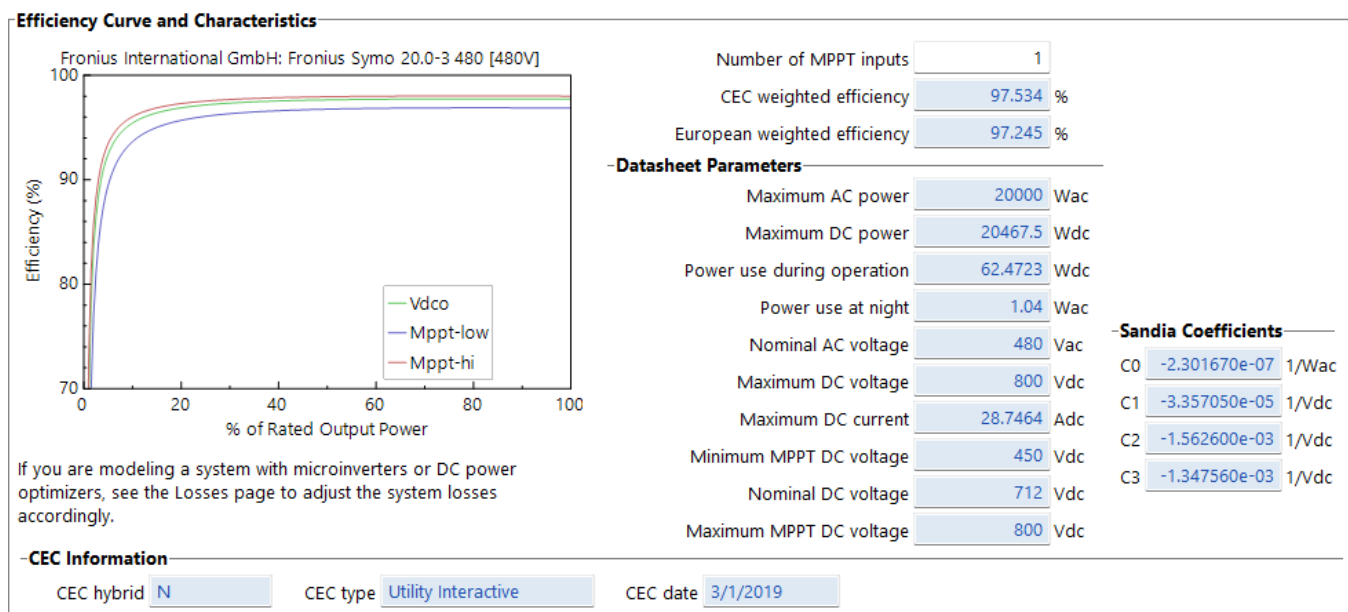


Рис.12. Параметри мережевого інвертора Fronius Symo Advanced 20.0-3-M

Таб.13. Параметри мережевого інвертора Fronius Symo Advanced 20.0-3-M

Вхідні характеристики постійної напруги (DC)

Макс. вхідна потужність, кВт	Макс. вхідний струм, А	Макс. струм короткого замикання, А	Номинальна вхідна напруга від сонячних панелей, В	Макс. вхідна напруга від сонячних панелей (Udc max), В	Пускова напруга, В	Робочий діапазон вхідної напруги (Udc min - UDC max), В	Діапазон роботи контролера при повній потужності, В
30	33 / 27	55.7 / 68	600	1000	200	200-1000	420-800

Вихідні характеристики змінної напруги (AC)

Номинальна вихідна потужність, кВт	Номинальна вихідна напруга, В	Вихідна частота, Гц	Максимальний вихідний струм, А
20	230 / 400	50 / 60	28,9

Номінальна потужність, що генерується панелями СЕС: 27 кВт. Номінальна вихідна потужність змінного струму 20 кВт. Формула збірки 15s3p (Рис.13)

AC Sizing	Sizing Summary	
Number of inverters: <input type="text" value="1"/>	Nameplate DC capacity: <input type="text" value="27.039"/> kWdc	Number of modules: <input type="text" value="45"/>
DC to AC ratio: <input type="text" value="1.35"/>	Total AC capacity: <input type="text" value="20.000"/> kWac	Number of strings: <input type="text" value="3"/>
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.	Total inverter DC capacity: <input type="text" value="20.468"/> kWdc	Total module area: <input type="text" value="120.600"/> m ²
<input type="checkbox"/> Estimate Subarray 1 configuration	System and subarray capacity and voltage ratings are at module reference conditions shown on the Module page.	

DC Sizing and Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration				
	(always enabled)	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable
Modules per string in subarray	<input type="text" value="15"/>			
Strings in parallel in subarray	<input type="text" value="3"/>			
Number of modules in subarray	<input type="text" value="45"/>			
String Voc at reference conditions (V)	<input type="text" value="726.0"/>			
String Vmp at reference conditions (V)	<input type="text" value="604.5"/>			

Рис.13. Електричні параметри СЕС

Враховуючи орієнтацію будівлі сонячні панелі будуть скеровані по азимуту на 210°. Максимально ефективний кут нахилу 30° (Рис.13).

Tracking & Orientation	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Azimuth</p> <p>N = 0</p> <p>W 270°</p> <p>S 180°</p> <p>E 90°</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Tilt</p> <p>90° Vert.</p> <p>0° Horiz.</p> </div> </div>	<input checked="" type="radio"/> Fixed <input type="radio"/> 1 Axis <input type="radio"/> 2 Axis <input type="radio"/> Azimuth Axis <input type="radio"/> Seasonal Tilt <input type="checkbox"/> Tilt=latitude
Tilt (deg)	<input type="text" value="30"/>
Azimuth (deg)	<input type="text" value="210"/>
Ground coverage ratio (GCR)	<input type="text" value="0.3"/>
Tracker rotation limit (deg)	<input type="text" value="45"/>

Рис.14. Технічні параметри СЕС

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	30,074 kWh
DC capacity factor in Year 1	12.7%
Energy yield in Year 1	1,112 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.83

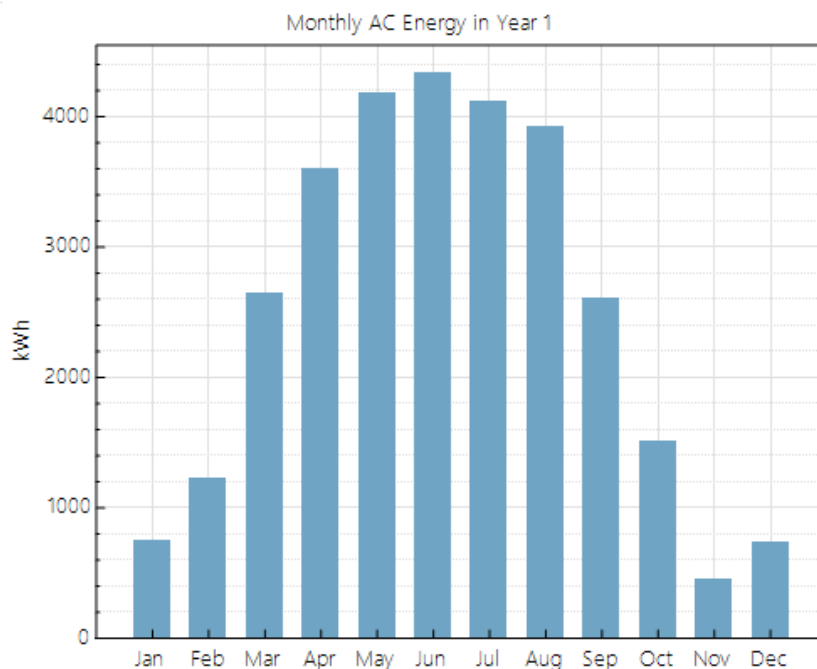


Рис.15. Продуктивність СЕС

На Рис.15 проілюстровано результати розрахунків СЕС, яка розміщена на південно-західній стороні, площею 165 м², двоскатного даху двоповерхового адміністративного будинку у м. Києві:

Номінальна потужність СЕС: 30,074 МВт год на рік

Панелі: Trina Solar TSM-NEG19RC.20 600, 45 шт., загальна площа 120,6 м²

Інвертор: Fronius Symo Advanced 20.0-3-M

Висновок: потужність СЕС достатня для компенсації енерговитрат для досягнення стандарту «Пасивний будинок» (Рис.15).

3.3. Локальна ВЕС

Локальні вітроелектростанції (ВЕС) в Україні набагато менше розповсюджені, порівняно з сонячними (СЕС). Цьому є логічне пояснення: ВЕС не може ефективно працювати без власного балансуєчого вузла, який значно підвищує вартість такої системи. Причина полягає в природі джерела енергії – вітру – в його мінливості. В той же час встановлення ВЕС може зіграти вирішальну роль в доведенні будинку до стандарту «Пасивний будинок», коли всі інші вжиті заходи виявились недостатніми.

Переваги впровадження ВЕС:

- Екологічна чистота: ВЕС не виділяють шкідливих викидів в атмосферу, сприяючи зменшенню вуглецевого сліду.
- Не створюють відходів, що потребують утилізації.
- Відновлюваність ресурсу: вітер є безкоштовним і відновлюваним джерелом енергії, що забезпечує стабільність виробництва в довгостроковій перспективі.
- Економія ресурсів: Знижує залежність від викопного палива, скорочуючи витрати на його імпорт та використання.
- Швидкий розвиток технологій: Нові розробки підвищують ефективність турбін та зменшують їхній вплив на довкілля.
- Масштабованість: Вітроелектростанції можуть бути як великими (промислові ВЕС), так і компактними для локального використання.
- Можливість використання непридатних земель: ВЕС можуть бути розташовані у важкодоступних чи малопродатних для сільського господарства регіонах, наприклад, у пустелях, на узбережжях або в морях.
- Енергонезалежність: Власна ВЕС сприяє енергонезалежності та забезпечує стабільне постачання енергії.

Недоліки впровадження ВЕС:

- Залежність від погодних умов: Виробництво електроенергії залежить від наявності вітру, що може бути нестабільним у деяких регіонах. Низька продуктивність при слабкому вітрі або у штиль.
- Високі початкові інвестиції: Вартість будівництва та встановлення вітроелектростанцій є високою.
- Шумове забруднення: Генератори турбін створюють шум, що може викликати дискомфорт для мешканців поблизу.
- Естетичний вплив: ВЕС можуть порушувати ландшафтний вигляд місцевості, що викликає спротив місцевих громад.
- Загроза для птахів і кажанів: Обертання лопатей турбін може становити небезпеку для місцевої фауни.
- Нерівномірність виробництва: Для забезпечення безперервного постачання електроенергії необхідно використовувати системи накопичення енергії (акумулятори), що підвищує вартість проєкту.

Розрахунок вітроелектростанції (ВЕС) при проєктуванні для «Пасивних будинків» складається з оцінки потреб будівлі в енергії, оцінки енергії, що може бути вироблена та технічного аналізу обладнання.

Оцінка вітрового потенціалу місцевості здійснюється на основі багаторічних даних про швидкість і напрямок вітру на висотах 10, 50, 100 м за даними метеостанцій або спеціальними вимірюваннями. На Рис.16 [\[13\]](#) зображено мапу вітроенергетичного потенціалу України. Помаранчевим та червоним кольором виділені області з постійними вітрами високої швидкості, понад 7 м/с.

Розрахунок середньої швидкості вітру та її розподілу проводиться за допомогою розподілу Вейбула. (Розподіл Вейбулла (англ. Weibull distribution) — неперервний розподіл ймовірностей. Названий на честь Валодді Вейбулла (англ. Waloddi Weibull), котрий навів детальне описання. Джерело: Вікіпедія)

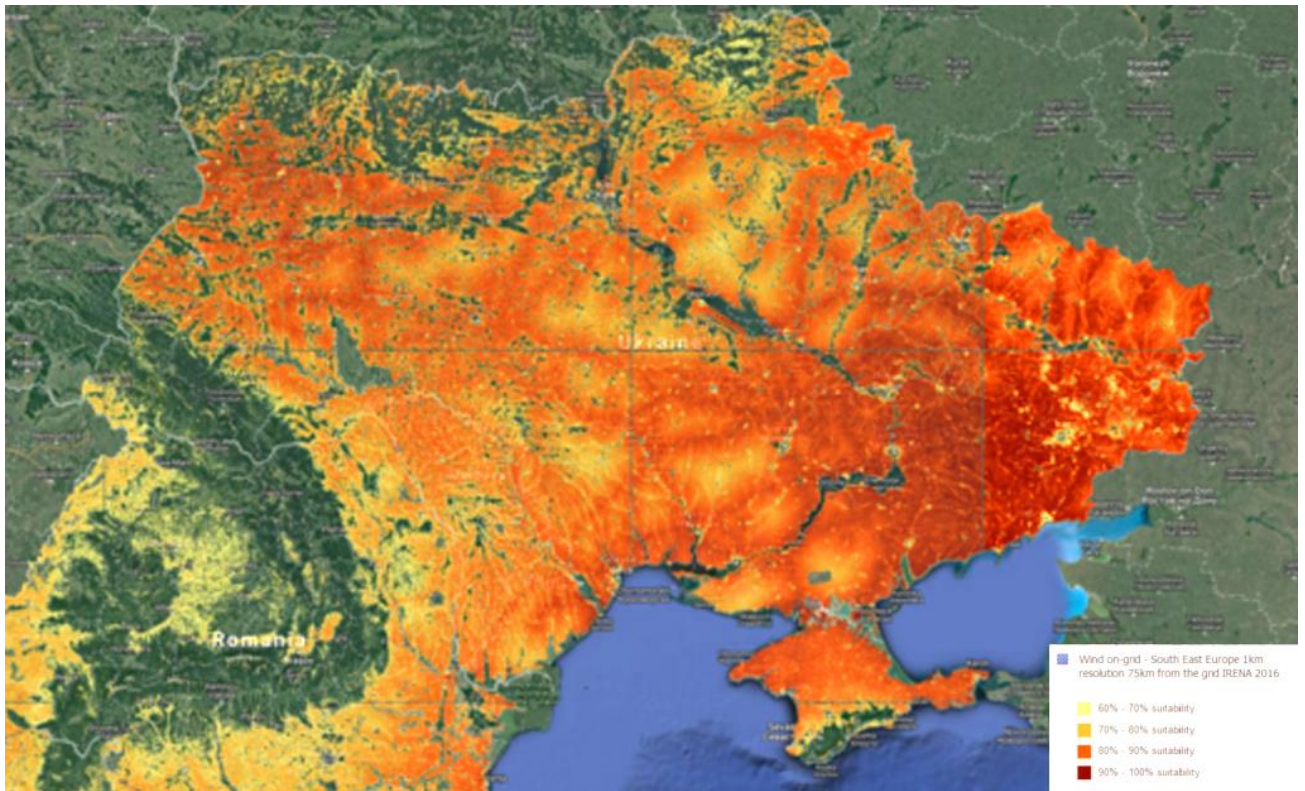


Рис.16. Вітроенергетичний потенціал [31]

Визначення енергії вітру:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3, [12]$$

де ρ - густина повітря (приблизно $1,225 \text{ кг/м}^3$), A – площа покриття лопатей ($A = \pi \cdot r^2$, де r – радіус лопатей), v — швидкість вітру (м/с)

Визначаємо кількість турбін N , необхідних для досягнення цільової потужності:

$$N = \frac{P_{\text{загальна}}}{P_{\text{турбіни}}} [13]$$

Для [будинку](#) (Рис.6) встановлення ВЕС не передбачене.

3.4. Сонячні колектори (СК)

Розрахунок необхідної потужності СК здійснюється в кілька етапів.

1. Оцінка потреб у тепловій енергії. Визначаються потреби для конкретного будинку. Зазвичай це включає:

- Гаряче водопостачання (ГВП): Витрати на нагрів води для побутових потреб. У середньому це 50–70 літрів гарячої води (40–50 °С) на людину на день.
- Опалення: Якщо колектор використовується для підтримки системи опалення, враховуються енерговитрати будівлі (актуальне лише для південних регіонів України).
- Додаткові потреби (підігрів басейну теплиці, тощо).

Розрахунок споживання енергії здійснюється за формулою:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T, [14]$$

де Q – енерговитрати (Вт), c – питома теплоємність води 4,18 (кДж/кг · °С), m – маса води (кг) ΔT – різниця температур води (°С).

2. Аналіз кліматичних умов

Оцінюється середньомісячна сонячна радіація (кВт·год/м²) для регіону, в якому знаходиться будинок.

$$G_{\text{міс}} = G_{\text{теор}} \cdot k, [15]$$

де $G_{\text{міс}}$ – середньомісячна сонячна радіація (кВт·год/м²); $G_{\text{теор}}$ – теоретична місячна сонячна енергія для конкретного періоду, яка надходить на горизонтальну поверхню (Рис.17) [\[32\]](#);

k – коефіцієнт інсоляції, який враховує реальні погодні умови (хмарність, пил тощо), варіюється від 0,3 до 0,8.

Для розрахунку середньомісячної сонячної радіації також можемо скористатись даними, отриманими при [Розрахунку СЕС](#) (Рис.10)

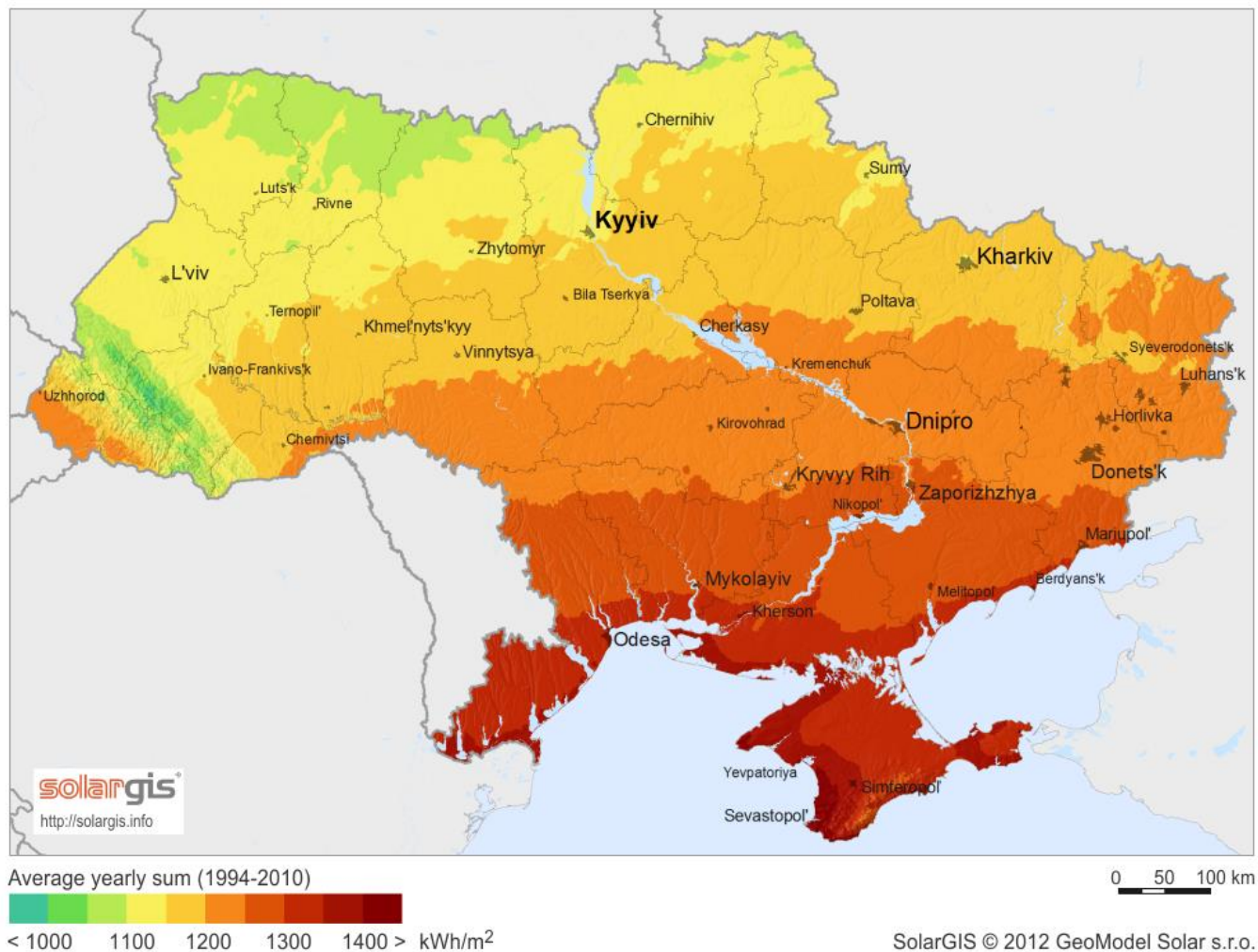


Рис.17. Карта сонячного випромінювання України (рік)

Щоб перевести глобальну іррадіацію з Вт/м² у кВт·год/м², потрібно:

$$G_{\text{міс}} = G \cdot 3600 \cdot \frac{1}{1000}, [16]$$

де G : миттєве значення (потужність) глобальної іррадіації (Рис.10)

Розрахунок потужності сонячного колектора здійснюється з урахуванням сезонних коливань за місяцем з найнижчим, взимку ефективність обладнання знижується.

В Україні застосування сонячних колекторів не набуло широкого розмаху. Хоча є виправданим і економічно доцільним в якості джерела ГВП.

Для розрахунку сонячного колектора можливо використовувати ПЗ System Advisor Model [28].

Solar Resource Library
 The Solar Resource library is a list of weather files on your computer. Choose a file from the library and verify the weather data information below.

The default library comes with only a few weather files to help you get started. Use the download tools below to build a library of locations you frequently model. Once you build your library, it is available for all of your work in SAM.

Filter: Name

Name	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation	Station ID	Source
imperial_ca_32.835205_-115.572398_psmv3_60_tmy	32.85	-115.58	-8	-20	72911	NSRDB
phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy	33.45	-111.98	-7	358	78208	NSRDB
tucson_az_32.116521_-110.933042_psmv3_60_tmy	32.13	-110.94	-7	773	67345	NSRDB
kyiv_50.4506_30.5243_nsrdb-msg-v1-0-0-tmy_60_tmy	50.45	30.54	2	132	1684355	NSRDB

SAM scans the following folders on your computer for valid weather files and adds them to your Solar Resource library. To use weather files stored on your computer, click Add/remove Weather File Folders and add folders containing valid weather files.

C:\Users\Tedes\SAM Downloaded Weather Files

Add/remove weather file folders...
 Refresh library

Metric	Value
Annual AC energy saved (year 1)	1,961 kWh
Solar fraction (year 1)	0.53
Aux with solar (year 1)	1,642.8 kWh
Aux without solar (year 1)	3,701.7 kWh
Capacity factor (year 1)	6.6%

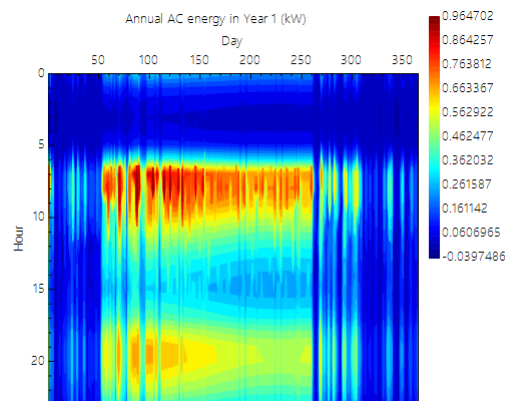
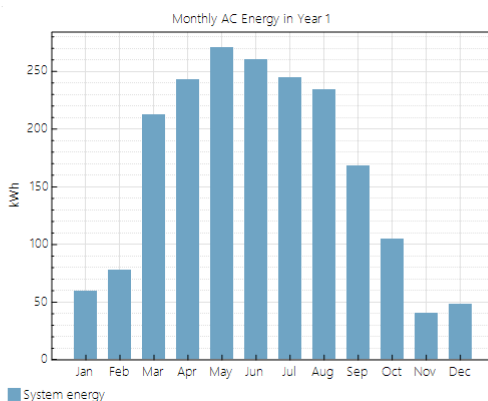


Рис.18. Приклад розрахунку сонячного колектора в System Advisor Model

3.5. Теплові насоси та Традиційні Системи опалення.

Розрахунок потужності теплового насоса базується на енергетичних потребах будинку для забезпечення опалення, гарячого водопостачання (ГВП) і, за необхідності, охолодження.

1. Визначення енерговитрат будинку.

Енергетичні втрати будівлі обчислюються за формулою (див. [Теплотехнічний розрахунок](#)):

$$Q_{\text{Буд}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}), [5]$$

де $Q_{\text{Буд}}$ – енерговитрати (Вт), A – площа конструкції (м^2), а T_{int} та T_{ext} – температури всередині та зовні будівлі ($^{\circ}\text{C}$).

2. Врахування потреб у гарячій воді

Потреба в теплі для нагріву води обчислюється за формулою ([Сонячні колектори](#)):

$$Q_{\text{ГВП}} = c \cdot m \cdot \Delta T, [14]$$

де $Q_{\text{ГВП}}$ – енерговитрати (Вт), c – питома теплоємність води $4,18$ ($\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$), m – маса води (кг) ΔT – різниця температур води ($^{\circ}\text{C}$).

Для нежитлових будівель врахування потреб у ГВП можна виконувати за методом врахування запасу потужності.

3. Врахування запасу потужності

До розрахованих енерговтрат додають запас потужності (зазвичай $10\text{--}20\%$), щоб забезпечити стабільну роботу теплового насоса у пікові моменти.

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{Буд}} \cdot (1 + k), [15]$$

де $k = 0,1 - 0,2$ ($10\% - 20\%$ відповідно)

4. Визначення коефіцієнта продуктивності (COP)

Коефіцієнт продуктивності теплового насоса (COP) визначає його ефективність і залежить від джерела тепла (повітря, вода, ґрунт).

COP для сучасних насосів: $2.5\text{--}5.0$ (залежить від температури джерела і системи опалення).

Формула для визначення електричної потужності насоса:

$$P_{\text{ел}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{\text{COP}} (\text{кВт}), [17]$$

або

$$P_{\text{ел}} = \frac{P_{\text{заг}}}{\text{COP}} \text{ (кВт)}, [18]$$

де $P_{\text{ел}}$ – споживана електрична потужність насоса (кВт);

COP – коефіцієнт продуктивності.

5. Вибір теплового насосу.

Теплотехнічний розрахунок [будинку](#) (Рис.6) показав необхідні 21 кВт потужності системи опалення. Так як будівля розташована в діючій промисловій зоні, використання теплових насосів типу Ґрунт-вода та Вода-вода неможливе.

Таб.14. Значення COP насосу Повітря-вода для температур

Температура повітря, °C	COP при температурі води в системі опалення	
	+35 °C (теплі підлоги)	+55 °C (радіатори)
+7	3,5 – 4,5	2,5 – 3,5
0	2,5 – 3,5	2,0 – 2,8
-7	2,0 – 2,8	1,5 – 2,3
-15	1,5 – 2,0	1,2 – 1,6
-20	1,2 – 1,5	1,1 – 1,2

По перше відзначимо 20% зниження ефективності теплових насосів у високотемпературних (радіаторних) системах опалення. Що робить такі системи менш ефективними до застосування в «Пасивному будинку»

Електрична потужність теплового насосу, в розглянутому [будинку](#) (Рис.6), з огляду на можливе застосування при екстремальних температурах має складати не менше 17 кВт, орієнтуючись на середньомісячні температури – 8 кВт.

Проаналізуємо вартість систем. Ціни на теплові насоси, електричною потужністю 17 кВт починаються на межі 400 тис. грн і зростають до 900 тис грн.. Ціни на 8 кВт теплові насоси знаходяться в діапазоні 190 – 290 тис. грн. (За цінами листопада 2024)

Альтернативою застосуванню потужного теплового насосу може бути паралельне використання традиційних електричних теплогенераторів. Газові теплогенератори не задовольняють за концепцією, так як газ не може бути відновлений з альтернативних джерел. Інші – твердопаливні або рідкопаливні – не задовольняють ще й з екологічних міркувань.

Щоб розрахувати необхідну потужність електричного теплогенератора потрібно провести зворотній розрахунок коефіцієнту продуктивності теплового насосу 8 кВт.

$$Q_{\text{заг}} = P_{\text{Ел}} \cdot \text{COP}, [13]$$

$$Q_{\text{заг}} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ (кВт)}, [13]$$

$$21 - 16 = 5 \text{ кВт}$$

Ціни на електричні теплогенератори потужністю 5 кВт в Україні починаються від 4 тис грн. Що економічно обґрунтовує подібне рішення.

3.6. Балансувальний модуль

Балансувальний модуль забезпечує стабільність роботи локальної електростанції, акумулює надлишкову енергію та забезпечує електропостачання під час недостатнього сонячного освітлення. Такий модуль включає акумуляторні батареї, інвертори та систему управління. В якості балансувального модуля може виступати центральна система. Даний принцип застосовано в [будинку](#) (Рис.6), який розглядається в якості прикладу. Розрахунки балансувального модуля наведені в Додаток 1, закладка Баланс.мод.

Етапи розрахунку балансувального модуля:

1. Визначення енергоспоживання об'єкта

- Скласти графік енергоспоживання об'єкта протягом доби або місяця.

У випадку діючої системи розраховується за формулою:

$$E_{\text{потр}} = P \cdot t, [19]$$

де $E_{\text{потр}}$ – загальні потреби енергії (кВт год),

P – задіяна потужність (кВт), t – час (год).

У випадку проектування – за формулою:

$$E_{\text{потр}} = q \cdot A, [9]$$

- Розрахувати середнє та пікове навантаження (кВт).
- Визначити середню добову потребу в енергії (кВт)

2. Оцінка генерації енергії локальної ЕС

Середньодобова генерація СЕС визначається за формулою:

$$E = P \cdot H [20]$$

де E – номінальна потужність СЕС (кВт), H – середня кількість годин повного сонячного освітлення (год).

3. Розмір акумуляторної батареї розраховується за формулою

$$C = \frac{E_{\text{резерв}}}{V \cdot \eta} [21]$$

де: $E_{\text{резерв}}$ – енергія, необхідна для забезпечення споживання у періоди відсутності сонця (кВт·год), V — робоча напруга системи (48 В),

η – коефіцієнт корисної дії акумулятора (0,9).

На даному етапі потрібно окреслити мету встановлення балансувального модуля на АКБ для [будинку](#) (Рис.6). Для компенсації відсутності сонячної енергії в

якийсь із днів це не доцільно, так як розраховується річний енергетичний баланс, де в якості балансувального модуля використовується центральна система. Для компенсації вимкнення світла такий модуль надмірно дорогий. Доцільнішим є встановлення дизель генератора.

4. Вибір інвертора

Інвертор вибирається за принципом

$$P_{\text{інв}} \geq P \text{ [22]}$$

5. Розрахунок потужності зарядного пристрою виконується за формулою:

Потужність зарядного пристрою повинна забезпечувати заряд акумуляторів за мінімальний час із врахуванням генерації СЕС:

$$P = \frac{C \cdot V}{t} \text{ [23]}$$

6. Вибір типу акумуляторів

Найпоширеніші варіанти:

- Літій-іонні акумулятори: висока щільність енергії, довгий термін служби, але дорожчі.
- Свинцево-кислотні акумулятори: дешевші, але важчі та мають менший термін служби.

Розглянемо розрахунок балансувального модуля на прикладі [будинку](#) (Рис.6) Визначення енергоспоживання об'єкта розглянуто в параграфі [Теплотехнічний розрахунок](#). Для розрахунків енергоспоживання об'єкта протягом місяця (Таб.15) використаємо отримані раніше дані для зимового місяця з екстремальними температурами.

Складемо місячний графік енергоспоживання (Рис.19): 31 день, 5 вихідних днів, 2 святкових дні, 5 днів (субота) зі зниженим споживанням. Нехай 1 січня буде вівторком.

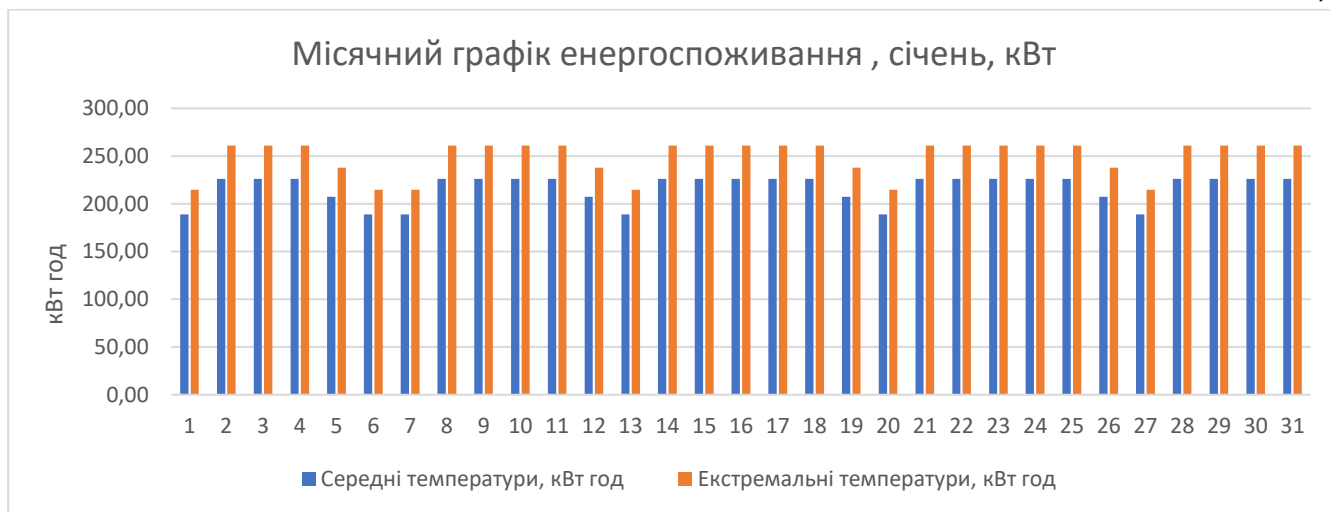


Рис.19. Місячний графік енергоспоживання, січень, кВт год

Середнє та пікове навантаження:

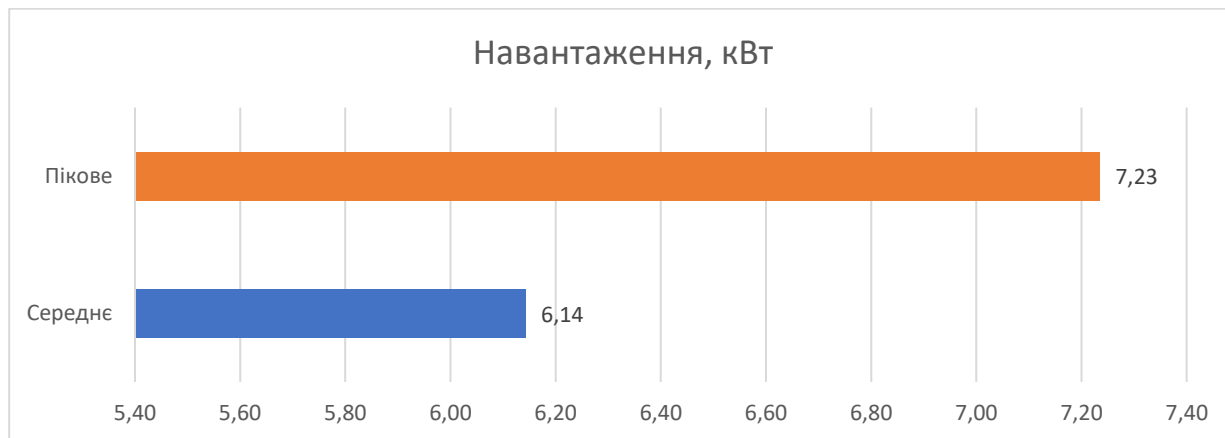


Рис.20. Середнє та пікове добові навантаження, кВт

В параграфі [Локальна СЕС](#) розраховано параметри обладнання для [будинку](#) (Рис.6). Номінальна потужність її складає 20 кВт. Середня генерація січня – 930 кВт год. або 30 кВт год на день (Таб.15). Дефіцит генерації відносно середніх показників енергоспоживання січня складає 232 кВт год. на добу. Ємність балансувального модуля обирається об'ємом на 1-3 дні автономної роботи.

Таб.15. Помісячна генерація СЕС відносно сонячного освітлення

Енергоспоживання, кВт год		
Дата	Середні температури	Екстремальні температури
Роб. день	233,84	274,62
Субота	215,22	251,42
Вихідний	196,60	228,22
Сумарне	6951,10	8141,98
Середнє	224,23	262,64
Навантаження, кВт		
Середнє		151,25
Пікове		180,25

Годин повного сонячного освітлення												
Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Пікові (год/день)	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	6-7	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2
Пікові (год/місяць)	31-62	56-84	93-124	120-150	155-186	180-210	186-217	155-186	120-150	93-124	56-84	31-62
Середні (год/місяць)	46,5	70	108,5	135	170,5	195	201,5	170,5	135	108,5	70	46,5
Генерація ЕЕ, кВт год	930	1400	2170	2700	3410	3900	4030	3410	2700	2170	1400	930

Для розрахунку балансувального модуля на АКБ можливо використовувати ПЗ System Advisor Model [28].

Chemistry

Battery type: Lithium Ion: Lithium Iron Phosphate (LFP/Graphite)

Battery Bank Sizing

Specify desired values for the nominal bank capacity and power for SAM to calculate the number of cells and strings, or specify the number of cells and strings yourself. Verify the battery size under Current and Capacity below.

Set desired bank size
 Specify cells

Desired bank power: 180.000 kW
Desired bank capacity: 750.000 kWh

DC units
 AC units

Number of cells in series: 3
Number of strings in parallel: 1

Max C-rate of charge: 0.5 per/hour
Max C-rate of discharge: 0.5 per/hour

Bank capacity and power fields are values measured before conversion and parasitic losses. If specified in AC, the DC/AC conversion efficiency will be used to scale the battery size.

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	133,165,864 kWh
DC capacity factor in Year 1	15.2%
Energy yield in Year 1	1,332 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.83
Battery roundtrip efficiency	90.16%
Battery charge energy from system	100.0%
PPA price in Year 1	7.50 €/kWh
PPA price escalation	1.00 %/year
LPPA Levelized PPA price nominal	8.65 €/kWh
LPPA Levelized PPA price real	6.91 €/kWh
LCOE Levelized cost of energy nominal	8.45 €/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	6.75 €/kWh
NPV Net present value	\$2,543,960
IRR Internal rate of return	7.84 %
Year IRR is achieved	20
IRR at end of project	10.05 %
Net capital cost	\$129,408,768
Equity	\$64,434,096
Size of debt	\$64,974,672
Debt percent	50.21%

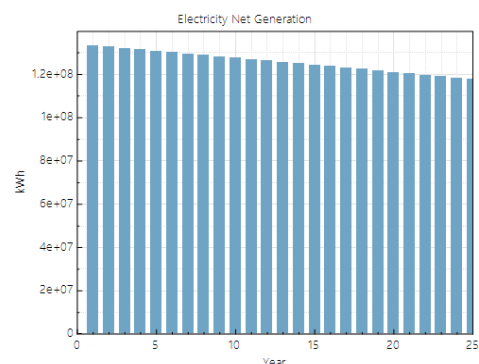
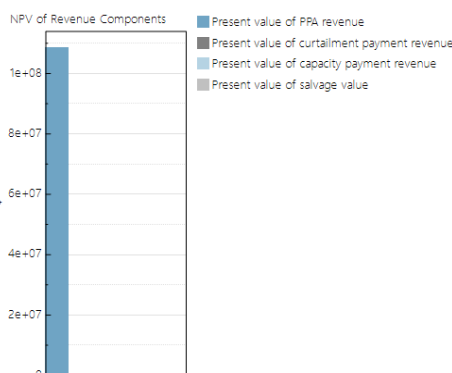


Рис.20. Приклад розрахунку балансувального модуля на АКБ в ПЗ System Advisor Model [27]

На даному етапі потрібно окреслити мету встановлення балансувального модуля на АКБ і відмітити його економічну недоцільність для [будинку](#) (Рис.6):

- Для компенсації відсутності сонячної енергії в якийсь із днів це не доцільно, так як витрати січня значно перевищують генерацію і балансуєчий модуль повинен мати значну ємність. Також є можливість використовувати в цій якості центральну систему.
- Для досягнення стандарту «Пасивний будинок» розраховується річний енергетичний баланс, коли генерація літніх місяців покриває зимові витрати.
- Для компенсації вимкнення світла такий модуль надмірно дорогий. Доцільнішим є встановлення дизель-генератора.

Таким чином, встановивши недоцільність використання балансувального модуля на АКБ, подальші розрахунки проводитись не будуть.

3.7. Система «Розумний будинок»

Автоматизація управління кліматом у будівлі за допомогою системи «Розумний будинок» об'єднує всі інженерні мережі в єдиний центр управління. Це забезпечує автоматичне регулювання освітлення, температури, вентиляції та інших систем, спрямоване на підвищення комфорту та оптимізацію енергоспоживання. Хоча на перший погляд вплив цієї системи на енергетичний баланс будівлі може здаватися незначним, інтелектуальне керування енергоресурсами дозволяє досягти суттєвої економії. Окрім цього, система значно підвищує комфорт і зручність експлуатації будівлі завдяки автоматизації процесів [\[33\]](#).

Основні функції автоматизації управління кліматом:

1. Управління температурою

- Інтелектуальне опалення та кондиціонування:
- Температура регулюється автоматично залежно від зовнішніх кліматичних умов, часу доби та присутності людей.

- Інтеграція з системою водяної теплої підлоги для рівномірного розподілу тепла.
- Зонування приміщень:
- Налаштування окремих температурних режимів для різних зон або кімнат будівлі.
- Вимкнення опалення чи охолодження в кімнатах, які не використовуються.

2. Управління вентиляцією

- Система рекуперації тепла: Повернення до 90% тепла відпрацьованого повітря для підігріву свіжого, зменшуючи витрати на опалення.
- Контроль якості повітря: Датчики CO₂ автоматично активують вентиляцію при перевищенні допустимого рівня.
- Оптимізація обміну повітря на основі рівня вологості та температури.

3. Управління освітленням

- Автоматичне освітлення: Сенсори руху включають світло лише за необхідності.
- Регулювання яскравості залежно від природного освітлення, що дозволяє заощадити електроенергію.
- Графіки роботи: Програмування включення/вимикання освітлення за розкладом.
- Інтеграція з системою «розумних штор» для управління природним світлом.

4. Енергомоніторинг

- Аналіз споживання енергії:
- Дані про використання енергії збираються і візуалізуються в режимі реального часу.
- Виявлення зон із надмірним споживанням енергії та автоматична оптимізація.

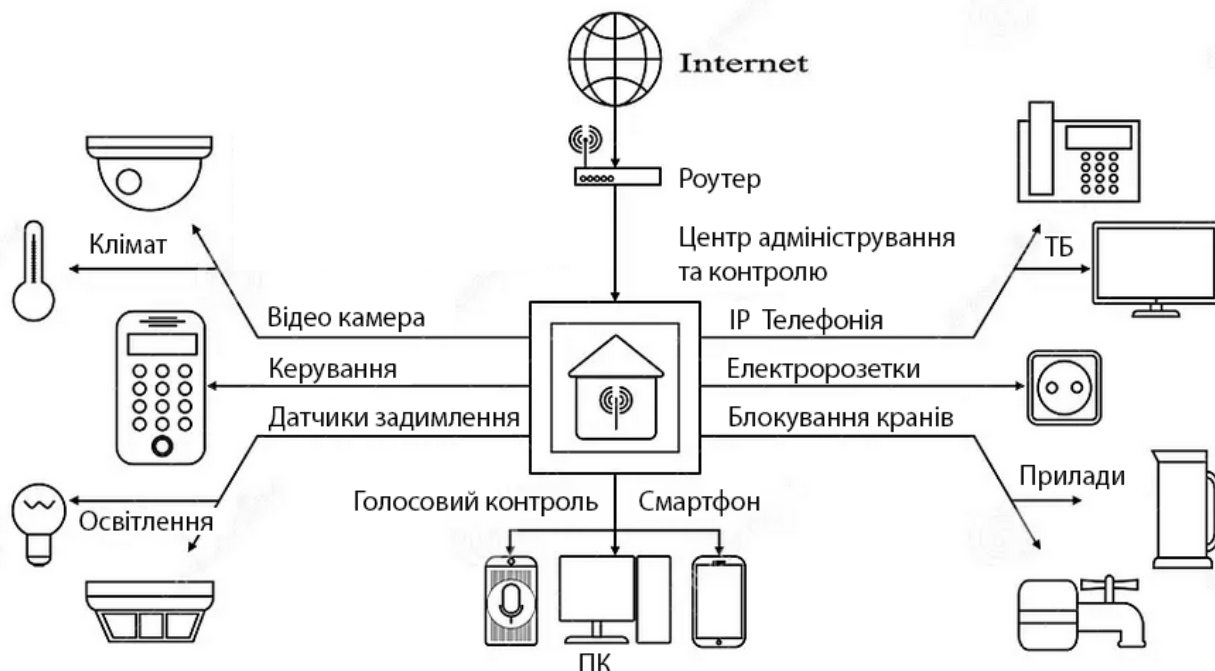


Рис.21. Схема системи «Розумний будинок» [33]

5. Інтеграція із сонячними панелями та тепловим насосом

- Автоматичний розподіл електроенергії між освітленням, системами опалення, вентиляцією та побутовими приладами.
- Пріоритетне використання енергії, отриманої від сонячних панелей.

6. Віддалений контроль. Можливість управління системою через мобільний додаток або веб-інтерфейс:

- Моніторинг систем будинку.
- Дистанційне регулювання клімату.

3.8. Оцінка економічної доцільності

Реконструкція будівлі згідно зі стандартом «Пасивний будинок» передбачає значні початкові інвестиції в енергоефективні технології, утеплення, герметизацію та відновлювані джерела енергії. Оцінка економічної доцільності здійснюється через аналіз витрат і вигод, пов'язаних із реалізацією проєкту, з урахуванням довгострокової перспективи [34].

Основні етапи оцінки

1. Визначення інвестиційних витрат

- Вартість матеріалів для термоізоляції, герметизації, встановлення енергоефективних вікон і дверей.
- Вартість систем вентиляції з рекуперацією, теплових насосів, сонячних панелей чи колекторів.
- Витрати на монтаж, проєктування, та сертифікацію об'єкта.

2. Розрахунок експлуатаційних витрат

- Поточні витрати на опалення, гаряче водопостачання, охолодження та освітлення після реконструкції.
- Порівняння із витратами до реконструкції.

3. Аналіз економії енергоресурсів

- Очікуване зменшення споживання енергії завдяки підвищеній енергоефективності.
- Врахування вартості енергоносіїв (газу, електроенергії, вугілля) на прогнозний період.

4. Розрахунок терміну окупності

- Розрахунок терміну окупності (Payback Period) через співвідношення інвестицій та щорічної економії.
- Визначення чистого теперішнього доходу (Net Present Value, NPV) та внутрішньої норми рентабельності (Internal Rate of Return, IRR).

3.9. Висновки розділу 3

У даному розділі були здійснені детальні розрахунки енергоспоживання для будинку, зокрема щодо визначення потреб у альтернативних джерелах енергії, що є необхідними для досягнення стандарту «Пасивний будинок». Ось основні результати та висновки, отримані в процесі аналізу:

- Розрахунок потреб в альтернативній енергії: Проаналізовано загальні енергетичні потреби будинку, визначено обсяг споживаної енергії та розраховано необхідні альтернативні джерела енергії для досягнення вимог стандарту «Пасивний будинок».
- Можливість встановлення локальної сонячної електростанції (СЕС): Оцінено можливість і ефективність встановлення сонячної електростанції на даху будинку. Визначено, що потужність локальної СЕС здатна забезпечити всі енергетичні потреби будинку, покриваючи витрати на його функціонування, що підтверджується на прикладі конкретного розрахунку.
- Доцільність встановлення вітрової електричної станції (ВЕС): Розглянуто питання використання ВЕС для покриття частини енергетичних потреб будинку. Проаналізовано потенціал місцевих вітрових ресурсів і доцільність інтеграції цієї технології з іншими джерелами енергії.
- Використання сонячних колекторів: Проаналізовано можливість інтеграції сонячних колекторів для нагріву води та забезпечення теплової енергії. Розраховано ефективність їх використання в умовах конкретного місця і погодних умов, що дозволяє знизити споживання традиційних енергоносіїв.
- Розрахунок параметрів теплового насосу: Проведено розрахунки параметрів теплового насосу, який забезпечує ефективне опалення та охолодження будинку. Окремо вибрано оптимальну конфігурацію системи, яка включає електричний теплогенератор, що працює в поєднанні з тепловим насосом для досягнення максимального рівня енергоефективності.

- Балансувальний модуль на акумуляторних батареях (АКБ): Описано принципи розрахунку та проектування балансувального модуля на основі акумуляторних батарей для зберігання енергії. Наведено приклад обґрунтування необхідності встановлення такого модуля для забезпечення стабільності роботи енергетичної системи будинку та ефективного використання згенерованої альтернативної енергії.
- Система «Розумний будинок»: Вивчено можливості інтеграції технологій автоматизації та управління енергоспоживанням через систему «Розумний будинок». Описано принципи роботи системи, що дозволяє оптимізувати витрати енергії, зменшити споживання та підвищити комфорт для мешканців будинку.

Ці висновки підтверджують, що поєднання різних альтернативних джерел енергії, таких як сонячна енергія, вітрові електричні станції, теплові насоси та акумуляторні системи, дозволяє забезпечити повну енергетичну автономність будинку. Інтеграція розумних технологій управління допомагає не лише знизити витрати на енергію, але й підвищити ефективність її використання, що відповідає вимогам стандарту «Пасивний будинок».

4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

В попередніх розділах було аргументовано доведено неможливість досягти стандарту пасивний будинок виключно будівельними засобами. Були розглянуті та продемонстровані на прикладі основні етапи модернізації енергосистеми та запровадження ВДЕ. Разом з будівельними засобами це дозволило модернізувати будинок (Рис.6) за стандартом «Пасивний будинок».

Перспективним напрямком розвитку технологій в цій сфері є розробка компактних, доступних і простих у встановленні **модульних систем відновлюваної енергії**, які можуть інтегруватися у вже збудовані житлові, комерційні та промислові будівлі.

Мета розділу:

- аналіз специфіки ринку та запиту на продукт;
- визначення етапів розробки та стратегій виходу на ринок;
- планування процесу комерціалізації проєкту;
- оцінка конкурентних переваг і рівня конкурентоспроможності;
- створення ринкової стратегії для стартапу;
- дослідження можливих джерел фінансування проєкту.

4.1. Ідея стартапу

Мета проєкту – створення гнучкої, компактної та доступної системи відновлюваної енергії, яка допоможе власникам будівель (житловим, комерційним, промисловим) перейти на енергоефективні джерела енергії без капітальної реконструкції цих будівель та мінімізувати витрати на інтеграцію ВДЕ у вже існуючі системи енергопостачання.

Основні елементи системи:

Сонячні панелі:

- Використання високоефективних монокристалічних чи полікристалічних модулів із ККД $\geq 20\%$.

- Панелі матимуть стандартний розмір, але модульний дизайн для легкого підключення до інших компонентів.
- Стандартизовані регульовані системи кріплення, які передбачають легку інтеграцію на дахи, фасади чи землю.
- Вбудовані інвертори для прямої конверсії в змінний струм.

Вітряки малої потужності:

- Компактні моделі з низьким рівнем шуму, потужністю 1–3 кВт, що підходять для використання в умовах житлової забудови.
- Автоматичний контроль швидкості обертання для захисту від перевантажень.
- Вбудовані інвертори для прямої конверсії в змінний струм.

Теплові насоси:

- Варіанти систем «повітря-вода» або «вода-вода», які забезпечують опалення, охолодження та гаряче водопостачання.
- Високий коефіцієнт продуктивності (COP ≥ 4).
- Інтеграція з модулями ВДЕ для зменшення залежності від зовнішніх джерел енергії.

Модулі зберігання енергії (АКБ):

- Використання літій-іонних або літій-залізо-фосфатних батарей для високої ефективності та довговічності.
- Різні ємності залежно від потреб (від 5 до 50 кВт·год).
- BMS – система керування батареями для оптимального розподілу енергії.

Стандартизовані роз'єми.

- Стандартизована система роз'ємів яка не дозволить споживачу помилитись при під'єднанні елементів.

Система компонується індивідуально відповідно до потреб конкретного об'єкту і може складатись навіть з одного елементу.

Цінність продукту

Таб.16. Таблиця цінності продукту для різних категорій споживачів

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
<p>Гнучка, компактна та доступна система ВДЕ, що включає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Сонячні панелі - Вітряки малої потужності - Теплові насоси - Модулі зберігання енергії (АКБ) 	Приватні власники будівель	<ul style="list-style-type: none"> - Скорочення експлуатаційних витрат - Енергетична автономність - Простота установки системи - Екологічність
	Сфера торгівлі та послуг, офіси	<ul style="list-style-type: none"> - Скорочення експлуатаційних витрат - Енергетична автономність - Простота установки системи - Гнучка адаптація системи під збільшення енергетичних потреб - Екологічність, як конкурентна перевага
	Промислові підприємства	<ul style="list-style-type: none"> - Скорочення експлуатаційних витрат - Енергетична автономність - Простота установки системи - Гнучка адаптація системи під виробничі потреби - Екологічність відповідно до міжнародних стандартів
	Агросектор	<ul style="list-style-type: none"> - Скорочення експлуатаційних витрат - Енергетична автономність - Простота установки системи
	Компанії з монтажу та обслуговування	<ul style="list-style-type: none"> - Продукт «під ключ» - Зменшення кількості виробничих етапів - Мінімізація людського фактору

Таким чином можемо виділити п'ять основних факторів:

- Економія: Скорочення експлуатаційних витрат на електроенергію та опалення.
- Енергетична автономність: Підвищення стабільності енергозабезпечення у разі перебоїв у мережі.
- Доступність: Простота установки системи з мінімальним втручанням у будівлю робить систему доступною навіть для непрофесіоналів.
- Гнучкість: Можливість адаптації системи під різні типи будівель.
- Екологічність: Зменшення викидів CO₂ за рахунок використання відновлюваних джерел енергії.

4.2. Аналіз конкурентів

- Tesla Powerwall – сучасна система зберігання енергії (без інтеграції сонячних панелей, вітрогенераторів та теплових насосів).
- LG Chem RESU – сучасна система зберігання енергії (з можливістю інтеграції CEC).
- E.ON Solar – сонячні системи з інтегрованими системами зберігання енергії.
- Enphase Energy – сонячні системи з інтегрованими системами зберігання енергії.

Конкурентна перевага: запропонована система є багатокomпонентною: сонячні панелі, вітрогенератори, системи зберігання енергії, теплові насоси. Такий набір інтегрованих компонентів робить її унікальною на ринку.

Можемо визначити наступні переваги стартапу:

1. Повний спектр рішень по ВДЕ
2. Гнучкість і масштабованість:
 - Можливість додавати або замінювати модулі відповідно до потреб користувача.

- Підходить для різних типів будівель: житлових, комерційних та промислових.

3. Простота встановлення:

- Легка інтеграція без необхідності капітальної реконструкції.
- Стандартизовані роз'єми мінімізують помилки під час підключення.

Таб.17. Визначення сильних та слабких характеристик ідеї проекту

Існуючі рішення на ринку		
	Переваги	Недоліки
Tesla Powerwall	<ul style="list-style-type: none"> - Відомість бренду - Репутація 	<ul style="list-style-type: none"> - Вузька спеціалізація
LG Chem RESU	<ul style="list-style-type: none"> - Відомість бренду - Репутація 	<ul style="list-style-type: none"> - Вузька спеціалізація
E.ON Solar	<ul style="list-style-type: none"> - Репутація - Готове рішення CEC 	<ul style="list-style-type: none"> - Відсутність рішень по вітрогенераторам - Відсутність рішень по тепловим насосам
Enphase Energy	<ul style="list-style-type: none"> - Репутація - Готове рішення CEC 	<ul style="list-style-type: none"> - Відсутність рішень по вітрогенераторам - Відсутність рішень по тепловим насосам
Новий продукт		
Новий продукт	<ul style="list-style-type: none"> - Повний спектр рішень по ВДЕ - Гнучкість 	<ul style="list-style-type: none"> - Високі початкові інвестиції

Модульна система ВДЕ має значний потенціал для забезпечення автономного енергопостачання, особливо для об'єктів, які хочуть мінімізувати витрати на енергію. Однак для успішної реалізації необхідно враховувати вартість, технічне обслуговування та місцеві умови.

4.3. Технологічний аудит ідеї проєкту

Технології:

- Сонячні панелі з ККД $\geq 20\%$.
- Вітряки з потужністю 1–3 кВт.
- Інвертори з оптимізацією енергозбереження.
- Енергоефективні теплові насоси із COP ≥ 4 .

Мови програмування:

- Python/Java для софту моніторингу;
- C++ для управління інверторами.

Обладнання:

- Сонячні панелі, вітрогенератори, інвертори, АКБ, сенсори моніторингу.

Модульна структура:

- Конструкція усіх систем передбачає легке додавати нових компонентів.

Таб.18. Технології здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Гнучка, компактна та доступна система ВДЕ, що включає: <ul style="list-style-type: none"> - Сонячні панелі - Вітряки малої потужності - Теплові насоси - Модулі зберігання енергії (АКБ) 	Сонячні панелі з ККД $\geq 20\%$. Вітряки з потужністю 1-3 кВт. Інвертори з оптимізацією енергозбереження. Енергоефективні теплові насоси із COP ≥ 4 .	наявна	доступна
	Мова програмування: Python/Java для софту моніторингу; C++ для управління інверторами.	наявна	доступна
	Модульна структура	наявна	доступна

4.4. Аналіз ринкових можливостей і загроз, які можуть вплинути на впровадження проєкту

Аналіз ринкових можливостей і загроз, які можуть вплинути на впровадження проєкту, дає змогу розробити стратегію розвитку з урахуванням поточного стану ринку, потреб цільової аудиторії та конкурентних пропозицій. Для успішного запуску модульних систем ВДЕ необхідно враховувати потенціал і ризики виходу на ринок, спланувати етапи розвитку та адаптувати стратегію відповідно до діяльності конкурентів [35].

Загрози:

- Нестабільна економічна ситуація
- Висока конкуренція на глобальному ринку.
- Високі початкові витрати на дослідження та розробку.

Таб.19. Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Нестабільна економічна ситуація	Недостатність фінансування для реалізації продукту	Пошук міжнародних інвесторів
Висока конкуренція на глобальному ринку	Потужні міжнародні компанії вже мають подібні рішення	Фокус на модульність та простоту встановлення Початковий вихід на нішеві ринки
Високі початкові витрати на дослідження та розробку	Високий фінансовий тиск на компанію, особливо на ранніх етапах	Пошук грантового фінансування та державних субсидій Залучення венчурних інвесторів Поступове впровадження продукту на ринок через мінімально життєздатний продукт (MVP)

Можливості:

- Зростання попиту на енергетичну автономність.
- Державні гранти та субсидії на екологічні проекти.
- Розвиток ринку відновлюваної енергії в Україні та світі.

Таб.20. Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Зростання попиту на енергетичну автономність	Споживачі та бізнеси все більше шукають способи зменшення залежності від централізованих енергетичних постачальників через коливання цін та перебоїв в постачанні.	Цільовий маркетинг Акцент на енергоавтономності
Державні гранти та субсидії на екологічні проекти	Фінансова підтримка для інвесторів, що займаються екологічними інноваціями, включаючи відновлювані джерела енергії.	Залучення грантів та субсидій для підтримки розробки та виробництва Державне фінансування для зниження витрат на стартовому етапі
Розвиток ринку відновлюваної енергії в Україні та світі	Зростаючий попит на екологічні енергетичні рішення, через зобов'язання скорочення викидів CO ₂ і запровадження нових екологічних стандартів.	Вихід на міжнародний ринок Позиціонування компанії як інноватора в галузі екологічних технологій

SWOT-аналіз

SWOT-аналіз показує, що стартап має значний потенціал завдяки своїй гнучкості, енергоефективності та екологічній спрямованості. Однак компанія повинна бути готова до високої конкуренції та забезпечити ефективну стратегію виходу на ринок, зокрема через використання державної підтримки та зниження початкових витрат для споживачів.

Таб.21. SWOT-аналіз

Сила (Strengths)	Слабкість (Weaknesses)
1. Модульність і гнучкість	1. Висока початкова вартість впровадження.
2. Висока енергоефективність компонентів (сонячні панелі $\geq 20\%$, COP теплових насосів ≥ 4).	2. Потреба у технічному обслуговуванні обладнання.
3. Легка інтеграція і захист від помилок завдяки стандартизованим роз'ємам.	3. Залежність від погодних умов для сонячних панелей та вітрогенераторів.
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
1. Зростання попиту на енергетичну автономність.	1. Висока конкуренція на ринку відновлюваної енергії.
2. Державні гранти та субсидії на екологічні проекти.	2. Регуляторні перешкоди в окремих країнах для інтеграції ВДЕ.
3. Розвиток ринку відновлюваної енергії в Україні та світі.	3. Високі початкові витрати на дослідження та розробку.

4.5. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Таб.22. Ринкова стратегія проєкту [35, 36]

Цільова аудиторія			
Власники приватних будинків	Малий бізнес	Фермерські господарства	Компанії з монтажу та обслуговування
Позиціонування:			
Перша модульна система відновлюваної енергії для малого бізнесу та приватних домоволодінь.		Інтегрована енергоефективна система для комплексної модернізації енергоспоживання будівель.	
<p>Модульна система відновлюваної енергії, яка поєднує сонячні панелі, вітряки та теплові насоси, спеціально розроблена для зниження енергетичних витрат без потреби в масштабних капітальних витратах на реконструкцію будівель. Завдяки модульному дизайну система може бути швидко та гнучко налаштована для різних типів будівель, що дозволяє малим підприємствам і приватним будинкам легко перейти на енергоефективні джерела енергії.</p>		<p>Ця система призначена для комерційних та промислових підприємств, які потребують ефективної та стійкої енергетичної системи. Вона забезпечує максимальну гнучкість і можливість поєднання різних джерел відновлюваної енергії, що дозволяє значно зменшити витрати на енергію та підвищити енергоефективність при одночасному зниженні викидів CO₂, що відповідає сучасним вимогам</p>	
Унікальна торговельна пропозиція			
<p>Модульність і гнучкість: система складається з окремих компонентів, які можна налаштовувати і масштабувати відповідно до потреб клієнта. Легка інтеграція в існуючі системи енергопостачання без потреби в капітальній реконструкції.</p>		<p>Інноваційність і доступність: використання вискоєфективних компонентів (сонячні панелі з ККД $\geq 20\%$, теплові насоси з COP ≥ 4) дозволяє значно знизити енергоспоживання при низьких витратах на встановлення та обслуговування.</p>	

Маркетингові цілі	
Збільшити впізнаваність бренду на ринку відновлюваної енергії:	Залучити перших 100 клієнтів протягом першого року:
Підвищення обізнаності про продукт серед цільової аудиторії (власники будівель, малий бізнес, державні установи) через рекламні кампанії, участь у виставках, публікації у спеціалізованих медіа та онлайн-просування.	Запуск спеціальних акцій для ранніх покупців, знижки на перше встановлення, персоналізовані пропозиції для споживачів, які хочуть впровадити модульні системи ВДЕ.
Досягти 20% приросту впізнаваності бренду протягом першого року після запуску стартапу.	Співпраця з будівельними компаніями для інтеграції продукту у їхні проекти та пропозиція безкоштовних консультацій або аудитів для потенційних клієнтів.

Маркетингові стратегії		
Просування через екологічні ініціативи:	Залучення підтримки через державні програми:	Партнерства з будівельними компаніями:
Активне позиціонування продукту як екологічно чистого рішення для зменшення викидів і заохочення сталого розвитку.	Використання субсидій та грантів на підтримку екологічних технологій для зниження витрат на впровадження.	Створення стратегічних партнерств з компаніями, які займаються будівництвом та реконструкцією будівель, для інтеграції модульних систем у нові проекти.

Канали продажів				
Прямі продажі (B2B, B2C):	Партнерства з будівельними компаніями:	Дистриб'ютори та дилери:	Участь у виставках та конференціях:	Інтернет-маркетинг та соціальні мережі:
<p>- Консультації та персоналізовані пропозиції для малих і середніх бізнесів, а також для приватних домоволодінь. Це дозволяє визначити конкретні потреби клієнта та запропонувати оптимальні рішення.</p> <p>- Продаж через онлайн-платформи: Вебсайт стартапу, який містить детальну інформацію про продукт, калькулятори енергоефективності, можливість замовлення консультацій і покупки системи онлайн.</p> <p>- Співпраця з державними установами та енергетичними програмами для залучення субсидій і державної підтримки екологічних ініціатив, що також може сприяти продажам.</p>	<p>Співпраця з компаніями, які займаються проектуванням та реконструкцією будівель, для включення модульних систем ВДЕ в їхні пропозиції. Це дозволить інтегрувати технології у вже існуючі будівельні проекти.</p>	<p>- Пошук дистриб'юторів у різних регіонах для розширення охоплення ринку.</p> <p>- Партнерство з дилерами, які можуть продавати та встановлювати системи на місцях.</p>	<p>Виставки відновлюваних джерел енергії, де можна продемонструвати продукцію потенційним клієнтам та партнерам.</p>	<p>Використання платних і органічних каналів в інтернеті, таких як Google Ads, таргетована реклама у Facebook, Instagram та LinkedIn для просування та залучення клієнтів.</p>

Рекламні стратегії

Цифровий маркетинг:	Промоушн акції та пропозиції:	Участь у виставках та заходах:
<p>- Таргетована реклама: Використання платних рекламних кампаній у соціальних мережах (Facebook, Instagram, LinkedIn), а також в Google Ads. Таргетування на користувачів, які проявляють інтерес до енергозбереження та екології.</p> <p>- SEO та контент-маркетинг: Просування через блог на офіційному сайті з порадами та інформацією про відновлювальні джерела енергії, інструкціями з використання систем та вигодами для різних типів споживачів.</p>	<p>- Знижки на перше встановлення або «пакетні пропозиції» для тих, хто купує повний набір системи ВДЕ (сонячні панелі, вітряк, тепловий насос). Це стимулює нових клієнтів до покупки.</p> <p>- Подарунки або бонуси: Безкоштовний сервіс чи знижки на обслуговування для перших 100 клієнтів.</p>	<p>- Екологічні виставки та конференції: Участь у заходах, присвячених відновлювальній енергії та сталому розвитку. Це дозволяє продемонструвати продукт і налагодити контакти з потенційними клієнтами та партнерами.</p> <p>- Міжнародні форуми та виставки: Активна участь у заходах, орієнтованих на інновації та технології відновлюваної енергії.</p>

PR стратегії

Прес-релізи та публікації в ЗМІ:	Співпраця з екологічними організаціями:	Лідери думок:
<p>- Розповсюдження прес-релізів у провідних українських та міжнародних медіа про запуск продукту, екологічні та економічні переваги використання відновлюваних джерел енергії. Фокус на інноваційності продукту та його користі для власників будівель.</p> <p>- Публікації на популярних екологічних та технологічних платформах з оглядом продукту, інтерв'ю з засновниками та експертами в галузі. вигодами для різних типів споживачів.</p>	<p>Налагодження зв'язків з екологічними неурядовими організаціями для організації спільних заходів, освітніх кампаній та підвищення обізнаності про відновлювані джерела енергії.</p>	<p>Співпраця з популярними блогерами та інфлюенсерами, які займаються темами екології та енергозбереження. Вони можуть проводити огляди та розповідати про використання систем ВДЕ в реальному житті.</p>

Ключові меседжі:

Системи відновлюваної енергії, які змінюють ваше життя: екологічно, економічно, ефективно	Незалежність від централізованих джерел енергії: ефективне використання сонця, вітру та води	Модульна система для будь-якої будівлі: від малого будинку до великого підприємства
---	--	---

План просування продукту

Створення бренду та іміджу	Цифровий маркетинг	Соціальні мережі та інфлюенсери
<ul style="list-style-type: none"> - Розробка брендової ідентичності: Логотип, слоган, кольорова палітра та елементи дизайну, які будуть використовуватися на вебсайті, в рекламі та на упаковці продукту. - Формулювання ключових повідомлень: Позиціонування системи як гнучкого, доступного та екологічного рішення для зниження витрат на енергію та покращення енергоефективності будівель. 	<ul style="list-style-type: none"> - SEO (Пошукова оптимізація): Підвищення видимості в Google через оптимізацію сайту за запитами на тему відновлюваної енергії, енергоефективності та зниження витрат на енергоспоживання. - Контент-маркетинг: Ведення блогу на сайті, публікація статей і відео про переваги відновлювальної енергії, інструкції з використання продукту, а також приклади успішного впровадження. - Платна реклама (Google Ads, соцмережі): Таргетовані рекламні кампанії на платформах, таких як Facebook, Instagram, LinkedIn, для залучення різних груп клієнтів. 	<ul style="list-style-type: none"> - Активне використання соціальних мереж: Створення та ведення акаунтів у Facebook, Instagram, LinkedIn, YouTube для взаємодії з потенційними клієнтами та партнерами. - Співпраця з інфлюенсерами та блогерами: Залучення популярних блогерів, які пишуть про енергоефективність, екологічність, сталий розвиток. Вони можуть демонструвати систему в реальних умовах і рекомендувати її своїй аудиторії.

(Продовження на стр. 99)

План просування продукту (продовження)

Партнерство та співпраця	Виставки та конференції	Інформаційна підтримка
<p>- Партнерство з будівельними компаніями: Співпраця з компаніями, які займаються проектуванням і будівництвом, для інтеграції модульних систем у нові проекти чи реконструкцію існуючих будівель.</p> <p>- Інтеграція з державними програмами: Відкриття можливостей для залучення грантів і субсидій для екологічних ініціатив, що дозволить клієнтам отримати знижки на встановлення систем.</p>	<p>- Участь у спеціалізованих виставках: Активна участь у виставках та конференціях на теми відновлюваних джерел енергії та енергоефективності. Це дасть змогу презентувати продукт потенційним партнерам і клієнтам.</p> <p>- Презентації та демонстрації: Огляд продукту та демонстрація його переваг через живі презентації, що дасть змогу наочно показати, як модульна система працює в реальних умовах.</p>	<p>- Інтерактивний вебсайт: Розробка зручного вебсайту, на якому потенційні клієнти зможуть замовити консультацію, підрахувати економію енергії за допомогою калькуляторів, а також отримати більше інформації про технології та їх переваги.</p> <p>- Онлайн-курс чи вебінар: Проведення онлайн-семінарів і навчальних курсів для пояснення переваг відновлювальних джерел енергії, технологічних можливостей модульних систем і процесу їх впровадження.</p>

Післяпродажна підтримка

- Гарантійне обслуговування: Запропонувати гарантію на всі компоненти системи, що збільшить довіру до продукту та забезпечить зручність для клієнтів.
- Технічна підтримка: Надання клієнтам можливості звернутися до технічної підтримки через чат на сайті, телефон чи електронну пошту для вирішення будь-яких питань після покупки.

Оцінка ефективності маркетингової програми

Аналіз досягнутих цілей	Аналіз ROI (Return on Investment)	Показники залучення та утримання клієнтів	Аналіз ефективності каналів просування	Відгуки та зворотний зв'язок від клієнтів	Ключові показники успіху (KPI)

Бюджет маркетингової кампанії

Розподіл бюджету на розробку контенту, таргетовану рекламу, вебінари, SEO, рекламу на спеціалізованих платформах та PR.

4.6. Висновки розділу 4.

Стартап «Модульні системи відновлюваної енергії» є перспективним проектом, який відповідає сучасним викликам у сфері енергозбереження та сталого розвитку. Головною метою стартапу є створення доступного, гнучкого та компактного продукту, що дозволяє споживачам інтегрувати відновлювані джерела енергії (сонячні панелі, вітряки, теплові насоси) без необхідності капітальної реконструкції будівель.

Перевагами стартапу є:

- Модульність - система може бути адаптована до потреб різних типів споживачів (житлових, комерційних, промислових).
- Екологічність - сприяє зниженню викидів CO₂ та підтримує концепцію "зелених" технологій.
- Гнучкість інтеграції - можливість використання з існуючими системами енергопостачання.

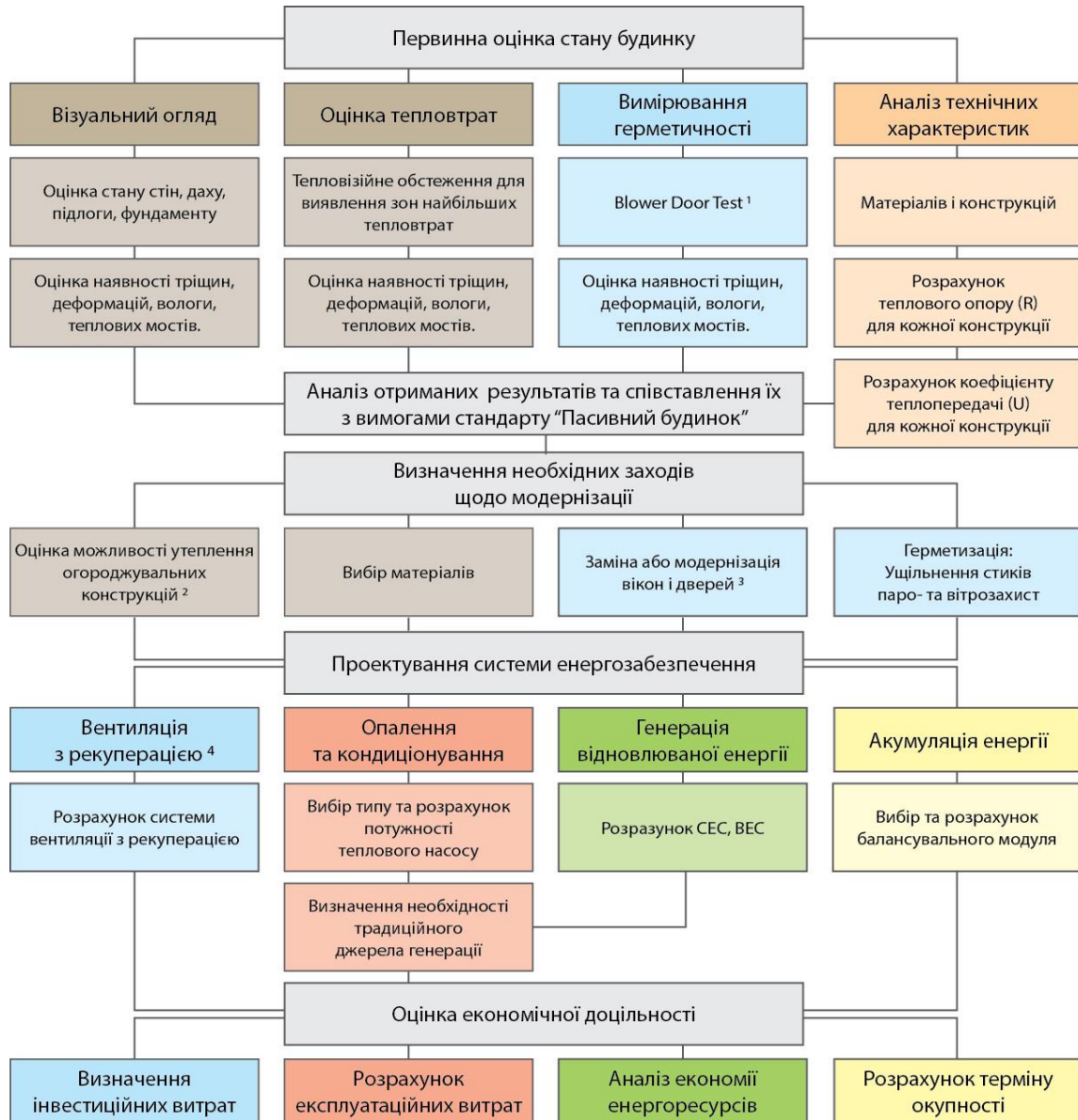
Проведений SWOT-аналіз показує сильні сторони проекту, такі як інноваційність та високий ринковий попит, а також визначає потенційні загрози, як от конкуренція та регуляторні обмеження. Це дає змогу проекту враховувати ризики та адаптувати стратегію для їх мінімізації.

Стартап орієнтований на зростання ринку відновлюваної енергії, отримання державних грантів та задоволення запитів клієнтів, що прагнуть до енергетичної автономії. Він має великий потенціал для залучення інвестицій завдяки інноваційному підходу та можливості масштабування.

Таким чином, "Модульна система відновлюваної енергії" є не лише комерційно вигідним, але й соціально значущим проектом, який здатен зробити внесок у розвиток енергоефективності, зменшення енергетичної залежності та поліпшення екологічної ситуації.

ВИСНОВКИ

Метою дослідження була розробка та обґрунтування інженерних рішень для реконструкції систем енергопостачання будівель з метою забезпечення відповідності стандарту енергоефективності «Пасивний будинок». Проведені дослідження дали змогу сформуванати чіткий алгоритм дій, для оцінки будівель та розробки плану дій щодо реконструкції.



1. Норма повітрообміну при тиску 50 Па для "Пасивного будинку": $\leq 0,6$ об'єму будинку/год.
2. Стіни: $U \leq 0,15$ Вт/(м²·°C); Дах: $U \leq 0,10$ Вт/(м²·°C); Підлога: $U \leq 0,15$ Вт/(м²·°C)
3. $U \leq 0,8$ Вт/(м²·°C)
4. Ефективність рекуперації тепла: $> 75\%$

Рис.22. Алгоритм оцінки будинку для приведення до стандарту «Пасивний будинок»

Коротко зупинимось на кожному з пунктів алгоритму.

Первинна оцінка стану будинку.

(Даний пункт прямо не пов'язаний з темою дисертації тому не був описаний)

1. Візуальний огляд.

- Провести візуальний огляд для оцінки стану стін, даху, підлоги, фундаменту.
- Провести візуальний огляд для оцінки наявності тріщин, деформацій, вологи, термічних мостів.

2. Оцінка енерговтрат

- Виконати тепловізійне обстеження для виявлення зон найбільших енерговтрат (стіни, вікна, двері, перекриття).

3. Вимірювання герметичності

- Провести Blower Door Test:
- Визначити кратність повітрообміну при тиску 50 Па. Норма для пасивного будинку: $\leq 0,6$ об'єму будинку/год.

4. Аналіз технічних характеристик

- Перевірити існуючі характеристики матеріалів і конструкцій:
- Розрахувати термічний опір (R) для кожної конструкції.
- Розрахувати коефіцієнт теплопередачі (U) та порівняти з вимогами.

Аналіз отриманих результатів та порівняння їх з вимогами стандарту «Пасивний будинок»

Аналіз отриманих результатів та співставлення їх з вимогами стандарту «Пасивний будинок» – містить в собі теплотехнічний розрахунок кількох сценаріїв утеплення будівлі та їх економічне обґрунтування (див. [Теплотехнічний розрахунок](#)).

Визначення необхідних заходів щодо модернізації

1. Оцінити можливість утеплення стін, даху, підлоги:

- Рекомендована товщина утеплювача залежить від термічного опору (R), який потрібно досягти для кожного елемента:
Стіни: $U \leq 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; дах: $U \leq 0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
підлога: $U \leq 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

2. Вибір матеріалів: Мінеральна вата, пінополістирол, інші.

3. Заміна або модернізація вікон і дверей

- Встановити енергоефективні вікна: $U \leq 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Коефіцієнт пропускання сонячного світла $g: \geq 50\%$. Двері: $U \leq 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

4. Герметизація

- Ущільнити всі стики, з'єднання та зони введення комунікацій.
- Встановити паро- та вітрозахист.

На цьому модернізація будівельними методами завершується. В Розділі 2 на прикладі [будинку](#) (Рис.6) було проведено теплотехнічний розрахунок за двома сценаріями утеплення та зроблено висновок, що будівельних технологій недостатньо для досягнення стандарту «Пасивний будинок». І обґрунтовано необхідність модернізації його енергетичної системи.

Проектування системи енергозабезпечення

1. Вентиляція з рекуперацією

- Продуктивність: для житлових приміщень $\geq 30 \text{ м}^3/\text{год}$ на людину; для адміністративних 30-60% об'єму на годину.
- Ефективність рекуперації тепла: $\geq 75\%$. В Розділі 2 було доведено необхідність використання системи вентиляції з максимально ефективною рекуперацією тепла. В Розділі 3 проведено розрахунки системи ефективністю 90% та продуктивністю 45%.

2. Опалення та кондиціонування

- Використання теплового насосу повітря-вода, ґрунт-вода або вода-вода. Завдяки принципу дії, теплові насоси мають вищий за традиційні генератори тепла коефіцієнт корисної дії (ККД). Для них введений коефіцієнт продуктивності (COP) – показник ефективності теплового насосу, що відображає співвідношення між кількістю отриманого тепла і затраченої на це електроенергії. Він значною мірою залежить від різниці температур (Таб.14). В Розділі 3 на прикладі [будинку](#) (Рис.6) була обґрунтована економічна доцільність застосування теплового насосу в поєднанні з традиційним генератором тепла та використання одного теплового насосу для опалення і для кондиціонування повітря.

3. Генерація відновлюваної енергії

- В Розділі 3 на прикладі [будинку](#) (Рис.6) було проведено розрахунок СЕС та доведена можливість генерування достатнього для досягнення стандарту «Пасивний будинок» об'єму електроенергії.
- В Розділі 3 були описані нюанси застосування ВЕС та обґрунтована перспективність даної технології в Україні. Також була обґрунтована недоцільність застосування ВЕС для [будинку](#) (Рис.6).
- В Розділі 3 було акцентовано увагу на перспективності використання сонячних колекторів для забезпечення ГВП в теплий період року.

4. Акумуляція енергії

- Балансувальний модуль на АКБ є важливим елементом енергонезалежної системи. Проте економічна доцільність його використання суто індивідуальна і залежить від об'єму споживання електроенергії. В Розділі 3 наведено аргументи щодо недоцільності використання АКБ для [будинку](#) (Рис.6) де балансувальним модулем передбачена центральна система.

5. Системи енергомоніторингу «Розумний будинок» не є обов'язковим елементом енергосистеми але надають більш широкі можливості для автоматизації та керування процесами.

Оцінка економічної доцільності

1. Розрахунок інвестицій: термоізоляція, заміна вікон, дверей, системи енергопостачання. На даному етапі складається Кошторис – документ, що відображає розрахунок вартості матеріалів, обладнання робіт та послуг, необхідних для реалізації проєкту.
2. Розрахунок експлуатаційних витрат. Враховуються витрати на утримання, сервісне обслуговування, тощо встановленого обладнання.
3. Аналіз економії енергоресурсів. Порівнюються витрати на експлуатацію будівлі «до» та «після» реконструкції.
4. Розрахунок терміну окупності. Це напевно найголовніше питання, яке постає в процесі реконструкції. Відповідь на нього дає чітке розуміння чи варто взагалі реконструювати той чи інший об'єкт.

Розробка стартап проєкту

Враховуючи вищезазначене, стартап у галузі програмного забезпечення для проведення енергоаудиту та надання рекомендацій щодо реконструкції будівель за стандартами EnerPHit, «Пасивний будинок» «Будинок нуль енергії», «Будинок плюс енергії», має великий потенціал для комерціалізації. Розробка інтуїтивно зрозумілого інструменту для користувачів без спеціалізованих знань дозволить зробити енергоефективні рішення доступними для більшості власників будівель. Одночасно, розширені функції програми, доступні на умовах платної підписки, дозволять окупити витрати та вивести стартап на прибутковість. Системи автоматизованого розрахунку та рекомендації щодо модернізації, які пропонує цей стартап, можуть стати важливим інструментом на ринку енергозбереження, сприяючи реалізації енергоефективних проєктів на великій кількості об'єктів.

Узагальнення

Проведене дослідження підтверджує актуальність реконструкції існуючих будівель з урахуванням стандартів «Пасивного будинку», що обумовлено

економічними, екологічними, соціальними та технічними факторами. У роботі були розроблені інженерні рішення для модернізації систем енергопостачання, які дозволяють суттєво зменшити енергоспоживання, покращити термоізоляційні характеристики будівель, інтегрувати відновлювані джерела енергії та забезпечити комфортний внутрішній клімат.

Наукова новизна роботи полягає у створенні доступних та ефективних методик адаптації старого житлового фонду до сучасних стандартів енергоефективності, зокрема через інтеграцію систем відновлюваних джерел енергії, рекуперації тепла та інтелектуального управління енергоспоживанням.

Практична значущість полягає в тому, що запропоновані рішення дозволяють не лише зменшити екологічний вплив будівель, але й створити комфортне та економічно вигідне середовище для їх мешканців. Розроблений алгоритм трансформації старих будівель стане корисним інструментом для їхньої модернізації, сприяючи підвищенню енергоефективності житлового фонду.

Враховуючи вищезазначене, стартап «Модульні системи відновлюваної енергії» має великий потенціал для комерціалізації. Цей проєкт має стати не лише комерційно вигідним, але й соціально значущим, який здатен зробити внесок у розвиток енергоефективності, зменшення енергетичної залежності та поліпшення екологічної ситуації.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Passivhaus Institut <https://passiv.de>
2. Пасивний будинок. https://uk.wikipedia.org/wiki/Пасивний_будинок
3. Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard
Copyright © 2015 Passive House Institute;
https://web.archive.org/web/20160806020701/http://passivehouse-igua.com/wp-content/uploads/2015/08/phi_building_criteria_draft.pdf
4. Training Workshop on High Performance Buildings Session 1: Passive House Fundamentals / Refresher Authors: Dr. W. Ebel, J. Grove-Smith, W. Hasper, B. Krick, E. Reyes, PHI. Speaker: Edward Lowes, Passive House Institute
https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/geee/WS_Yerevan_November_2019/Edward_Lowes_Yerevan_Session_1.pdf
5. Основні теоретичні засади, сучасний стан розвитку та тенденції формування «зеленого» будівництва в Україні в контексті сталого розвитку. В.Ю. Білотіл. Інститут агроєкології і природокористування НААН (2022 р. м. Київ, Україна)
<https://journals.uran.ua/bnusing/article/download/255225/255557>
6. Адаптивне повторне використання-будівель Jackie De Burka 2023.
<https://constructive-voices.com/uk/adaptive-reuse-of-buildings-balancing-preservation-and-sustainability>
7. Закон України «Про енергетичну ефективність»
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>
8. Energy Performance of Buildings Directive
https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en/

9. Пасивний будинок – шлях до ефективного використання енергії.
О.І. Степаненко, В.В. Дубровська. 2014. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/61805fe7-fe4a-4fd7-b238-7976f79699c4/content>
10. Пасивні будинки та їх принципи проєктування.
<https://avenston.com/articles/passive-houses/>
11. Department of Energy, Assistant Secretary Energy Efficiency and Renewable Energy, DOE/CE-0180. 2008
<https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/Insulation%20Fact%20Sheet.pdf>
12. The Passive House Institute (2023) Criteria for Buildings: Passive House, EnerPHit, PHI Low Energy Building. Version 10c.
https://passivehouse.com/downloads/03_building_criteria_en.pdf
13. ДСТУ 9208:2022. «Бетони важкі. Технічні умови»
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0275774-22#Text>
14. ДСТУ Б В.2.7-61:2008 «Будівельні матеріали Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови (EN 771-1:2003, NEQ)»
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0639661-08#Text>
15. ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови». <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0032661-10#Text>
16. ДСТУ EN 14509:2017. (EN 14509:2013, IDT) «Панелі теплоізоляційні самонесійні з двостороннім металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення. Технічні умови»
[https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_en_14509_paneli_teploizoljacijni_samonесijni_z_dvostoronnim_metalevim_oblicjuvannjam/5-1-0-1959](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_en_14509_paneli_teploizoljacijni_samonესijni_z_dvostoronnim_metalevim_oblicjuvannjam/5-1-0-1959)

17. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»
https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152?doc_type=2
18. Що таке паропроникність і які джерела пару в приміщенні
<https://termopaneli.net/paropronitsaemost-materialov-kakoj-uteplitel-luchshe/>
19. Гігроскопічність. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Гігроскопічність>
20. Коефіцієнти теплопровідності будівельних матеріалів
https://info.liconce.com/snip/koeffitsienti_teploprovodnosti
21. Коефіцієнти теплопровідності будівельних матеріалів
<https://gool.com.ua/ua/a108178-koeffitsient-teploprovodnosti-populyarnyh.html?srsId=AfmBOoqGHrIAYGyAaCwFwCs4BhKetS0Kvh38zrI7WrrAQ2Ag2gg04UE>
22. Публікація Міністерства енергетики США (DOE), яка стосується «Пасивного сонячного дизайну» DOE/GO102000-0790
https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/29236.pdf
23. Точка роси. https://uk.wikipedia.org/wiki/Точка_роси
24. Таблиця розрахунку точки роси
<https://teplovizor-plus.lviv.ua/%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D1%86%D1%8F-%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8-%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%B8/>
25. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель»
<https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13>
26. Енергозберігаючі характеристики склопакетів
<https://www.sli-door.com/ua-energozberigajuchi-harakteristiki-sklopaketiv/>

27. Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2-007-98
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>
28. Середні місячні температури повітря по м. Києву. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського
<http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-dani-po-kyievu>
29. ДБН В.2.2-9-2009 Громадські будівлі та споруди
https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3022082276805576102/2023-01-24/fa9a3e00-5004-46db-8b8b-e6dea58ac5f9.pdf
30. ПЗ для розрахунку альтернативних джерел енергії System Advisor Model
<https://sam.nrel.gov/>
31. Міжнародна агенція з відновлюваної енергетики (IRENA)
<https://www.irena.org/>
32. Карта сонячного випромінювання України
<https://solargis.info/imaps/#c=48.863172,32.841881&z=6>
33. Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges
<https://core.ac.uk/download/pdf/29109288.pdf>
34. Економічні та технічні можливості для впровадження НЗЕБ стандарту в Україні. https://rehouse.org.ua/our_projects/ekonomichni-ta-tekhnichni-mozhlyvosti-dlya-vprovadzhennya-nzeb-standartu-v-ukrayini
35. Стартапи як форма підприємницької діяльності: поняття, значення, зарубіжний досвід. А. О. Касич, Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна.
<https://epec.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/13339/1/6.pdf>
36. Strategy for Startups: From Idea to Impact
<https://executive.mit.edu/course/strategy-for-startups/a056g00000YKPdJAAX.html>