

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**«Аналіз екологічної ефективності використання
відновлювальних джерел енергії в сфері теплопостачання»**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕКО-216
спеціальності 101 – Екологія

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Супрун І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ЕХТЗД
Полив'янчук А.П.

(прізвище та ініціали)

«10» червне 2025 р.

Рецензент: к.х.н., доц., доцент каф. ЕХТЗД

Гордіснюк О.А.

(прізвище та ініціали)

«10» червне 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри ЕХТЗД

«10» ок 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань 10 – Природничі науки
Спеціальність 101 – «Екологія»
Освітньо-професійна програма – Екологічна безпека та моніторинг довкілля

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕХТЗД
к.т.н., професор В.А. Іщенко
(підпис)
« 25 » березня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на бакалаврську кваліфікаційну роботу студенту

Супрун Іван Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СФЕРІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ»

керівник роботи Полив'янчук Андрій Павлович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по ВНТУ від « 20 » березня 2025 року № 94

2. Термін подання студентом роботи « 10 » червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи:

1. Результати аналізу літературних джерел за темою досліджень.
2. Робочі матеріали, зібрані під час проходження переддипломної практики.
3. Вихідні дані для розрахунку ефективності геліосистеми елементами якої є плоскі сонячні колектори SKT 1.0.

4. Зміст текстової частини

1. Аналіз екологічних наслідків від використання традиційних джерел теплопостачання будівель та енергозберігаючі заходів.
2. Комплексна математична модель для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів та принципи використання геліосистем.
3. Опис натурного об'єкту (НО) для досліджень ефективності використання альтернативних джерел теплопостачання.
4. Визначення річної енергопродуктивності геліосистеми для теплозабезпечення НО.
5. Результати комплексного оцінювання ефективності використання геліосистеми на натурному об'єкті.

5. Перелік ілюстративного матеріалу

1. Демонстрація взаємозв'язку між використанням об'єктів енергетики та станом навколишнього середовища.
2. Компоненти загальної ефективності впроваджених енергозберігаючих заходів.
3. Вплив орієнтації геліосистеми на її ефективність.
4. Локація запропонованої ділянки для монтажу геліосистеми.
5. Комплексне порівняння ефективності заходів №1-5 за критеріями енергозбереження, екології та економіки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «25» березня 2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1.	Аналіз екологічних наслідків від використання традиційних джерел теплопостачання будівель та енергозберігаючі заходів	25.03.2025	07.04.2025	викон
2.	Комплексна математична модель для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів та принципи використання геліосистем	07.04.2025	27.04.2025	викон
3.	Опис натурального об'єкту для досліджень ефективності використання альтернативних джерел теплопостачання	27.04.2025	12.05.2025	викон
4.	Визначення річної енергопродуктивності геліосистеми для теплозабезпечення натурального об'єкта	12.05.2025	26.05.2025	викон
5.	Результати комплексного оцінювання ефективності використання геліосистеми на натурному об'єкті	26.05.2025	05.06.2025	викон
6.	Підготовка висновків, додатків і переліку літератури. Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	05.06.2025	10.06.2025	викон

Студент

(підпис)

Супрун І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Полив'янчук А.П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота складається з 61 сторінки формату А4, на яких є: 35 рисунків, 6 таблиць, список використаних джерел містить 22 найменувань.

Метою роботи є проведення комплексного аналізу енергетичної, економічної та екологічної ефективності використання відновлювальних джерел енергії в сфері теплопостачання на прикладі впровадження геліосистеми в системі опалення будівлі закладу освіти.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішені такі завдання: аналіз екологічних наслідків від використання традиційних джерел теплопостачання, розробка комплексної математичної моделі для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів та огляд принципів використання геліосистем, аналіз натурального об'єкту для досліджень ефективності використання альтернативних джерел в будівлях закладів освіти, комплексне оцінювання ефективності використання геліосистеми на натурному об'єкті.

Ключові слова: теплопостачання, забруднюючі речовини, відновлювальна енергетика, геліосистема, енергоефективність.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 61 pages of A4 format, which contain:
35 figures, 6 tables, the list of sources used contains 22 names.

The purpose of the work is to conduct a comprehensive analysis of the energy, economic and environmental efficiency of the use of renewable energy sources in the field of heat supply using the example of implementing a solar system in the heating system of an educational institution building.

The following tasks are solved in the bachelor's qualification thesis: analysis of the environmental consequences of the use of traditional heat sources, development of a comprehensive mathematical model for assessing the effectiveness of energy-saving measures and a review of the principles of using solar systems, analysis of a natural object for research into the effectiveness of using alternative sources in educational institution buildings, comprehensive assessment of the effectiveness of using a solar system at a natural object.

Keywords: heat supply, pollutants, renewable energy, solar system, energy efficiency.

ВІДГУК

наукового керівника на бакалаврську кваліфікаційну роботу Супруна І.І.
на тему: «Аналіз екологічної ефективності використання відновлювальних
джерел енергії в сфері теплопостачання»

Бакалаврська робота Супруна І.І. присвячена актуальній екологічній проблемі – зниження негативного впливу об'єктів енергетичної галузі на навколишнє середовище та впровадження відновлювальних джерел енергії в сфері теплопостачання. Актуальність теми обумовлена значними обсягами викидів забруднюючих речовин об'єктами традиційної енергетики та пов'язаними з цим екологічними проблемами.

У процесі виконання кваліфікаційної роботи студентом проведено ґрунтовний аналіз літературних джерел за темою досліджень, систематизовано підходи до оцінки впливу традиційної енергетики на навколишнє природне середовище, а також проведено дослідження ефективності використання відновлювальних джерел енергії в системах теплозабезпечення будівель.

Робота має чітку структуру, логічну послідовність викладення матеріалу та аргументовані висновки. Всі розрахунки та аналітичні дослідження виконані коректно. Пояснювальна записка оформлена відповідно до вимог державних стандартів.

Під час виконання роботи студент Супрун І.І. продемонстрував високий рівень самостійності, аналітичного мислення, здатність працювати з фаховою літературою, володіє навичками дослідження екологічних процесів і використовує сучасні інформаційні технології.

Робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує оцінку «добре».

Науковий керівник,

д. т. н., професор каф. ЕХТЗД



Андрій ПОЛИВ'ЯНЧУК

РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу студента денної форми навчання 4 курсу із спеціальності 101 “Екологія” Супруна Івана Івановича на тему «Аналіз екологічної ефективності використання відновлювальних джерел енергії в сфері теплопостачання»

Бакалаврська кваліфікаційна робота виконана згідно завдання, відповідає темі, містить 5 листів ілюстративного матеріалу і пояснювальну записку на 61 сторінках.

1. Актуальність теми, наявність замовлення роботи підприємством, організацією

Тема досліджень має високу актуальність, присвячена розв'язанню важливої екологічної проблеми використання відновлювальних джерел енергії в сфері теплопостачання.

2. Достатність вихідних даних, наявність обґрунтування вироблених рекомендацій

Вихідні дані – результати аналізу літературних джерел за темою досліджень, а також результати проходження переддипломної практики є достатніми для виконання поставлених задач.

3. Наявність багатоваріантного аналізу проектних рішень в основному розділі, спрямованого на пошук оптимального рішення з урахуванням останніх досягнень науки і техніки, техніко-економічного обґрунтування оптимального варіанту. Застосування варіантних підходів при вирішенні решти проектних рішень

Проведено комплексний аналіз екологічних аспектів розвитку відновлювальних джерел енергії в системах теплозабезпечення будівель.

4. Глибина обґрунтування прийнятих рішень, ступінь врахування факторів безпеки життєдіяльності тощо

Глибина обґрунтування прийнятих рішень є достатньою і базується на використанні достовірних вихідних даних і відомих методів наукових досліджень.

5. Рівень опрацювання основного рішення (аналіз, технічні розрахунки тощо), достатність глибини пророблення основного рішення для використання на практиці

Рівень опрацювання та глибина пророблення основного рішення є достатніми і базуються на результатах аналізу літературних джерел за досліджуваною темою та результатах власних розрахункових досліджень.

6. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень

Глибина досліджень негативного впливу традиційної ергетики на навколишнє середовище та перспектив розвитку відновлювальних джерел теплової енергії є достатньою.

7. Застосування комп'ютера для вирішення задач основної частини роботи (оптимізація, моделювання, САПР, СУБД, ГІС, технічні розрахунки складних систем та ін.), обґрунтування вибору конфігурації комп'ютера, застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у роботі

При створенні текстової та графічної частин роботи було використано MS Excel, Mathcad.

8. Наявність у пояснювальній записці обґрунтування усіх проектних рішень, стиль її написання (обґрунтований чи описовий), відповідність оформлення до вимог діючих стандартів

Пояснювальна записка оформлена відповідно до діючих стандартів, рішення та рекомендації подані обґрунтовано.

9. Повнота відображення графічних матеріалів основного змісту кваліфікаційної роботи, відповідність графічних матеріалів конкретному об'єкту дослідження, вимогам діючих стандартів

Графічна частина відповідає змісту роботи та вимогам діючих стандартів.

10. Практична цінність роботи, можливість її реалізації

Результати роботи мають практичну цінність і містять рекомендації щодо впровадження відновлюваних джерел в сфері теплопостачання та зменшення рівнів забруднення довкілля об'єктами традиційної енергетики.

11. У бакалаврській кваліфікаційній роботі можна відзначити такі недоліки

У тесті пояснювальної записки зустрічаються незначні орфографічні помилки.

Бакалаврська кваліфікаційна робота в цілому виконана на високому рівні і заслуговує на оцінку "добре".

Рецензент

к.т.н., доцент



Гордієнко О.А.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ.....	7
1.1 Оцінка впливу традиційних джерел теплопостачання на довкілля.....	7
1.2 Аналіз енергозберігаючих заходів при теплозабезпеченні будівель.....	10
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ	19
2.1 Комплексна модель оцінювання енергетичної, екологічної та економічної ефективності енергозберігаючих заходів	19
2.2 Основи проектування та застосування сонячних енергосистем.....	21
3 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	29
3.1 Загальний опис будівлі навчального закладу як об'єкта дослідження.....	29
3.2 Результати обстеження будівлі: зовнішній, внутрішній огляд та тепловізійна діагностика.....	32
4 РОЗРАХУНОК РІЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВІДДАЧІ ГЕЛІОСИСТЕМИ ДЛЯ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	39
4.1 Оптимізація міжрядкових інтервалів у масиві сонячних панелей.....	39
4.2 Вибір площі встановлення, типу і кількості сонячних колекторів.....	41
4.3 Розрахунок щорічної енергетичної віддачі геліосистеми для забезпечення теплопостачання досліджуваної будівлі.....	44
5 РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМИ ДЛЯ РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА.....	47
5.1 Аналіз енергетичної, екологічної та економічної ефективності впровадження геліосистеми.....	47

5.2	Порівняння аналізованого заходу з іншими варіантами енергозбереження.....	50
	ВИСНОВКИ.....	53
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
	ДОДАТОК А.....	58
	ДОДАТОК Б.....	59

ВСТУП

Останнім часом взаємодія між енергетичними процесами та довкіллям набула загрозливого характеру. Установки, що працюють на спалюванні палива, а також теплоенергетичні об'єкти, здійснюють суттєвий вплив на навколишнє середовище через викиди шкідливих компонентів, зокрема оксидів сірки та азоту, парникових газів (CO_2 , CO та ін.), золи та сажі. Зі зростанням обсягів енергетичного виробництва ці викиди лише посилюють екологічні виклики.

Постійне зростання техногенного тиску на природне середовище та ускладнення проблем у сфері екологічної безпеки вимагають термінових змін у екологічній політиці, а також переходу до сталого розвитку, що передбачає узгодження цілей екології, енергетики та економіки. Вирішення цієї задачі можливе завдяки раціоналізації енергетичного балансу країни, в якому ключову роль повинні відігравати енергоресурси з відновлюваних джерел [1].

На сьогодні традиційна енергетика є джерелом приблизно 30% усіх шкідливих викидів в атмосферу. Це включає близько третини твердих частинок, понад 60% викидів сірчистого ангідриду та приблизно 55% оксидів азоту. За таких умов критично важливим є інтеграція екологічних та енергетичних аспектів, що забезпечує цілісний підхід до вирішення проблеми [2].

Такий підхід реалізується у межах концепції сталого розвитку, яка передбачає збереження якості життя теперішнього і майбутнього поколінь шляхом гармонізації економічних, екологічних та ресурсних питань на глобальному рівні.

Огляд стратегій енергетичного розвитку в країнах Європейського Союзу за період 2020–2030 рр. демонструє зниження частки нафти та твердого палива в енергобалансі на 0,4% (з 35,7% до 35,3%) і 0,7% (з 17,4% до 16,7%) відповідно. Позиції природного газу залишаються стабільними – 25,7%, а частка енергії з відновлюваних джерел зростає на 3,1% (з 9,9% до 12,0%). Це свідчить про поступове зменшення залежності від викопного палива та активне впровадження альтернативних джерел [3].

Одним із найперспективніших способів енергозбереження є використання сонячної енергії, що особливо актуально у зв'язку з обмеженістю запасів нафти й газу та негативними наслідками спалювання традиційного палива. Серед доступних рішень – використання сонячної енергії для нагрівання води, що вже широко застосовується у комунальному господарстві [4].

В «Енергетичній стратегії України до 2030 року» передбачено поетапне нарощування виробництва обладнання для сонячних систем гарячого водопостачання і опалення. Планується встановлення близько 2 млн м² сонячних колекторів, що дозволить суттєво зекономити паливо. Практика показує, що кожен квадратний метр колектора здатен зберегти від 0,1 до 0,15 тонни умовного палива протягом літа. Масове впровадження геліосистем до 2030 року дозволить зменшити споживання енергоресурсів до 200 тис. тонн умовного палива [4].

У комунальному секторі однією з ключових проблем є неефективне використання теплової енергії в системах теплозабезпечення будівель. Це веде до надмірного споживання обмежених природних ресурсів, посилення забруднення атмосфери парниковими газами і зростання фінансових витрат у сфері ЖКГ. Всі ці наслідки можна згрупувати за екологічними, енергетичними та економічними критеріями.

Одним з ефективних способів вирішення цієї проблеми є впровадження екологічно чистих альтернативних джерел теплозабезпечення – зокрема, геліосистем.

Суть проблеми: необхідність підвищення ефективності використання ресурсів у системах комунальної енергетики шляхом запровадження геліосистем як альтернативного джерела тепла.

Мета дослідження: провести комплексний аналіз ефективності (економічної, енергетичної та екологічної) від впровадження геліосистеми на прикладі освітньої установи.

Основні завдання:

- провести аналіз впливу традиційного теплозабезпечення на довкілля;

- створити математичну модель для оцінювання ефективності заходів з енергозбереження та вивчити принцип роботи геліосистем;

- охарактеризувати об'єкт дослідження;

- визначити річну енергоефективність геліосистеми для заданого об'єкта;

- оцінити результативність використання геліосистеми в реальних умовах;

- розглянути питання охорони праці.

Об'єкт дослідження: процеси отримання і споживання теплової енергії з альтернативних джерел.

Предмет дослідження: геліосистеми як спосіб альтернативного теплозабезпечення будівель з використанням енергії сонця.

1 АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

1.1 Оцінка впливу традиційних джерел теплопостачання на довкілля

Система теплозабезпечення включає в себе джерела теплової енергії, теплотраси (централізовані та локальні), а також обладнання для розподілу тепла. Ці елементи взаємопов'язані та працюють за єдиним технологічним режимом.

Теплова енергія використовується для потреб населення, житлово-комунального сектору та промисловості. Залежно від призначення виділяють такі категорії споживачів:

1. Системи опалення;
2. Системи вентиляції та кондиціонування повітря;
3. Системи гарячого водопостачання для санітарно-побутових цілей;
4. Технологічні процеси у виробництві.

Промислові підприємства зазвичай споживають тепло з високими параметрами (180–200 °C), переважно у вигляді пари. Для житлових будинків і побутових потреб необхідне тепло з нижчими параметрами (40–120 °C).

Потреба в тепловій енергії в містах залежить від чисельності населення, структури промисловості, наявного житлового фонду та рівня його комунікаційного забезпечення. Найбільшу частку споживання, як правило, становить опалення і гаряче водопостачання.

Теплопостачання залишається однією з найбільш витратних сфер комунального господарства, що фінансується з бюджетів різного рівня. Тому актуальним є завдання зменшення витрат через впровадження енергоощадних технологій та стимулювання економного використання ресурсів серед споживачів. У вітчизняній літературі вже досить докладно описано сучасні методи підвищення ефективності теплопостачання в ЖКГ, серед яких –

комплексна термомодернізація будівель, регулювання подачі тепла залежно від погодних умов, застосування попередньо ізольованих труб тощо.

Аналіз вартості 1 Гкал тепла показує, що до 75% витрат пов'язано з паливом. Це зумовлено високими втратами енергії при виробництві та транспортуванні, а також вартістю самих енергоносіїв. Низький ККД обладнання – ще один чинник перевитрати палива.

Тому особливу увагу варто приділити енергоефективним технологіям, які базуються на відновлюваних джерелах, зокрема:

- спалювання біомаси рослинного походження у сучасних котлах;
- використання сонячної енергії через сонячні колектори;
- застосування теплових насосів для використання енергії навколишнього середовища [5].

Одним з ключових показників енергоощадності є структура споживання енергоресурсів, яка охоплює: нафту, природний газ, вугілля, ядерну енергію, гідроенергію та відновлювані джерела. Вископні ресурси варто використовувати максимально ощадливо з огляду на їхню обмеженість, зростаючу вартість і шкідливі викиди (рис. 1.1).

Оксиди азоту (NO_x) утворюються при спалюванні всіх типів вископного палива – як тих, що містять сполуки азоту, так і тих, що їх не містять, завдяки взаємодії атмосферного азоту з киснем при високих температурах. Ці сполуки (N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 тощо) мають різні властивості, активність і період існування, що слабо залежить від типу палива.

Діоксид сірки (сірчистий ангідрид, SO_2) є одним із найбільш шкідливих газоподібних забруднювачів, що утворюються в процесі роботи енергетичних установок. Він становить понад 90% усіх викидів сірковмісних речовин із димовими газами котлів (решта припадає на SO_3). Найбільше сірки міститься у вугіллі та важких нафтових продуктах, тоді як легкі нафтопродукти характеризуються меншим вмістом сірки, а бензин і природний газ практично її не містять.

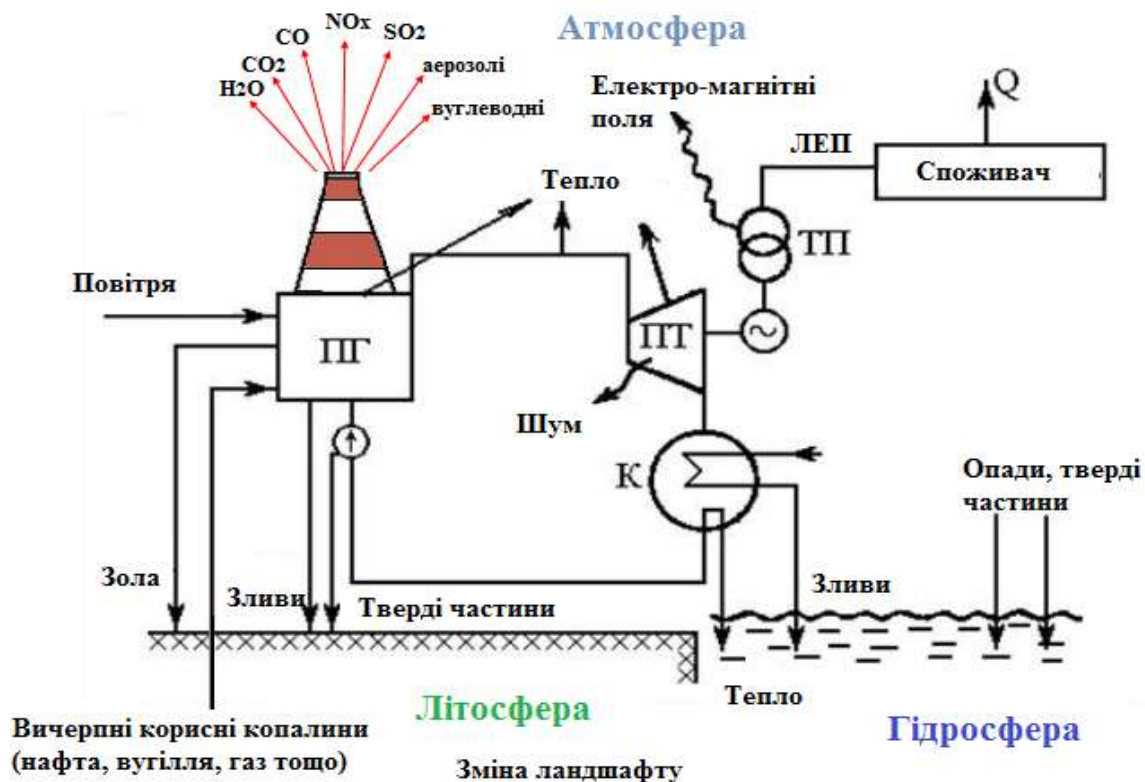


Рисунок 1.1 – Демонстрація взаємозв’язку між енергетичною діяльністю та станом навколишнього середовища (ПГ – парогенератор; К – конденсатор; ТП – трансформаторна підстанція; ЛЕП – лінії електропередач).

Вуглекислий газ (CO_2) утворюється при згорянні викопних палив, таких як вугілля, нафта, природний газ, а також різноманітних штучних і біологічних видів палива (зокрема, деревини). Він є одним з основних чинників виникнення парникового ефекту. Крім того, у разі неповного згоряння палива виділяється чадний газ (CO) – токсична речовина, що негативно впливає на серцево-судинну систему людини.

Під час згоряння рідкого та твердого палива у атмосферу надходять тверді частинки, які формують аерозолі. Ці частинки можуть потрапити в повітря безпосередньо у вигляді золи, сажі чи пилу. Крім того, частина з них виникає в результаті хімічних реакцій між рідкими, твердими та газоподібними речовинами, у тому числі й водяною парою. Хоча аерозолі можуть мати природне походження, значну їх частку створює людська діяльність.

1.2 Аналіз енергозберігаючих заходів при теплозабезпеченні будівель

Для підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у системах комунального теплопостачання застосовується низка енергозберігаючих рішень. Серед них: використання теплових насосів, біопалива, а також систем для дистанційного керування температурними режимами приміщень, наприклад, HERZ Smart Comfort. Детальний опис цих заходів наведено нижче.

Теплові насоси – це ефективні, компактні та екологічно безпечні системи, які забезпечують опалення й гаряче водопостачання за рахунок використання теплової енергії з природних джерел низької температури – таких як ґрунт, підземні води, водойми або повітря. Ця енергія передається теплоносію, що має вищу температуру.

Такі системи працюють на основі природної, безоплатної енергії. Наприклад, земля зберігає сонячне тепло в своїх шарах, навіть на кілька метрів під поверхнею. Теплові насоси можуть використовувати це тепло, залежно від типу системи – ґрунт, вода чи повітря. Завдяки цьому знижуються витрати на виробництво теплової енергії. Навіть при знижених температурах зовнішнього середовища теплові насоси продовжують функціонувати стабільно. Частина тепла надходить із навколишнього середовища, а інша – від електроенергії. В умовах сильних морозів споживання електроенергії зростає. Ключовим показником ефективності теплового насоса є коефіцієнт перетворення (COP) – співвідношення виробленої теплової енергії до спожитої електроенергії. (рис. 1.2).

Температурні коливання атмосферного повітря впродовж року значні: влітку – від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$, узимку – від -25°C до $+10^{\circ}\text{C}$. Проте завдяки сучасним технологіям можливо ефективно використовувати повітря як джерело тепла протягом усього року, навіть при температурі до -20°C .

Основні переваги використання повітря як джерела тепла

- доступність без необхідності зміни обладнання;
- відсутність потреби в спеціальному дозволі;

- компактність пристроїв;
- низькі витрати на впровадження;
- можливість інтеграції у старі системи опалення.



Рисунок 1.2 – Принцип роботи теплового насосу

Теплові насоси типу "повітря-повітря" нагрівають повітря, яке направляється у приміщення, а типу "повітря-вода" – підігрівають воду для систем опалення та гарячого водопостачання (рис 1.3).

Конструктивні рішення: Системи "повітря-вода" можуть мати два варіанти конструкції: спліт-системи (з двома окремими блоками – зовнішнім і внутрішнім) та моносистеми (усі компоненти розташовані в одному корпусі).

У випадку розміщення об'єкта біля відкритої водойми можна використовувати водяні теплові насоси. Вони потребують додаткового обладнання – систем забору води, насосних установок, теплообмінників та трубопроводів. Такі системи підходять для теплопостачання громадських об'єктів, розташованих біля річок чи морів (наприклад, санаторії, басейни), а також у рамках централізованого теплопостачання (рис. 1.4).

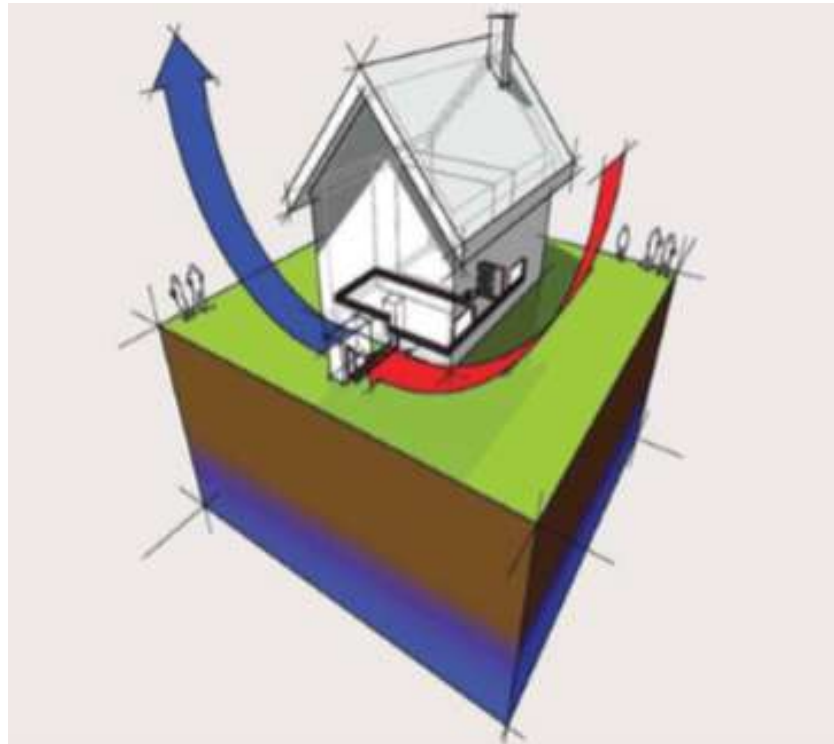


Рисунок 1.3 – Повітряний тепловий насос

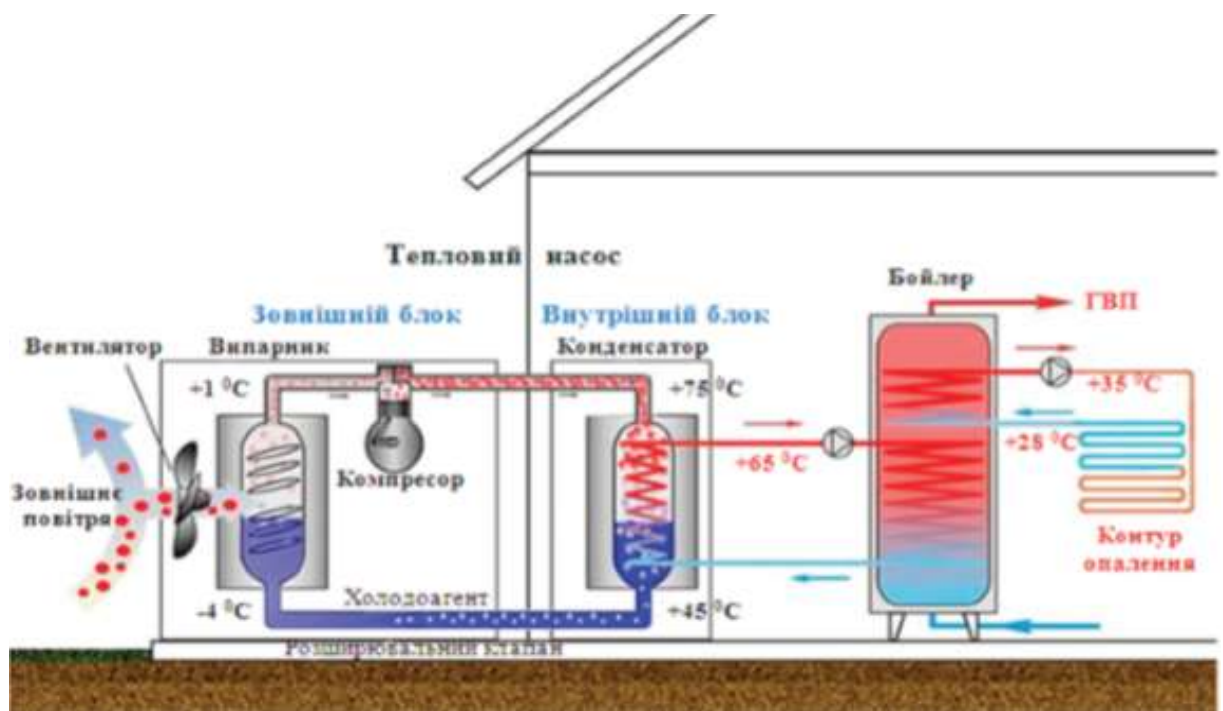


Рисунок 1.4 – Розміщення елементів повітряного теплового насосу

Біопаливо – один із найрозповсюдженіших видів відновлювальних джерел енергії, що базується на використанні біомаси. Основним видом біопалива є деревина, яку після сушіння та подрібнення можна використовувати замість традиційних викопних видів палива. Щорічно в світі утворюється близько 200 млрд тонн біомаси (у перерахунку на суху речовину), що еквівалентно 80 млрд тонн нафти. Це робить біопаливо перспективним і доступним джерелом енергії. Деякі рослини можна також переробляти на дизпаливо, етанол, метан, біогаз, що дозволяє поступово відмовлятися від викопного палива (рис.1.5).



Рисунок 1.5 – Загальна схема перероблення біомаси

Термічне використання біомаси через її спалювання є одним з найдавніших способів отримання енергії. У ХХ столітті перевагу почали надавати викопному паливу через його високу енергетичну щільність. У таблиці 1.1 наведено порівняльні значення питомої теплоти згоряння різних видів палива.

Попри те, що теплота згорання біопалива менша, воно є економічно та екологічно привабливішим. Джерелами для виготовлення біопалива можуть бути сільськогосподарські та деревообробні відходи, а також спеціально вирощені культури (наприклад, верба чи тополя).

Таблиця 1.1 – Різні види палива та їх питома теплота згорання

Вид палива	Питома теплота згорання МДж/кг
Деревина:	
- Зелена	8
- Сезонна	13
- Висушена	16
Рисове лушпиння	12-15
Цукрова тростина	
Відходи тваринництва	
Торф	
Метан	55
Бензин	47
Гас	46
Дизпаливо	46
Сира нафта	43-46
Вугілля	20-30

Вологість деревини – важливий фактор, що впливає на якість спалювання. Зі збільшенням вологості (до 75%) знижується температура згорання, процес сповільнюється, а обсяги шкідливих викидів зростають. Тому ефективне використання біомаси можливе лише після її попередньої обробки (сушіння та подрібнення). Після цього паливо набуває стабільних характеристик, що підвищує ККД, зменшує експлуатаційні витрати і забруднення. Найпопулярнішими формами переробленого біопалива є пелети та брикети.

Біохімічні методи дозволяють отримувати альтернативні види палива — біогаз, етанол, біодизель. Серед основних процесів – бродіння та анаеробний розклад. Під час бродіння (за участі дріжджових бактерій) виробляють етанол (C_2H_5OH) з культур, багатих на глюкозу (цукровий буряк, тростина тощо).

Анаеробний розклад – це процес розкладу біомаси без доступу кисню за участі спеціальних мікроорганізмів. У результаті утворюються метан (CH_4) і вуглекислий газ (CO_2). Метан становить до 90% енергетичної цінності початкової біомаси, а суміш цих газів відома як біогаз.

Одним із найбільш ефективних підходів до зниження споживання традиційного палива є використання сонячної енергії для забезпечення тепла в будівлях, що розглядається детально в розділі 2.

Система HERZ Smart Comfort – це інноваційне рішення для керування мікрокліматом у приміщеннях, представлене на українському ринку компанією HERZ. Застосування модуля Cube+ дозволяє здійснювати зручне дистанційне керування радіаторами опалення, скорочуючи витрати енергії на 30–60%.

Завдяки можливості дистанційного контролю температури в приміщеннях через інтернет (з використанням ПК або смартфона), користувачі можуть зменшити витрати на опалення навіть у випадках, коли не передбачено створення чіткого графіка роботи. Це забезпечує ключову перевагу перед традиційними програмованими кімнатними термостатами.

Класичні термостати з програмуванням дозволяють встановлювати температурний режим відповідно до заданого часу доби. Проте, якщо використання приміщення не відповідає цьому графіку, такі пристрої не забезпечують належної енергоефективності [6–8].

Основні елементи системи HERZ Smart Comfort включають:

- електронний регулятор температури на радіатор ETKF +
- сенсор відкритого вікна
- кімнатний термостат для зон з декількома радіаторами
- центральний модуль Cube +
- настінний перемикач загального режиму опалення Eco Switch+ (рис. 1.6) [6]

Можливості HERZ Smart Comfort:

- контроль температури окремих кімнат на відстані;
- керування опаленням через інтернет за допомогою ПК або мобільного телефону;

- створення індивідуального графіка температурного режиму;
- активація комфортного режиму до прибуття додому;
- автоматичне вимкнення опалення під час провітрювання приміщень;
- моніторинг відкритих вікон для оптимізації тепловтрат [9].

Принцип роботи HERZ Smart Comfort

Температурний сенсор, розміщений у термостатичній головці ЕТКФ +, постійно фіксує температуру повітря в кімнаті й регулює подачу гарячої води до радіатора згідно з заданими параметрами.

Термоголовка ЕТКФ+



1 8251 01

Оконный датчик+



1 8251 02

Настенный термостат+



1 8251 03

Eco Switch+



1 8251 06

Cube+



1 8251 05

Рисунок 1.6 – Компоненти HERZ Smart Comfort

У разі встановлення сенсора на вікно, при його відкритті система автоматично підтримує температуру на рівні 17 °C протягом 15 хвилин (параметри змінні).

Настінний термостат також містить сенсор температури й координує всі термоголовки ЕТКФ + в конкретному приміщенні. З його допомогою можна

керувати налаштуваннями одразу для кількох пристроїв, що зручно та дозволяє уникнути дублювання дій. Він встановлюється в місцях, де не діють протяги чи сонце, на відміну від термоголовок, які змонтовані безпосередньо на радіаторах, часто закритих меблями або шторами. Це впливає на точність температурного контролю [6,7].

На термостаті та головках ЕТКФ + можна налаштувати часові інтервали для опалення. Наприклад, з 6:00 до 22:00 – температура 22 °С, а з 22:00 до 6:00 – 18 °С. Кількість таких інтервалів – до 6, що дозволяє значно зекономити енергію в періоди, коли висока температура не є необхідною.

Для встановлення HERZ Smart Comfort потрібно, щоб на радіаторах були встановлені термостатичні клапани, на які можна монтувати термоголовки. У разі їх відсутності – стару арматуру слід замінити на відповідну.

Компоненти HERZ Smart Comfort працюють бездротово, що забезпечує можливість монтажу як у нових, так і в модернізованих системах без прокладки кабелів.

Сигнал системи покриває до 30 м у межах приміщення. Cube + доцільно розмішувати в центрі, зазвичай поруч із маршрутизатором. Він підключається до мережі 230 В та має доступ до інтернету через кабель.

Інші елементи працюють на батарейках типу АА або ААА, строк їх служби – до 5 років [6,8].

На радіаторах повинні бути клапани з різьбою М 28x1,5 мм для встановлення термоголовок.

У кімнаті з одним радіатором достатньо одного регулятора ЕТКФ + і одного сенсора на вікні.

У разі наявності кількох радіаторів – по одній термоголовці на кожен, по одному сенсору на кожне вікно, і бажано – один настінний термостат для координації [9]. Для віддаленого керування системою використовується модуль Cube +, що зв'язується з усіма компонентами бездротово (рис. 1.7).

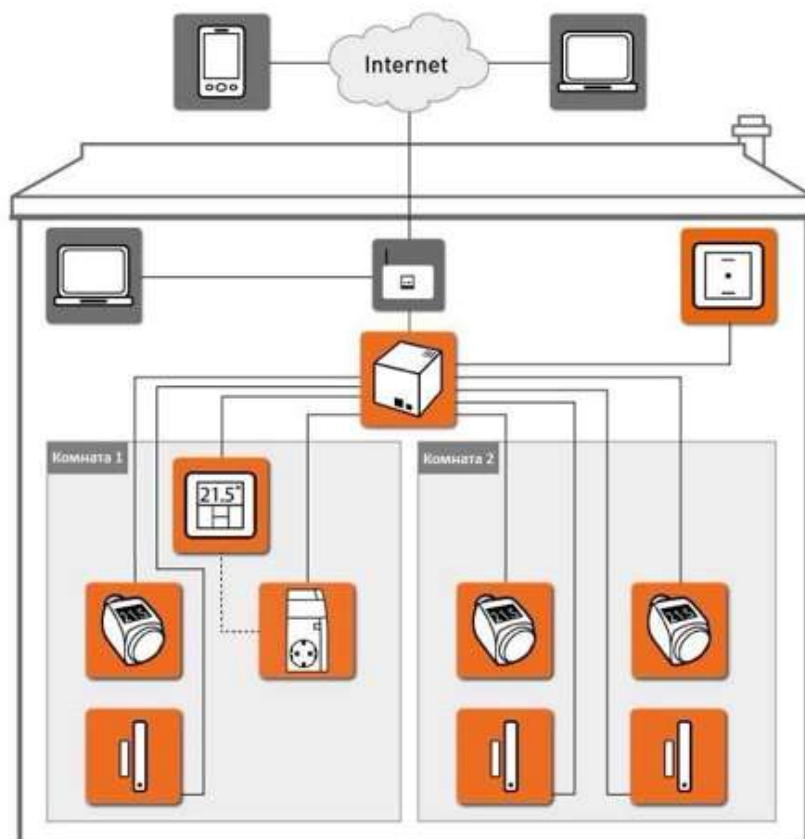


Рисунок 1.7 – Схема функціонування HERZ Smart Comfort

Встановлення одного перемикача Eco Switch + в загальному коридорі дозволяє централізовано активувати економний режим при виході з будинку. Працює лише разом із Cube+.

Користування HERZ Smart Comfort через мобільний додаток дозволяє зменшити споживання енергоносіїв до 60%.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Комплексна модель оцінювання енергетичної, екологічної та економічної ефективності енергозберігаючих заходів

Розроблена модель комплексного аналізу ефективності впровадження енергоощадних технологій у будівлях має на меті забезпечення більш глибокого підходу до оцінювання шляхом одночасного врахування кількох аспектів ефективності. Основна ідея полягає у представленні загальної результативності у вигляді тривимірного вектора E , елементами якого є енергетичний (EI), екологічний (EII) та економічний (EIII) ефекти (див. рис. 2.1).

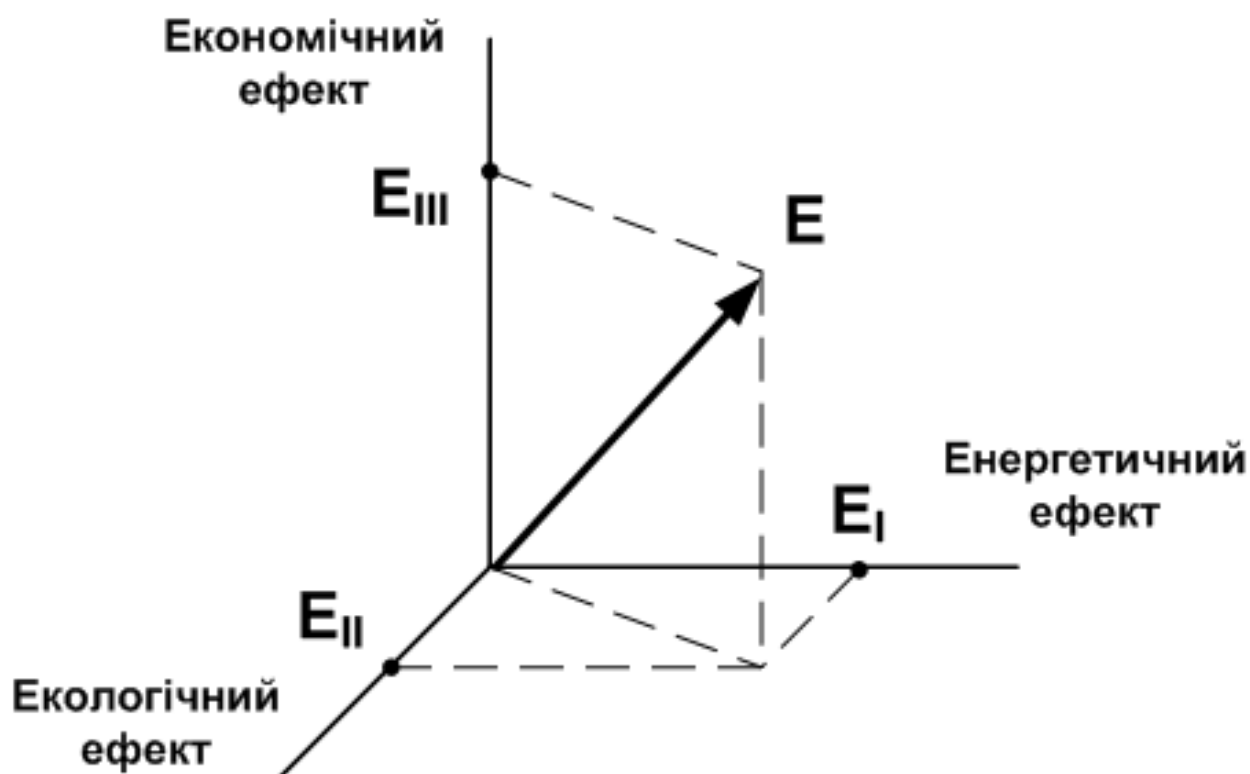


Рисунок 2.1 – Компоненти загальної ефективності впроваджених енергозберігаючих заходів

Критерії для кожного з напрямів наступні:

– *енергетичний ефект E_I* : визначається за абсолютною величиною зекономленої теплової енергії ΔQ (кВт·год) та її відносним значенням δQ (%), обчислюваними за формулами: $\Delta Q = Q_{\text{сум1}} - Q_{\text{сум2}}$ (2.1)

де $Q_{\text{сум1}}$ та $Q_{\text{сум2}}$ – сумарні тепловтрати через конструктивні елементи будівлі до та після реалізації енергоефективних заходів відповідно, кВт·год;

$$\delta Q = \frac{Q_{\text{сум1}} - Q_{\text{сум2}}}{Q_{\text{сум1}}} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

– *екологічний ефект E_{II}* : включає оцінку обсягів зекономленого пального $\Delta M_{\text{п}}$ (кг) або $\Delta V_{\text{п}}$ (м³), а також скорочення викидів парникових газів і шкідливих домішок – $\Delta M_{\text{зр}}$ (кг):

$$\Delta M_n = 3,6 \cdot \frac{\Delta Q}{Q_n} \quad (2.3)$$

де Q_n – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг (природний газ: $Q_n = 36,7$ МДж/кг);

$$\Delta V_n = \frac{\Delta M_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}} \quad (2.4)$$

де ρ_n – густина палива, кг/м³ (природний газ: $\rho_n = 0,73$ кг/м³);

$$\Delta M_{\text{зр}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot K_{\text{зр}} \cdot \Delta Q \quad (2.5)$$

де $K_{\text{зр}}$ – коефіцієнт емісії забруднюючої речовини, г/ГДж ($K_{\text{CO}_2} = 58,7$ кг/ГДж; $K_{\text{NO}_x} = 0,064$ кг/ГДж) [12];

– *економічного ефекту E_{III}* : зменшення плати за кількість теплової енергії, спожитої за опалювальний період – $\Delta C_{\text{оп}}$ (грн) та за паливо – $\Delta C_{\text{п}}$ (грн):

$$\Delta C_{\text{оп}} = 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot c_{\text{оп}} \cdot \Delta Q \quad (2.6)$$

де $c_{оп}$ – вартість одиниці теплової енергії згідно встановлених тарифів [13], грн/Гкал;

$$\Delta C_n = 10^{-3} \cdot c_n \cdot \Delta V_{п} \quad (2.7)$$

де $c_{п}$ – вартість палива згідно встановлених тарифів [14], грн/т або грн/тис. м³.

Зазначена модель дозволяє гнучко адаптувати структуру оцінювання, додаючи нові критерії до складу загального показника ефективності.

Наприклад, до економічної складової можна включити показник періоду окупності початкових інвестицій [15, 19].

Побудована модель включає аналіз трьох основних напрямів:

- енергетичний аспект – оцінюється за скороченням споживання теплової енергії в абсолютному та відносному вираженні протягом опалювального сезону;
- екологічний аспект – базується на зниженні споживання палива та відповідному скороченні шкідливих викидів, насамперед CO₂ і NO_x;
- економічний аспект – розраховується за обсягом скорочення фінансових витрат на енергію та паливо у місячному й річному розрізі.

2.2 Основи проектування та застосування сонячних енергосистем

Сонячна енергія є одним із найбільш перспективних і доступних джерел енергії. Попит на її використання зростає через постійне підвищення вартості традиційних енергоносіїв (зокрема газу і нафти), актуальність питань збереження довкілля, а також доступність і безкоштовність сонячної енергії. За даними Держстату України, у 2013 році частка сонячної енергії у структурі генерації з ВДЕ становила 3,6%. Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 року, передбачалося досягти 200 тис. т н.е. теплової енергії за рахунок сонячного ресурсу. Потенціал використання геліосистем визначається, передусім, рівнем інсоляції та кількістю сонячних

днів. В Україні цей показник варіюється від 800 до 1400 кВт·год/м² на рік залежно від регіону (рис. 2.2) [5].

При використанні геліосистеми для опалення, варто збільшити кут її нахилу для рівномірного розподілу енергії протягом року. Вплив орієнтації установки на її ефективність зображено на (рис. 2.3) [10].

Найбільша інсоляція спостерігається в Одеській, Херсонській, Миколаївській, Запорізькій, Донецькій областях та в АР Крим, що створює сприятливі умови для максимальної продуктивності сонячних колекторів.

Сонячний колектор – пристрій, що акумулює теплову енергію, отриману від сонячного випромінювання.

Інтенсивність сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, становить близько $1.7 \cdot 10^{14}$ кВт. За один час Земля отримує стільки енергії, скільки вистачило б для забезпечення глобального споживання протягом року. Типове значення сонячної сталої – 1367 Вт/м². Проте через атмосферні втрати до земної поверхні доходить не більше 1000 Вт/м².

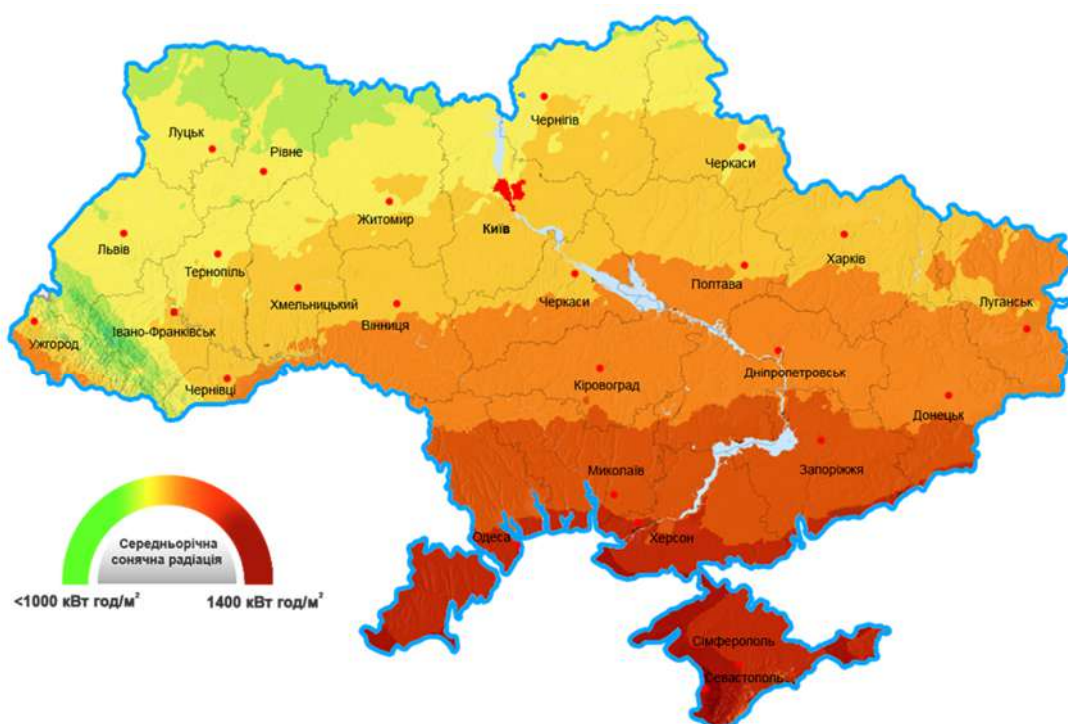


Рисунок 2.2 – Середньорічні показники сонячного випромінювання в Україні

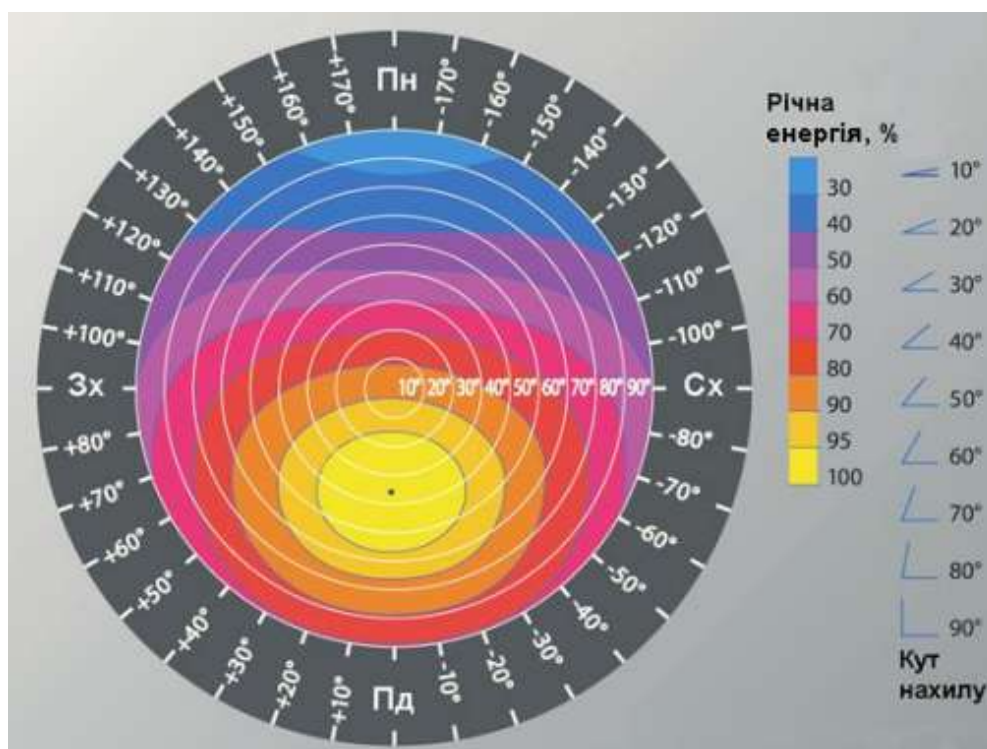


Рисунок 2.3 – Вплив орієнтації геліосистеми на отриману енергію:
Сонячне випромінювання включає: 7 % – ультрафіолет, 47 % – видиме світло, 46 % – інфрачервоне випромінювання.

Системи сонячного теплопостачання (ССТ) слугують джерелом тепла для локальних та індивідуальних потреб у житловому та комунальному секторі. Їх можна використовувати як сезонно, так і протягом року. У зимовий період ССТ потребує підтримки іншими джерелами енергії. Типова конфігурація ССТ включає: сонячні колектори, регулятор, накопичувальний бак, теплообмінник, розширювальну ємність, насосну групу та додаткове джерело нагріву (наприклад, ТЕН) (рис. 2.4).

Плоский колектор — теплоізована панель із поглиначем (зазвичай мідним або алюмінієвим), покритим селективним шаром. Його захищає скло спереду, яке сприяє зменшенню втрат тепла, а ззаду і з боків — ізоляційні матеріали (рис. 2.6).

Плоскі сонячні колектори мають наступні переваги і недоліки:

Переваги плоских колекторів:

- нижча вартість (до 500 \$/м²);

- простота монтажу та обслуговування;
- універсальність використання;
- довговічність (до 50 років);
- можливість монтажу під будь-яким кутом.

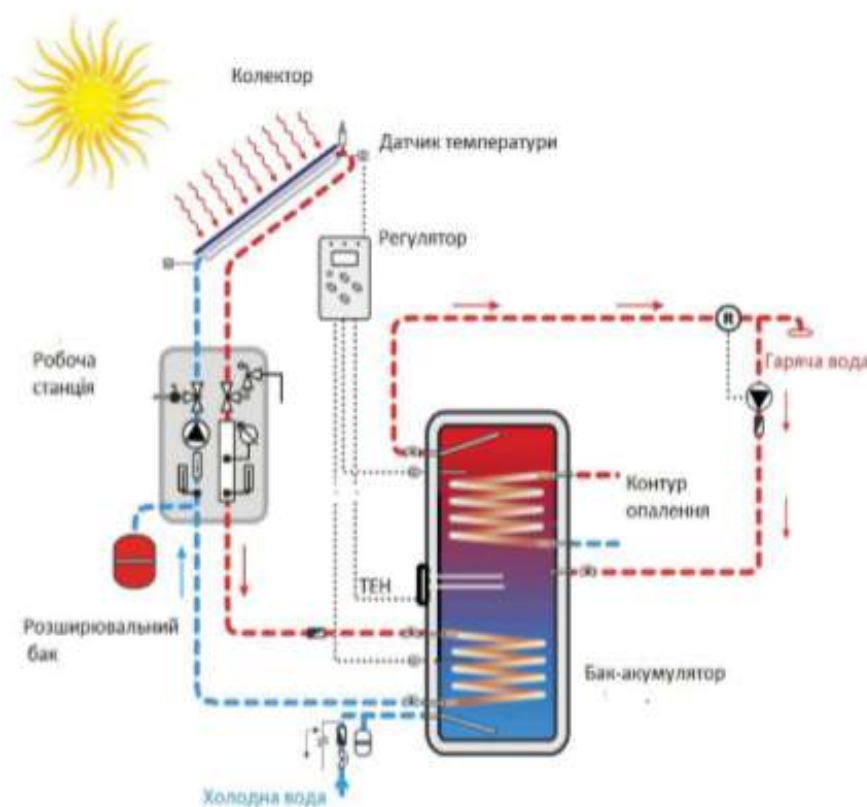


Рисунок 2.4 – Структура системи сонячного теплопостачання



Рисунок 2.5 – Основні типи сонячних колекторів

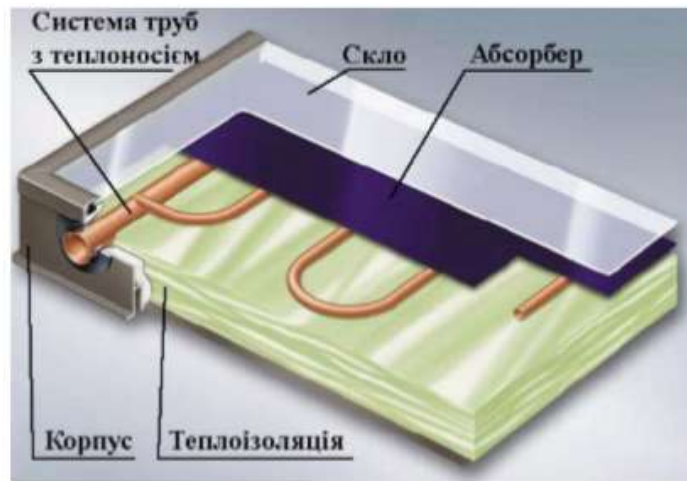


Рисунок 2.6 – Пристрій плоского сонячного колектора

Недоліки:

- знижена ефективність у холодну пору року;
- нижчий ККД (60–80%);
- великі втрати тепла;
- пошкодження панелі виводить з ладу весь модуль.

Вакуумні колектори (рис. 2.7) можуть нагрівати теплоносії до 250–300 °С. Завдяки вакууму між трубками зменшуються теплові втрати. Вакуум слугує ізолятором, що дозволяє зберігати до 95 % тепла. Трубки можуть бути коаксіальними, U-подібними або з технологією "Heat Pipe".

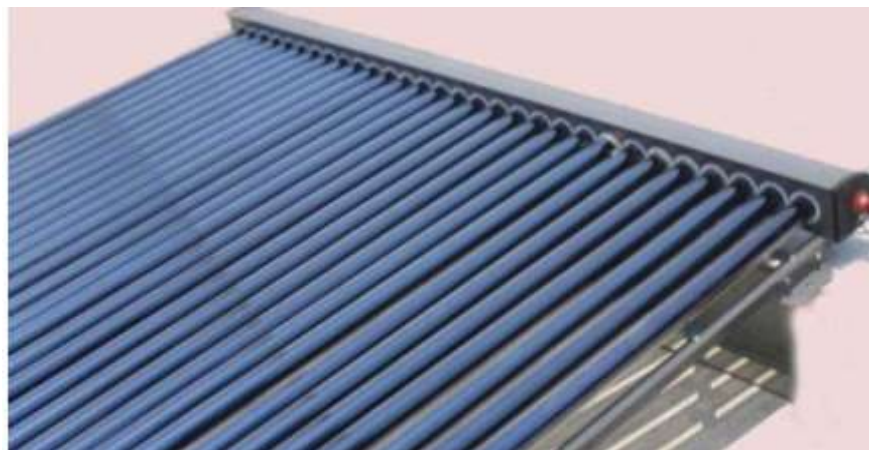


Рисунок 2.7 – Вакуумний сонячний колектор

Сонячна теплова труба за своєю будовою подібна до звичайних побутових термосів (рис. 2.8).

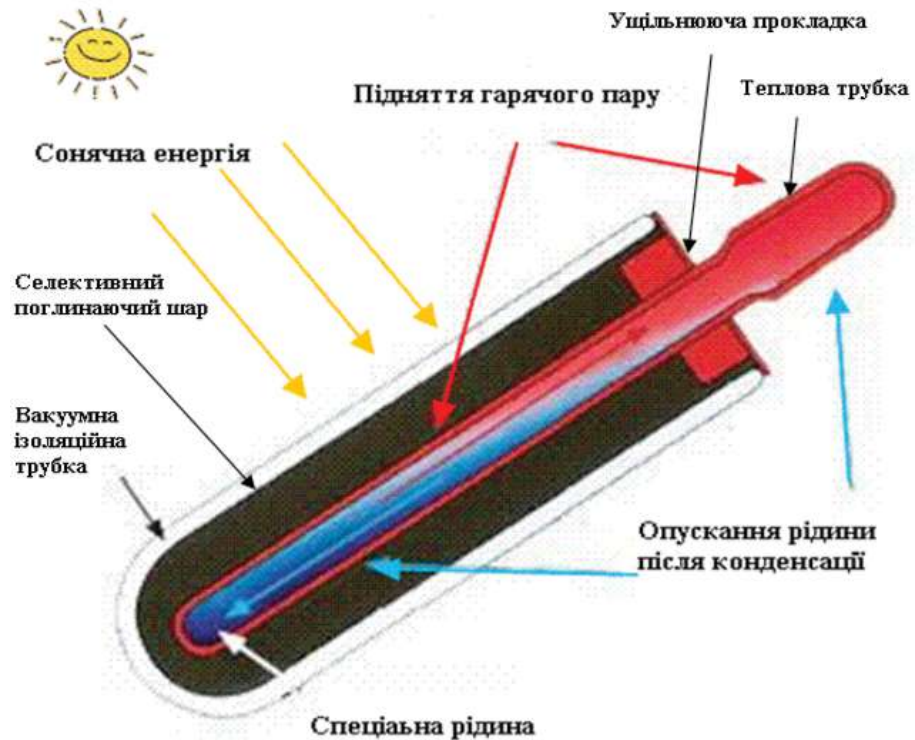


Рисунок 2.8 – Конструкція вакуумної трубки

Вакуумні сонячні колектори мають наступні переваги і недоліки:

Переваги вакуумних колекторів:

- стабільна робота взимку;
- висока продуктивність навіть за хмарної погоди;
- легкість ремонту (можлива заміна окремих трубок);
- ефективність при обмерзанні чи снігопадах;
- тривалий термін служби;
- антикорозійний теплозбірник.

Недоліки:

- висока вартість (до 1000 \$/м²);
- зниження ефективності при косому куті падіння сонячного світла.

Параболічний колектор-концентратор.

Збільшити робочі температури теплоносія до діапазону 120–250 °С можна шляхом використання у сонячних колекторах спеціальних концентруючих елементів, зокрема параболоциліндричних дзеркал, розташованих під абсорбційною частиною установки.

Такі пристрої здатні забезпечити значно вищі температурні показники і застосовуються переважно для отримання енергії в районах із потужним прямим сонячним випромінюванням, що обмежує їх ефективне впровадження на території України. Для досягнення підвищеної ефективності роботи системи зазвичай потребують механізмів автоматичного слідування за положенням Сонця. Найвищої ефективності ці колектори досягають при використанні дзеркальних поверхонь різних конфігурацій (рис. 2.9).

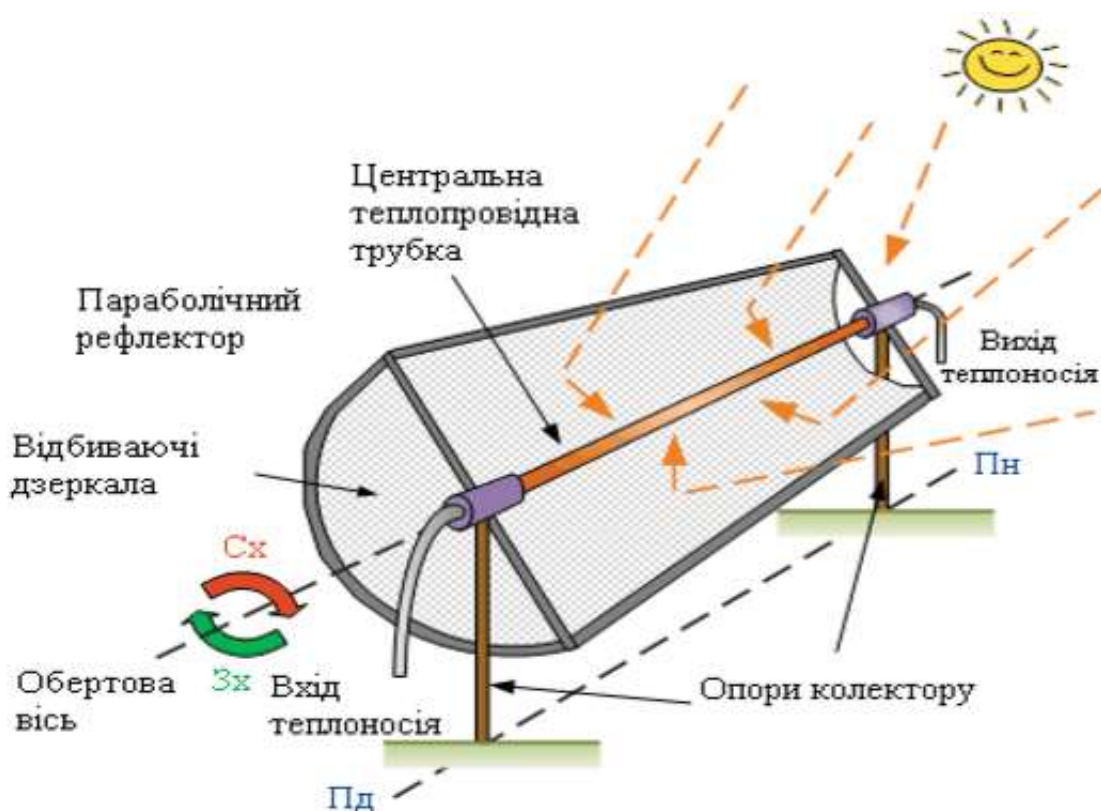


Рисунок 2.9 – Будова параболічного колектора-концентратора

Параболічні концентруючі колектори мають низку сильних і слабких сторін:

Переваги:

- здатні досягати високих температур теплоносія.

Недоліки:

- ефективність різко знижується за умов хмарності, оскільки вони орієнтовані на пряме сонячне світло;
- значна складність і вартість монтажу, зумовлена потребою в рухомих механізмах для зміни орієнтації на Сонце;
- оптимальні умови роботи досягаються лише в посушливих кліматичних зонах із високою сонячною активністю..

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1 Загальний опис будівлі навчального закладу як об'єкта дослідження

У якості об'єкта аналізу обрано будівлю навчального закладу, що знаходиться за адресою: 61153, Харківська область, м. Харків, просп. Тракторобудівників, 55 (рис. 3.1–3.3).

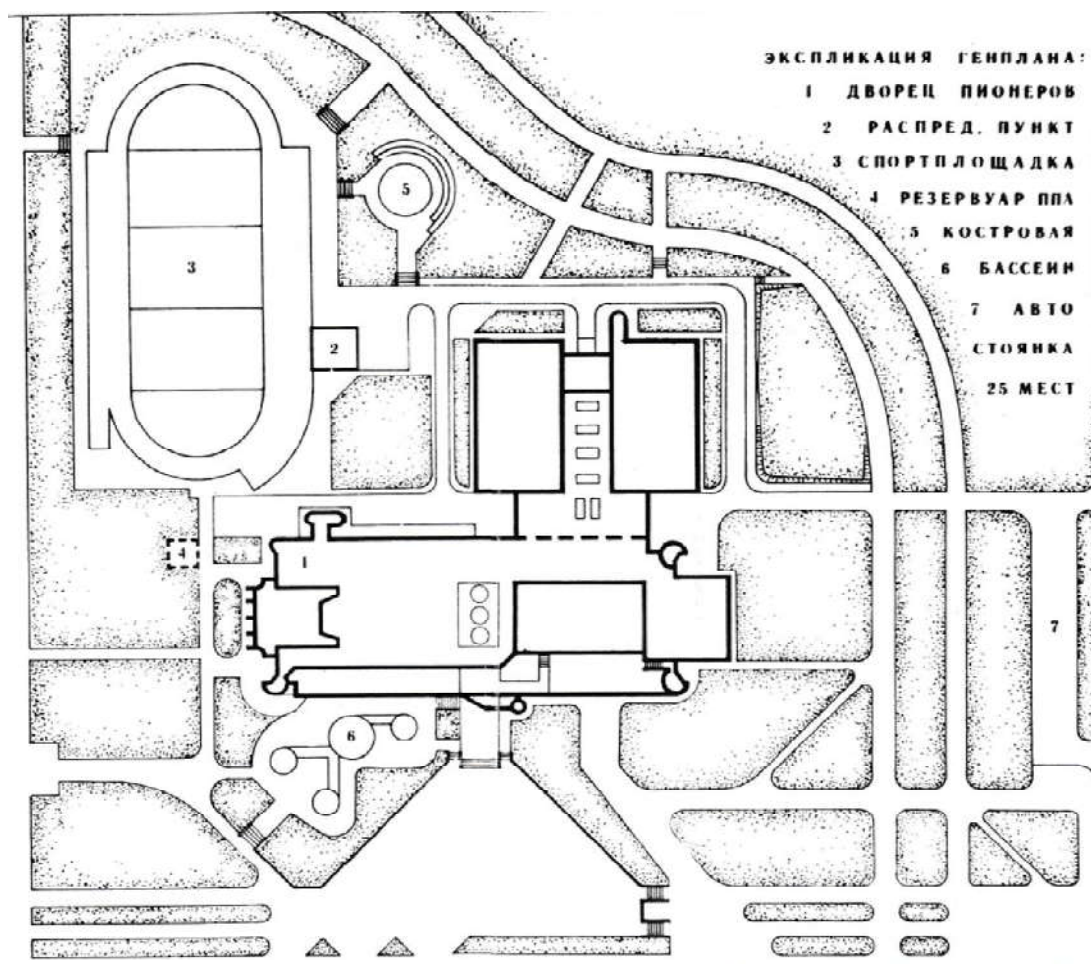


Рисунок 3.1 – План розміщення об'єкта з урахуванням прилеглої інфраструктури



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд будівлі: при введенні в експлуатацію (зверху)
та під час технічного огляду (знизу)

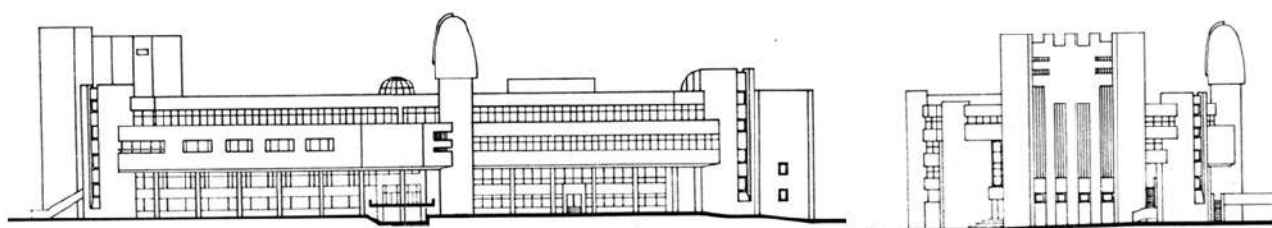


Рисунок 3.3 – Головний фасад (ліворуч) та бічний фасад (праворуч)

Основний фасад будівлі зорієнтований на схід (рис. 3.4).

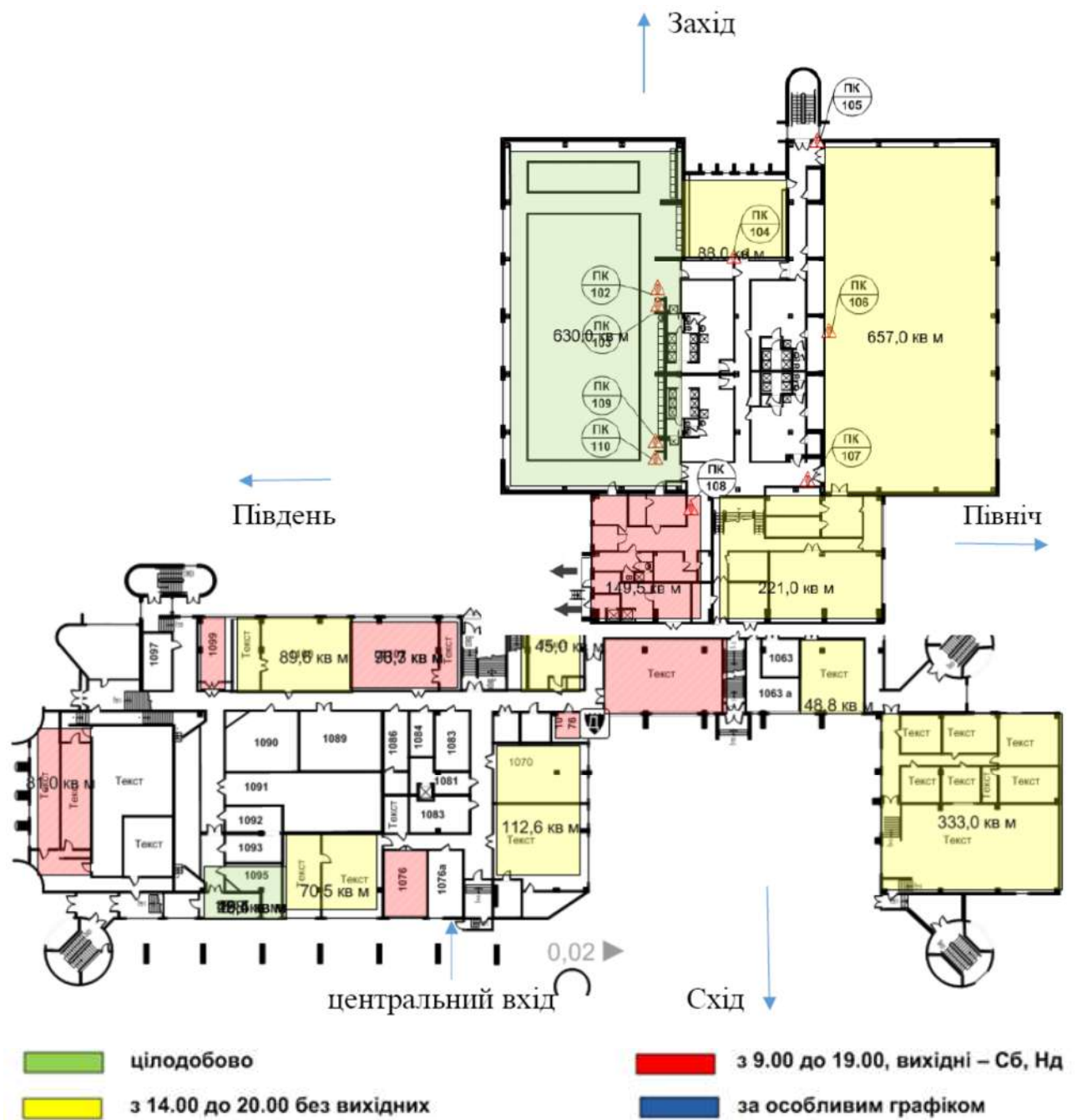


Рисунок 3.4 – План першого поверху із зазначенням сторін світу

У будівлі використовуються такі види енергоресурсів:

- теплова енергія (для опалення та ГВП);
- електроенергія.

Зведення будівлі завершено у 1993 році. Конструктивно об'єкт включає два корпуси – А та Б, із складною багаторівневою Т-подібною формою (рис. 3.5).

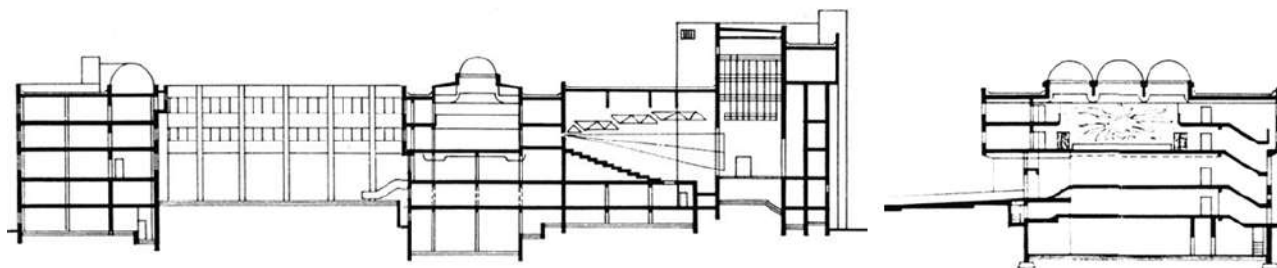


Рисунок 3.5 – Поздовжній та поперечний перерізи будівлі

Згідно проектної документації:

- будівельний об'єм становить 80 375 м³;
- загальна площа – 15 159 м²;
- корисна площа – 13 712 м²;
- нормативна витрата теплової енергії на 1 м² загальної площі – 183 Вт/м².

3.2 Результати обстеження будівлі: зовнішній, внутрішній огляд та тепловізійна діагностика

Корпус А є чотириповерховим. Фундамент виконаний із залізобетонних паль із монолітним ростверком. Стіни підвального рівня зібрані з бетонних блоків згідно ГОСТ 13579-78 [21]. Підвальне приміщення охоплює всю площу корпусу. Перекриття між неопалюваним підвалом та основною частиною будівлі складається з багатопустотних плит та шару керамзитобетону, який зверху вкритий ДСП. У класах і кабінетах підлога з паркету із твердих порід дерева, а у холах і санітарних зонах – з кольорового бетону. Зовнішні стіни викладені з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині та мають облицювання із шліфованого інкерманського каменю. Покрівля плоска, з внутрішнім водостоком, складається із залізобетонних плит серій ИИ-04, ИИ 03-02, 1-141-1 та інших, з прошарком вулканічного шлаку

щільністю 750 кг/м³, цементно-піщаною стяжкою і 2-3 шарами покрівельного руберойду.

Корпус Б має різну поверховість – один і два поверхи. Фундамент споруди виконаний у вигляді залізобетонних паль із монолітним залізобетонним ростверком. Стіни підвального рівня зведені з бетонних блоків відповідно до вимог ГОСТ 3579-78. Підвал займає площу під усім корпусом. Між неопалюваним підвальним приміщенням та опалюваною частиною будівлі облаштовано перекриття з багатопустотних залізобетонних плит, утеплене шаром керамзитобетону, поверх якого укладено шар ДСП та настил із паркету з твердих порід дерева в навчальних аудиторіях і кабінетах, а також покриття з кольорового бетону в коридорах, холі та санітарних вузлах. Зовнішні стіни виконані з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині, облицьовані ззовні шліфованим інкерманським каменем. Стіни басейну додатково утеплені зовнішнім шаром пінополістиролу з цементною штукатуркою поверх нього. Покрівля, за винятком басейну, плоска, суміщена з внутрішнім водовідведенням, складена з пустотних залізобетонних плит за серіями ІІІ-04, ІІІ 03-02, 1-141-1, 1-141-183, а також плит за серією 3-086-2 (плоскі) та ІІІ-04, 1-465-5 (ребристі). Покриття включає шар вулканічного шлаку щільністю 750 кг/м³, цементно-піщану стяжку і два-три шари покрівельного руберойду.

Світлопрозорі елементи (вікна) представлені: 459 м² конструкціями з ПВХ-профілів з однокамерними склопакетами 4М1-18-4М1 (повітря як наповнювач); 1168,7 м² – двокамерними склопакетами 4К-10-4М1-10-4К (також із повітрям між шарами); 270 м² – zenітні ліхтарі з ПВХ-профілів з однокамерними склопакетами того ж типу; 82,5 м² – вікна з подвійним склінням у металевих рамах з розділенням; 10 м² – виконані з пустотілих склоблоків розмірами 194×194×98 мм. Зовнішні двері включають: 28,5 м² дерев'яних; 10,6 м² – з ПВХ-профілю з однокамерним склопакетом 4М1-18-4М1; 18,0 м² – металеві з 80% площі скління; 4,2 м² – утеплені металеві двері.

Відповідно до положень ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [16], тривалість опалювального періоду у місті Харків становить 179 діб, середнє значення

температури зовнішнього повітря за цей час складає $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а розрахункова температура сягає $-23,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Будівля отримує тепло для опалення та гарячого водопостачання з міських тепломереж. Згідно з проектом, загальна приєднана теплова потужність об'єкта становить $2,784\text{ Гкал/год}$, у тому числі:

- на опалення – $0,834\text{ Гкал/год}$;
- вентиляцію – $1,50\text{ Гкал/год}$;
- гаряче водопостачання – $0,45\text{ Гкал/год}$.

Теплоносій подається від джерела згідно з температурним графіком: за проектом – $150-70$, фактичні показники – $95-70$.

Внутрішня система опалення в будівлі розрахована на роботу за температурного режиму $105-70$. У підвальному приміщенні корпусу А встановлено елеваторний вузол із системою автоматичного регулювання температури теплоносія на основі показників внутрішнього клімату. Опалення реалізовано у вигляді трьох тупикових однотрубних систем з вертикальними П-подібними стояками і горизонтальним прокладанням труб з нижньою розводкою. Встановлено конвектори типу «Комфорт», без термостатичних регуляторів.

Гаряче водопостачання здійснюється незалежно від системи опалення, через водоводяні пластинчасті теплообмінники, розміщені в теплових пунктах будівлі. Тепла вода використовується для побутових потреб у душових і санвузлах, а також для підігріву води в басейні.

На території об'єкта також розташована автономна газова котельня, призначена виключно для цієї будівлі. Вона є окремою спорудою, обладнана двома газовими котлами Riello з пальниками RS-190 (рік випуску – 2006), які наразі не функціонують. Постачання електроенергії здійснюється від трансформаторної підстанції АТ «Харківобленерго» з напругою $0,4\text{ кВ}$. Власних трансформаторів або зовнішніх мереж на балансі об'єкта немає.

Після аналізу технічної документації, даних теплопостачання, систем теплоспоживання, техпаспорта об'єкта та результатів огляду, сформовано набір вхідних параметрів для подальшої оцінки енергозберігаючих рішень. До них

увійшли: геометричні та теплоізоляційні характеристики конструктивних елементів, трубопроводів і вузлів індивідуального теплопостачання; усереднені показники теплоспоживання; відомості про джерело теплопостачання та його потужність згідно техпаспорту.

Тепловізійне обстеження досліджуваного об'єкта було здійснене приладом «Testo 871» 20 грудня 2021 року з 10:00 до 11:00. Під час обстеження температура зовнішнього повітря становила $-7,5^{\circ}\text{C}$, погодні умови – малохмарна погода.

Зовнішнє облицювання стін виконано з керамічної плитки. У приміщенні басейну – оштукатурені стіни, пофарбовані акриловою фарбою світлих тонів. Середня температура поверхні зовнішніх стін становила -7°C . У середині приміщень під час обстеження температура коливалася в межах $+17...+21^{\circ}\text{C}$.

На (рис. 3.6–3.9) представлено термограми 1–4 з відповідними фотознімками ділянок конструкцій, де зафіксовано теплові аномалії, що вказують на втрати тепла. Кожна термограма має шкалу температур для наочного представлення діапазону показників.

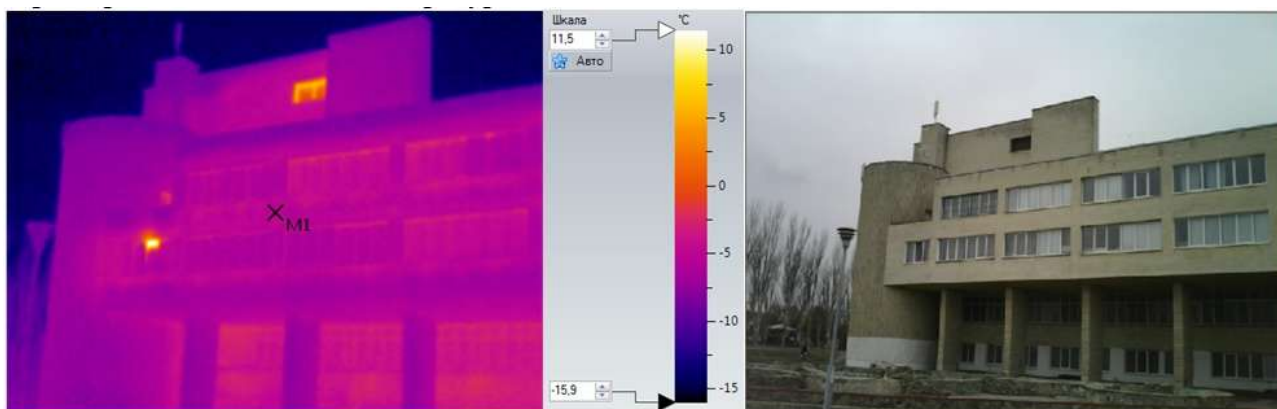


Рисунок 3.6 – Термограма №1 – права частина фасаду біля центрального входу.

Зафіксовано тепловтрати через неутеплене слухове вікно– $0,31$ Гкал/рік.

Усі термограми стали основою для розрахунку понаднормативних втрат теплової енергії відповідно до методики, викладеної в табл. 3.1.

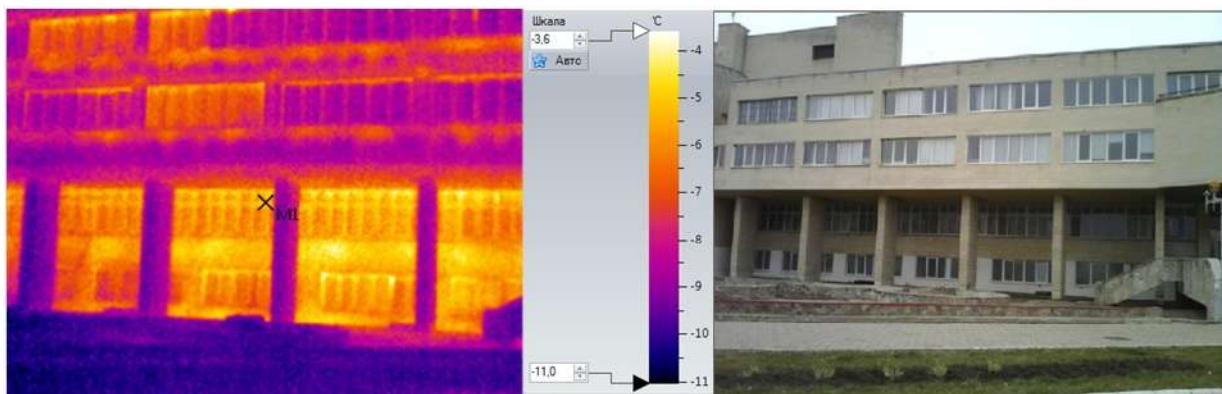


Рисунок 3.7 – Термограма №2 – права частина фасаду. Тепловтрати – 1,60 Гкал/рік.

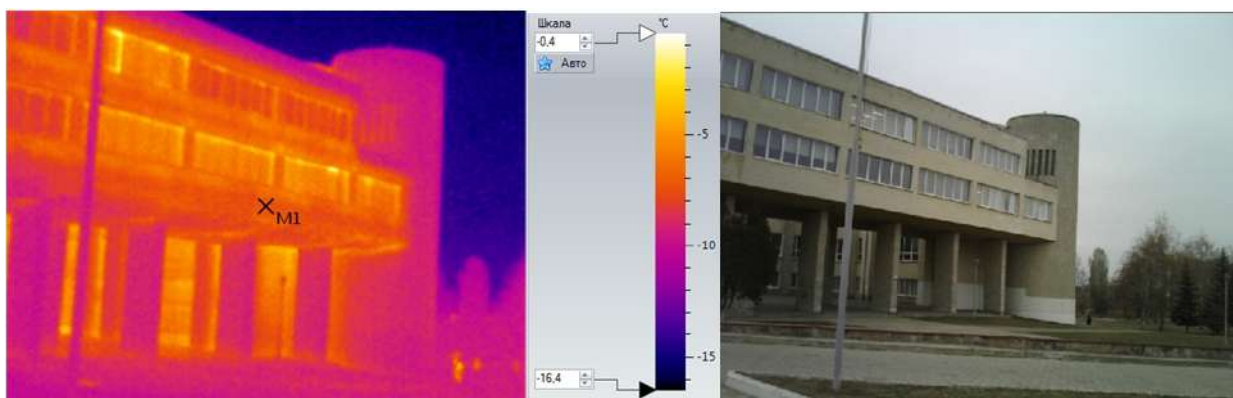


Рисунок 3.8 – Термограма №3 – ліва частина фасаду біля центрального входу.

Теплові втрати через температурні плями – орієнтовно 0,77 Гкал/рік.

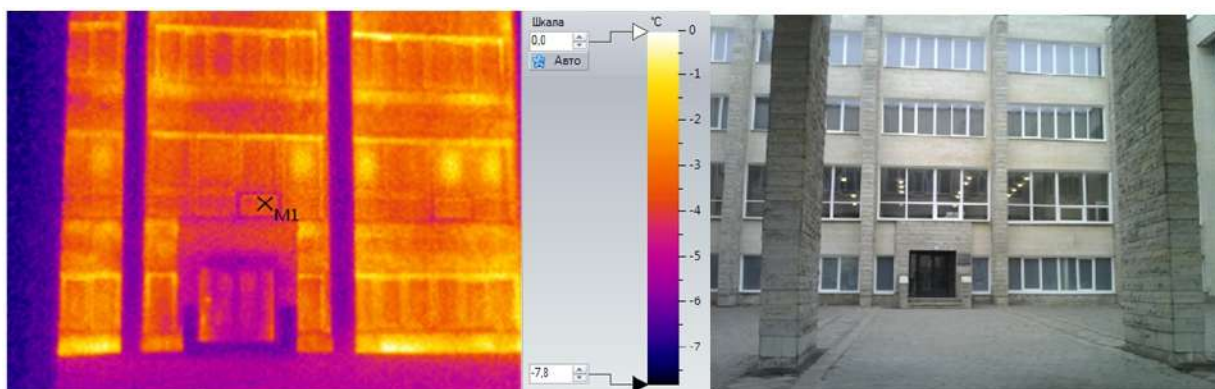


Рисунок 3.9 – Термограма №4 – фасад у внутрішньому дворі ліворуч від центрального входу. Зафіксовано 6,65 Гкал/рік тепловтрат.

Таблиця 3.1 – Підсумкові результати тепловізійного аналізу об'єкта

№ термограми	Вид поверхні (Вк - вікно; Ст - стіна)	Площа виявленої ділянки F, м ²	коефіцієнт тепловіддачі а, Вт/(м ² *°C)	середня температура зовнішньої поверхні виявлена за допомогою тепловізора T ⁰ C	температура зовнішнього повітря під час обстеження t ⁰ C	Густина теплового потоку через дефектну ділянку під час обстеження q, Вт/м ²	Кількість годин опаловального сезону, годин	температура внутрішнього повітря під час обстеження t ⁰ C	Густина теплового потоку через дефектну ділянку Q, Вт/рік	розрахункова теоретична густина теплового потоку q під час обстеження, Вт/м ²	розрахункова теоретична густина теплового потоку q під час обстеження Q, Вт/рік	Надмірна густина теплового потоку Q, Вт/рік	Надмірна густина теплового потоку Q, Гкал/рік	Призначення приміщення за виявленою дефектною зоною
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Будівля КЗ ХПДЮТ ХМР ХО														
1	Стіна	0,4	23,0	4,1	-7,5	266,8	4296	17,0	401160	29,1	43775	357386	0,31	техповерх
2	Стіна	12,6	23,0	-5,0	-7,5	57,5	4296	17,0	3112452	29,1	1575887	1536565	1,32	кабінети
2	Стіна	4,00	23,0	-5,4	-7,5	48,3	4296	17,0	829987	29,1	500282	329706	0,28	кабінети
3	Стіна	14,4	23,0	-6,0	-7,5	34,5	4296	17,0	2134253	29,1	1801014	333239	0,29	кабінети
3	Стіна	5,0	23,0	-5,1	-7,5	55,2	4296	17,0	1185696	29,1	625352	560344	0,48	кабінети
4	Стіна	13,7	23,0	-2,1	-7,5	124,2	4296	17,0	7299145	29,1	1710963	5588181	4,81	кабінети
4	Стіна	5,0	23,0	-1,9	-7,5	128,8	4296	17,0	2766624	29,1	625352	2141272	1,84	кабінети
5	Стіна	7,2	23,0	-1,1	-7,5	147,2	4296	17,0	4553073	29,1	900507	3652566	3,14	коридор
5	Стіна	6,4	23,0	-0,3	-7,5	165,6	4296	17,0	4553073	29,1	800451	3752622	3,23	коридор
5	Стіна	3,2	23,0	0,5	-7,5	184,0	4296	17,0	2529485	29,1	400225	2129259	1,83	коридор
7	Стіна	1,7	23,0	0,8	-7,5	190,9	4296	17,0	1394181	29,1	212620	1181561	1,02	техприміщ
8	Стіна	1,7	23,0	-3,1	-7,5	101,2	4296	17,0	739084	29,1	212620	526464	0,45	техприміщ
9	Вікна	0,42	23,0	-2,1	-7,5	124,2	4296	17,0	224097	42,2	76120	147977	0,13	техприміщ
9	Стіна	0,26	23,0	-1,5	-7,5	138,0	4296	17,0	154140	29,1	32518	121622	0,10	техприміщ
10	Стіна	2,4	23,0	-2,1	-7,5	124,2	4296	17,0	1280552	29,1	300169	980383	0,84	кабінет
11	Стіна	2,2	23,0	-3,0	-7,5	103,5	4296	17,0	978199	29,1	275155	703044	0,60	кабінет
12	Стіна	4,5	23,0	-5,5	-7,5	46,0	4296	17,0	889272	29,1	562817	326455	0,28	кабінет
12	Стіна	3,9	23,0	-5,8	-7,5	39,1	4296	17,0	655097	29,1	487775	167322	0,14	кабінет
13	Вікна	2,4	23,0	-2,2	-7,5	121,9	4296	17,0	1256838	42,2	434970	821868	0,71	техприміщ
14	Стіна	7,2	23,0	-3,0	-7,5	103,5	4296	17,0	3201379	29,1	900507	2300872	1,98	техприміщ
15	Стіна	35,0	23,0	-3,9	-7,5	82,8	4296	17,0	12449808	29,1	4377465	8072343	6,94	спортзал
16	Стіна	48,0	23,0	-2,9	-7,5	105,8	4296	17,0	21816806	29,1	6003380	15813426	13,6	спортзал
17	Вікна	24,0	23,0	-1,3	-7,5	142,6	4296	17,0	14702630	42,2	4349700	10352930	8,9	спортзал
18	Стіна	7,0	23,0	-3,2	-7,5	98,9	4296	17,0	2991116	29,1	880496	2110620	1,82	техприміщ
19	Стіна	36,0	23,0	-4,4	-7,5	71,3	4296	17,0	11026973	29,1	4502535	6524438	5,61	басейн
20	Стіна	0,55	23,0	-4,0	-7,5	80,5	4296	17,0	190205	29,1	68789	121417	0,10	спортзал
21	Стіна	0,6	23,0	-1,3	-7,5	142,6	4296	17,0	367566	29,1	75042	292524	0,25	басейн

Продовження табл. 3.1

23	Стіна	0,9	23,0	-1,7	-7,5	133,4	4296	17,0	515778	29,1	112563	403214	0,35	басейн
24	Стіна	6,2	23,0	-2,6	-7,5	112,7	4296	17,0	3001787	29,1	775437	2226350	1,91	басейн
25	Стіна	11,0	23,0	1,6	-7,5	209,3	4296	17,0	9890681	29,1	1375775	8514906	7,32	басейн
25	Стіна	66,0	23,0	-4,8	-7,5	62,1	4296	17,0	17607586	29,1	8254648	9352938	8,0	басейн
25	Вікна	77,0	23,0	-3,9	-7,5	82,8	4296	17,0	27389578	42,2	13955288	13434290	11,6	басейн
26	Стіна	93,6	23,0	-4,8	-7,5	62,1	4296	17,0	24970758	29,1	11706591	13264167	11,4	кабінети
29	Стіна	48,1	23,0	-2,6	-7,5	112,7	4296	17,0	23288058	29,1	6015887	17272170	14,9	кабінети
33	Стіна	1,6	23,0	-0,5	-7,5	161,0	4296	17,0	1106650	29,1	200113	906537	0,78	актовий зал
33	Стіна	16,0	23,0	-1,7	-7,5	133,4	4296	17,0	9169382	29,1	2001127	7168256	6,16	актовий зал
34	Стіна	13,5	23,0	-2,0	-7,5	126,5	4296	17,0	7336494	29,1	1688451	5648043	4,86	актовий зал
35	Вікна	2,8	23,0	3,0	-7,5	241,5	4296	17,0	2904955	42,2	507465	2397490	2,06	актовий зал
36	Стіна	12,0	23,0	-1,4	-7,5	140,3	4296	17,0	7232746	29,1	1500845	5731901	4,93	актовий зал
37	Стіна	9,6	23,0	-1,0	-7,5	149,5	4296	17,0	6165619	29,1	1200676	4964943	4,27	актовий зал
38	Стіна	22,4	23,0	-3,1	-7,5	101,2	4296	17,0	9738516	29,1	2801577	6936939	5,97	актовий зал
40	Стіна	20,0	23,0	-3,1	-7,5	101,2	4296	17,0	8695104	29,1	2501408	6193696	5,33	актовий зал
40	Стіна	0,8	23,0	1,5	-7,5	207,0	4296	17,0	711418	29,1	100056	611361	0,53	актовий зал
41	Стіна	57,6	23,0	-3,3	-7,5	96,6	4296	17,0	23903631	29,1	7204056	16699575	14,4	кабінет
43	Стіна	24,0	23,0	-4,8	-7,5	62,1	4296	17,0	6402758	29,1	3001690	3401068	2,92	техприміщ
45	Стіна	9,6	23,0	-5,8	-7,5	39,1	4296	17,0	1612547	29,1	1200676	411871	0,35	коридор
47	Стіна	3,0	23,0	-3,2	-7,5	98,9	4296	17,0	1274623	29,1	375211	899412	0,77	техприміщ
48	Стіна	6,0	23,0	-2,4	-7,5	117,3	4296	17,0	3023525	29,1	750423	2273102	1,95	басейн
49	Стіна	3,2	23,0	-3,3	-7,5	96,6	4296	17,0	1327980	29,1	400225	927754	0,80	басейн
52	Стіна	3,0	23,0	-4,1	-7,5	78,2	4296	17,0	1007842	29,1	375211	632630	0,54	фойє
53	Стіна	1,6	23,0	-4,1	-7,5	78,2	4296	17,0	537516	29,1	200113	337403	0,29	актовий зал
54	Стіна	4,5	23,0	-4,0	-7,5	80,5	4296	17,0	1556226	29,1	562817	993409	0,85	фойє
55	Стіна	0,1	23,0	3,5	-7,5	253,0	4296	17,0	108689	29,1	12507	96182	0,08	актовий зал
56	Стіна	0,15	23,0	4,0	-7,5	264,5	4296	17,0	170444	29,1	18761	151683	0,13	актовий зал
57	Стіна	4,0	23,0	-4,0	-7,5	80,5	4296	17,0	1383312	29,1	500282	883030	0,76	актовий зал
58	Стіна	4,5	23,0	-3,9	-7,5	82,8	4296	17,0	1600690	29,1	562817	1037873	0,89	фойє
59	Стіна	5,4	23,0	-4,8	-7,5	62,1	4296	17,0	1440621	29,1	675380	765240	0,66	актовий зал
60	Стіна	162,0	23,0	-6,0	-7,5	34,5	4296	17,0	24010344	29,1	20261408	3748936	3,22	актовий зал
61	Стіна	1,8	23,0	-3,1	-7,5	101,2	4296	17,0	782559	29,1	225127	557433	0,48	фойє
63	Стіна	0,8	23,0	-0,8	-7,5	154,1	4296	17,0	529611	29,1	100056	429555	0,37	актовий зал
64	Стіна	0,5	23,0	0,5	-7,5	184,0	4296	17,0	395232	29,1	62535	332697	0,29	актовий зал
64	Стіна	6,0	23,0	-1,6	-7,5	135,7	4296	17,0	3497803	29,1	750423	2747381	2,36	актовий зал
Разом													183,4	Гкал/рік
Разом в грошовому виразі													351 232,15	грн/рік

Загальні втрати енергії на опалення через ці недоліки оцінюються у 183,4 Гкал на рік, що складає приблизно 9,8 % від середньорічного теплового споживання. У таблиці 3.1 наведено дані з 64 термограм.

4 РОЗРАХУНОК РІЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВІДДАЧІ ГЕЛІОСИСТЕМИ ДЛЯ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час розрахунку енергопродуктивності геліосистеми було проведено три основні етапи: оптимізація міжрядкових інтервалів у масиві колекторів, визначення відповідної площі для розміщення системи, вибір типу й кількості сонячних колекторів, а також оцінка річного теплового потенціалу системи для забезпечення потреб об'єкта.

4.1 Оптимізація міжрядкових інтервалів у масиві сонячних панелей

Коректний вибір відстані між рядами панелей є ключовим фактором для забезпечення балансу між мінімізацією втрат через затінення та ефективним використанням площі установки, а також для зменшення довжини електричних комунікацій і, відповідно, зниження втрат на опір. Важливо враховувати, що довжина тіні змінюється впродовж доби. На рис. 4.1 наведено схему, що використовується для аналізу взаємного затінення між рядами панелей.

Для визначення висоти сонця α та проекції тіні L застосовуються такі формули:

$$\alpha = \arccos \left(0.4 \times \cos \left[\frac{2\pi N - 346\pi}{365} \right] \right) \quad (4.1)$$

де N - номер дня року починаючи від першого січня;

$$H^\circ = \arcsin (\sin \alpha \times \cos \delta \times \cos \tau + \cos \alpha \times \sin \varphi) \quad (4.2)$$

де $\tau = (t - 12)\pi/12$ – годинний кут, t – час в годинах від півночі, φ – широта місцевості;

$$L = \frac{h \times \sin \varphi}{\operatorname{tg} H^\circ} \quad (4.3)$$

де h – висота від рівня землі;

L – довжина тіні в напрямку перпендикулярному рядах, $L = L' \cos A_0$

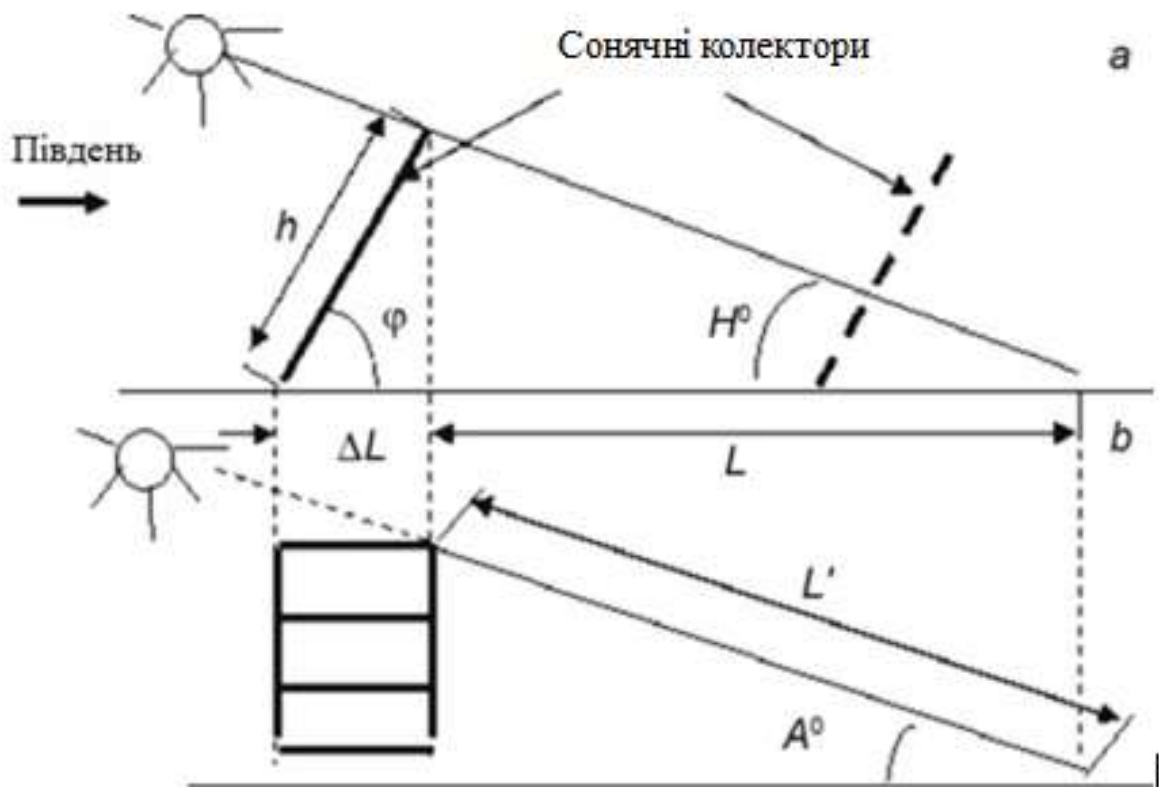


Рисунок 4.1 – Схематичне розташування панелей для визначення затінення:
а – боковий вигляд; б – вигляд зверху (штрихуванням показано зони затінення на відстані менше L).

$$\cos A^\circ = \frac{(\cos \alpha - \sin \theta \times \sin H^\circ)}{\cos \delta \times \cos H^\circ} \quad (4.4)$$

де A° - азимутальний кут, L' – довжина похилої лінії тіні.

Мінімальна відстань L між панелями повинна перевищувати розрахункову довжину тіні в день зимового сонцестояння, яка орієнтовно становить $L \approx 3,8h$, що забезпечує зручність обслуговування обладнання під час експлуатації [17].

Для створення геліосистеми доцільно застосовувати ефективні плоскі сонячні колектори, зокрема моделі SKT 1.0 виробництва Buderus (Німеччина) або їх аналоги (рис. 4.2, [11]).



Рисунок 4.2 – Конструкція та схема підключення колектора SKT 1.0

4.2 Вибір площі встановлення, типу і кількості сонячних колекторів

Застосування геліосистем як додаткового джерела теплозабезпечення передбачає використання сонячних колекторів для трансформації сонячної енергії у теплову, яка надалі передається теплоносієм систем опалення та гарячого водопостачання об'єкта дослідження або інших споруд у разі потреби.

Оптимальним місцем розміщення геліосистеми є рівна ділянка площею 1080 м², розташована з південного боку корпусу Б (рис. 4.3, 4.4). Враховуючи нормативні вимоги [12], на цій площі можна змонтувати 180 колекторів вибраного типу, організованих у три ряди по 60 елементів (3×2×10) (рис. 4.5).

Щоб досягти максимальної енерговіддачі, слід встановлювати панелі під регульованим кутом нахилу в межах 23 ... 73° (табл. 4.1 [13]).

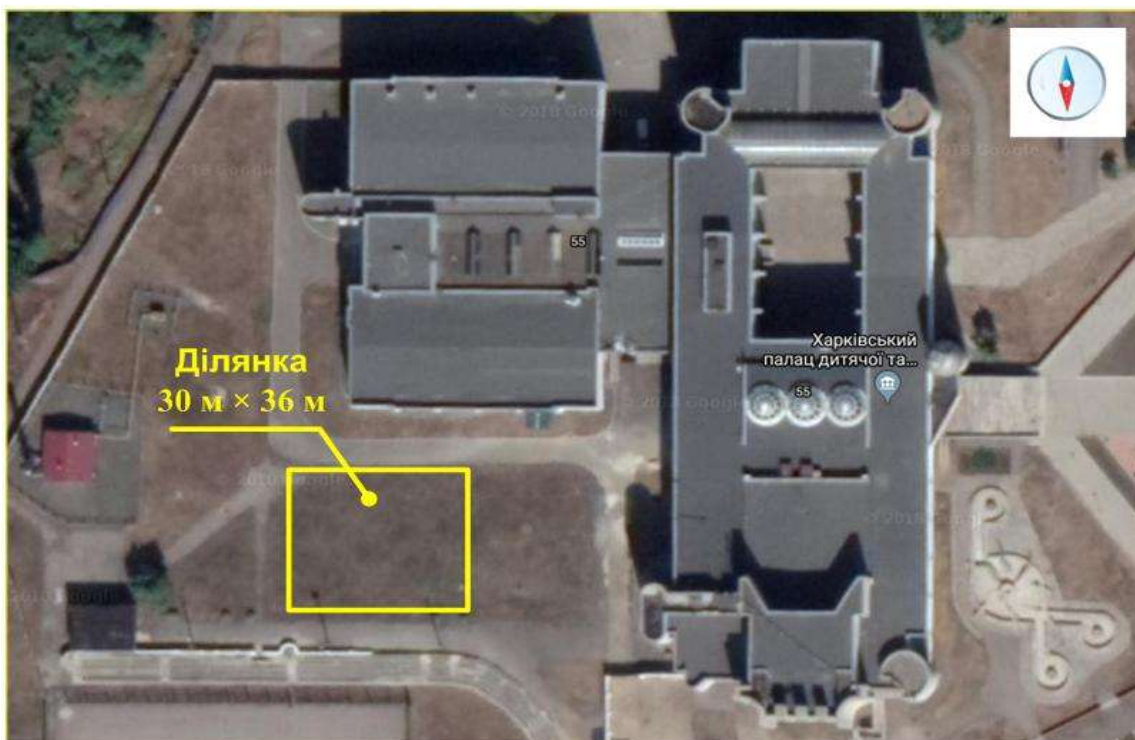
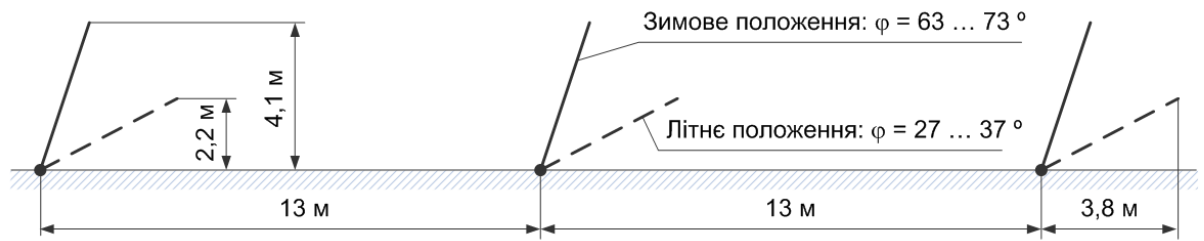


Рисунок 4.3 – Локація запропонованої ділянки для монтажу геліосистеми



Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд місця встановлення

Вид збоку



Вид зверху

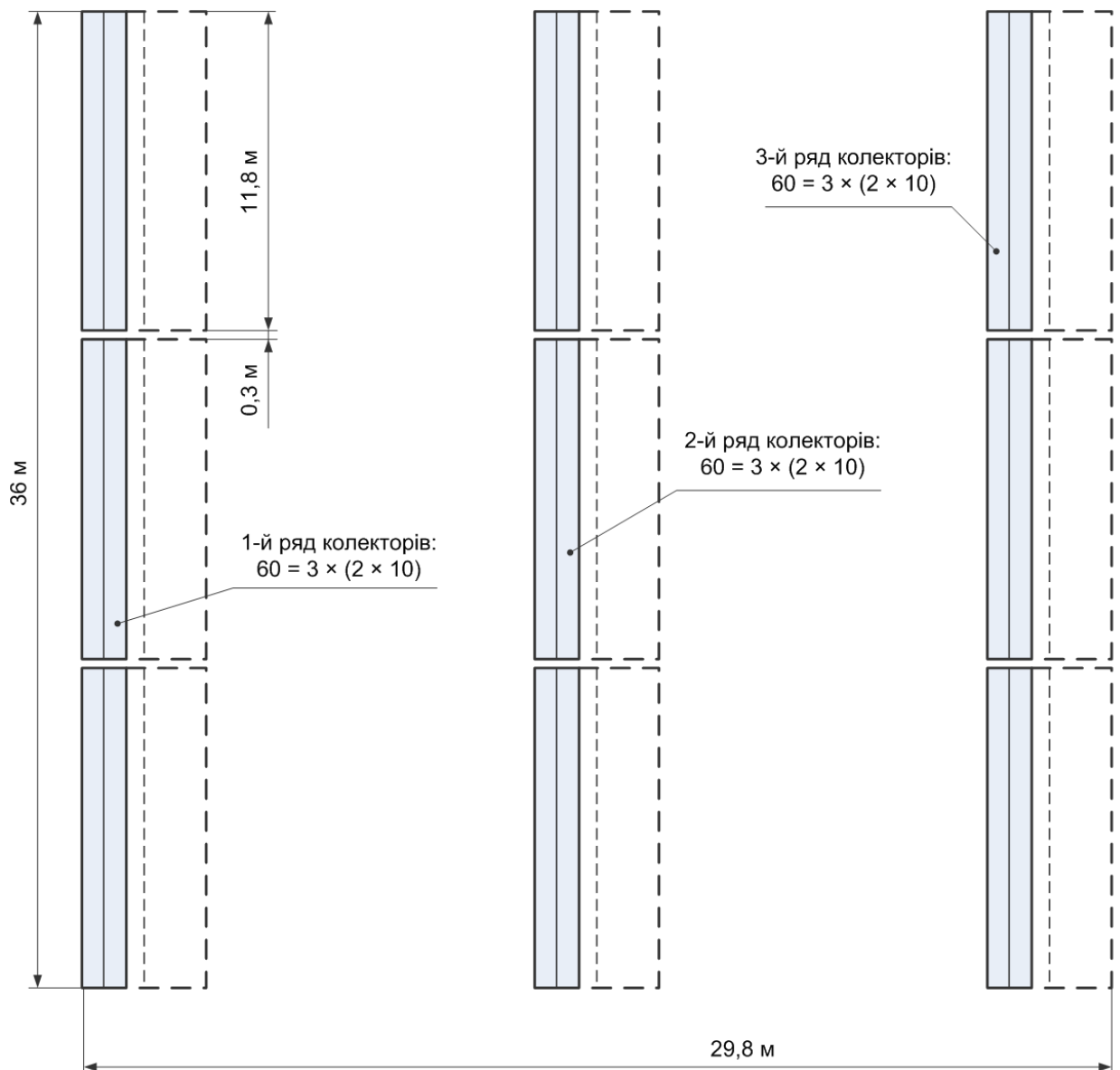


Рисунок 4.5 – Схема розміщення трьох рядів колекторів: $180 = 3 \times 60$ (3×20)
 одиниць поблизу корпусу Б

Таблиця 4.1 – Рекомендовані кути нахилу сонячних колекторів за місяцями року та широтою місцевості

Місяць року	Географічна широта місцевості							
	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°
1. Січень	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°
2. Лютий	58°	59°	60°	61°	62°	63°	64°	65°
3. Березень	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°
4. Квітень	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°
5. Травень	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°
6. Червень	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°
7. Липень	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°
8. Серпень	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°
9. Вересень	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°
10. Жовтень	55°	56°	57°	58°	59°	60°	61°	62°
11. Листопад	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°
12. Грудень	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°

Примітка. Кольором позначено умови експлуатації сонячних теплових колекторів

4.3 Розрахунок щорічної енергетичної віддачі геліосистеми для забезпечення теплопостачання досліджуваної будівлі

Середньомісячна теплова продуктивність геліосистеми Q_m (кВт·год) може визначатись за допомогою формули [12]:

$$Q_m = E_c \cdot s \cdot \eta \cdot N \quad (4.5)$$

де E_c – питома середньомісячна теплопродуктивність сонячних колекторів в кліматичній об'єкту досліджень, кВт·год/(м²·день) (табл. 4.2 [12]);

s – площа поверхні одного сонячного колектору, м² (для колекторів рекомендованого типу складає 2,55 м²);

η – ККД сонячного колектору (для колекторів рекомендованого типу складає 0,80);

N – кількість сонячних колекторів в геліосистемі.

Таблиця 4.2 – Питомі середньомісячні значення теплопродуктивності сонячних колекторів – E_c , кВт·год/(м²·день)

Місяць року												Рік
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26

На основі проведених розрахунків середньомісячної та загальної річної теплопродуктивності геліосистеми, яка передбачається до встановлення на рекомендованій території (рис. 4.6), встановлено, що її річний потенціал теплогенерації становить 376,7 Гкал. Це відповідає приблизно 20,7% від річного споживання теплової енергії досліджуваною будівлею.

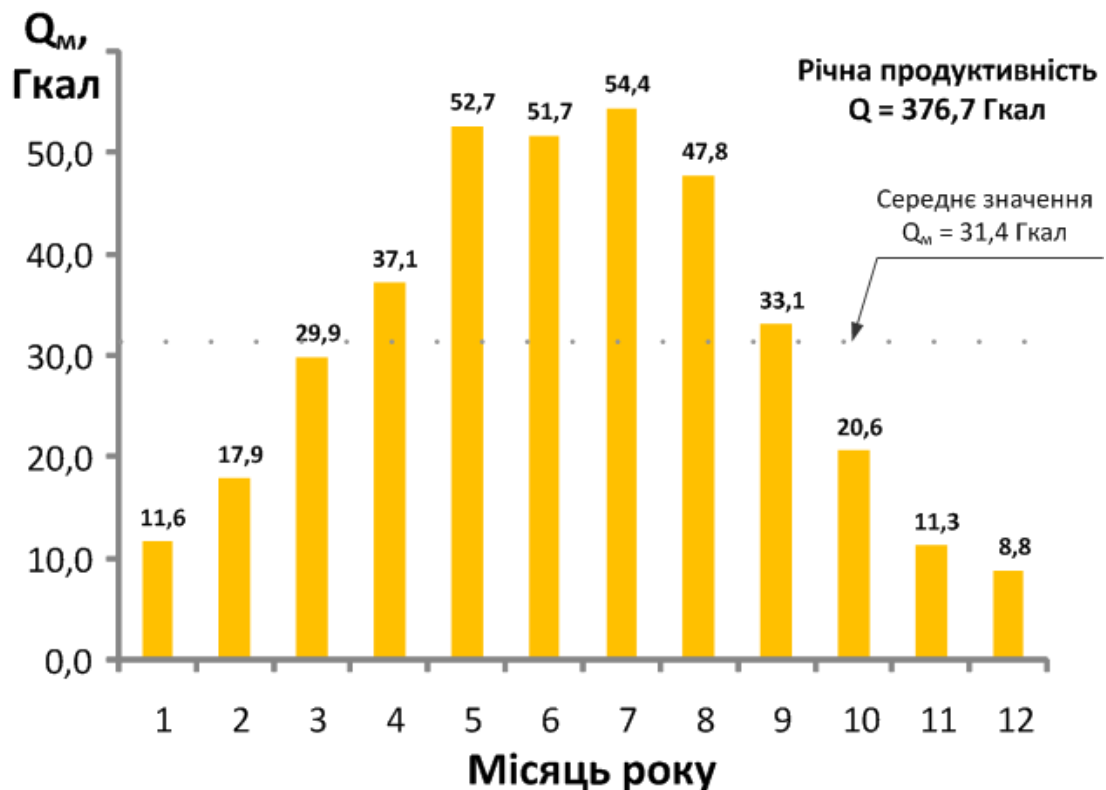


Рисунок 4.6 – Графік місячної теплопродуктивності геліосистеми, сформованої з 180 сонячних колекторів типу SKT 1.0

У разі необхідності існує можливість підвищення теплової продуктивності геліосистеми у 2,3 раза — до 880 Гкал на рік, завдяки розміщенню ще 240 сонячних колекторів на покрівлі корпусу Б. Така конфігурація передбачає 4 ряди по 60 панелей (рис. 4.7, 4.8).



Рисунок 4.7 – Вигляд покрівлі корпусу Б як додаткової площі для встановлення колекторів

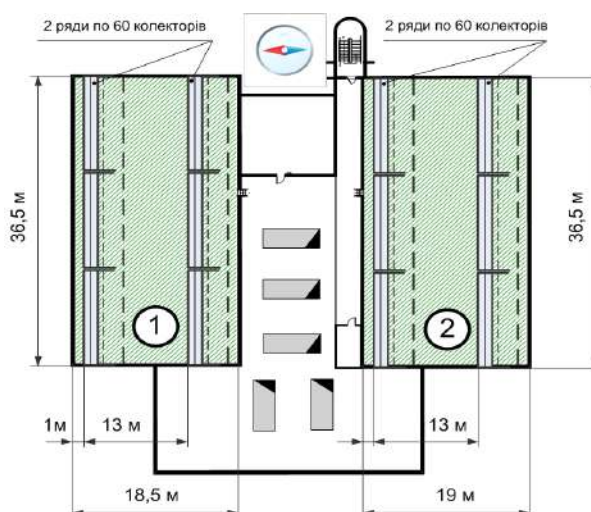


Рисунок 4.8 – План-схема розміщення 240 сонячних колекторів на даху корпусу Б

5 РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМИ ДЛЯ РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА

5.1 Аналіз енергетичної, екологічної та економічної ефективності впровадження геліосистеми

На підставі математичної моделі, розглянутої у другому розділі, виконано всебічний аналіз ефективності впровадження запропонованого енергозберігаючого рішення, описаного в розділі 4. Для виконання розрахунків були використані вхідні дані, що відображають поточний стан об'єкта дослідження (табл. 5.1), підсумки комплексного аналізу результативності впроваджених заходів (табл. 5.2), а також графічні матеріали щодо енергетичної ефективності рекомендованих технологій (рис. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для аналізу ефективності енергозберігаючих заходів

Період спостереження		Показники, які характеризують сучасний стан об'єкту				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		Q ₀ , Гкал	V _п , тис.м ³	M _{CO2} , т	M _{NOx} , т	C _{оп} , тис. грн
Місяць року	1	429,6	53,2	103,5	0,113	805,3
	2	378,6	47,9	93,1	0,102	724,9
	3	241,2	30,5	59,3	0,065	461,8
	4	104,2	13,2	25,6	0,028	199,5
	5	41,8	5,3	10,3	0,011	80,0
	6	10,6	1,3	2,6	0,003	20,3
	7	0	0,0	0,0	0,000	0,0
	8	1,7	0,2	0,4	0,000	3,3
	9	21,1	2,7	5,2	0,006	40,4
	10	128,3	16,2	31,6	0,035	245,7
	11	286,2	36,2	70,4	0,077	548,0
	12	226,7	28,7	55,8	0,061	434,1
Рік		1870,3	236,7	460,0	0,504	3581,1

Таблиця 5.2 – Підсумки комплексної оцінки ефективності впровадження
альтернативного джерела теплозабезпечення – геліосистеми

Період спостереження		Критерії ефективності заходу				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		ΔQ (δQ), Гкал (%), + ΔQ , Гкал	$\Delta V_{п}$, тис. м ³	ΔM_{CO_2} , т	ΔM_{NOx} , т	$\Delta C_{оп}$, тис. грн
Місяць року	1	11,6 (2,8)	1,5	2,9	0,003	22,3
	2	17,9 (4,7)	2,3	4,4	0,005	34,2
	3	29,9 (12,4)	3,8	7,3	0,008	57,2
	4	37,1 (35,6)	4,7	9,1	0,010	71,1
	5	41,8 (100)+ 10,9	5,3+ 1,4	10,3+ 2,7	0,011+ 0,003	80,0+ 20,8
	6	10,6 (100)+41,1	1,3+ 5,2	2,6+ 10,1	0,003+ 0,011	20,3+ 78,7
	7	0,0 (–)+ 54,4	0,0+ 6,9	0,0+ 13,4	0,000+ 0,015	0,0+ 104,2
	8	1,7 (100)+ 46,1	0,2+ 5,8	0,4+ 11,3	0,000+ 0,012	3,3+ 88,2
	9	21,1 (100)+ 12,0	2,7+ 1,5	5,2+ 2,9	0,006+0,0 03	40,4+ 22,9
	10	20,6 (16,0)	2,6	5,1	0,006	39,4
	11	11,3 (3,9)	1,4	2,8	0,003	21,6
	12	8,8 (3,9)	1,1	2,2	0,002	16,9
Рік		212,3 (11,4) + 164,4(8,8) 376,7(20,2)	26,9 + 20,8 47,7	52,2 + 40,4 92,6	0,057 + 0,044 0,101	406,5 + 314,8 721,3

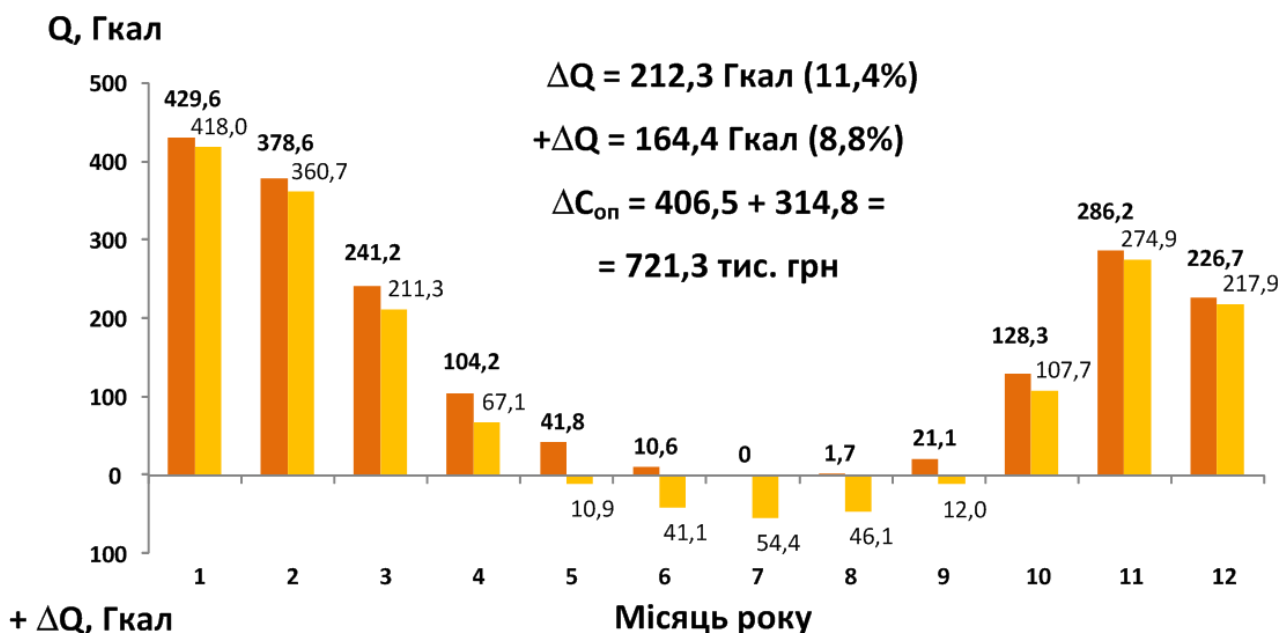


Рисунок 5.1 – Співставлення теплоспоживання будівлі до і після впровадження геліосистеми як заходу з підвищення енергоефективності

Оцінка ефективності заходу. Запровадження геліосистеми як альтернативного джерела теплопостачання забезпечує додаткове надходження теплової енергії до системи опалення будівлі протягом року, дозволяючи досягти наступних річних результатів:

- екологічний ефект: зниження споживання природного газу на 47,7 тис. м³, що сприяє скороченню викидів CO₂ – на 92,6 т, а NO_x – на 0,101 т;
- економічний ефект: зменшення витрат на оплату теплової енергії на 721,3 тис. грн. Орієнтовна окупність проекту – 5 років.

– енергетичний ефект: додатково вироблено 376,7 Гкал теплової енергії, що становить 20,2% загального обсягу; з цього обсягу: 212,3 Гкал (11,4%) використовується досліджуваною будівлею, а 164,4 Гкал (8,8%) – іншими об'єктами в період з травня по вересень. При цьому потреба будівлі в теплопостачанні покривається: на 100% – у весняно-літній період, та на 2,8–35,6% – під час опалювального сезону;

5.2 Порівняння аналізованого заходу з іншими варіантами енергозбереження

На основі аналізу проєктної документації, результатів внутрішніх та зовнішніх обстежень, автори сформували перелік рекомендованих енергозберігаючих заходів для досліджуваного об'єкта, який включає:

- Захід №1: теплоізоляція огорожувальних конструкцій;
- Захід №2: застосування автоматизованої системи управління опаленням – «розумного будинку»;
- Захід №3: модернізація індивідуальних теплових пунктів (ІТП);
- Захід №4 (основний предмет дослідження): впровадження геліосистеми як додаткового джерела теплопостачання;
- Захід №5: використання сучасних газових конденсаційних котлів як основного теплогенератора.

Узагальнені результати оцінки ефективності заходів з енергозбереження №1–5 за критеріями енергетичного, екологічного та економічного впливу наведено на рисунку 5.2.

Захід №1 – теплоізоляція зовнішніх конструкцій будівлі включають утеплення зовнішніх стін, покрівлі та підлоги першого поверху з метою підвищення опору теплопередачі згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [14].

Оцінка ефективності заходу №1. Цей метод є найефективнішим з точки зору енергозбереження, оскільки дозволяє суттєво зменшити тепловтрати в опалювальний сезон:

- енергетичний ефект: економія – 908,8 Гкал або 48,5%;
- екологічний ефект: зниження витрат природного газу на 115 тис. м³, зменшення викидів CO₂ – на 223,5 т, NO_x – на 0,245 т;
- економічний ефект: скорочення витрат на опалення – 1 740,2 тис. грн.

Захід №2 – впровадження системи «розумний будинок» для керування опаленням передбачають встановлення HERZ Smart Comfort або подібної

автоматизованої системи, яка регулює температуру приміщень відповідно до фактичної потреби.

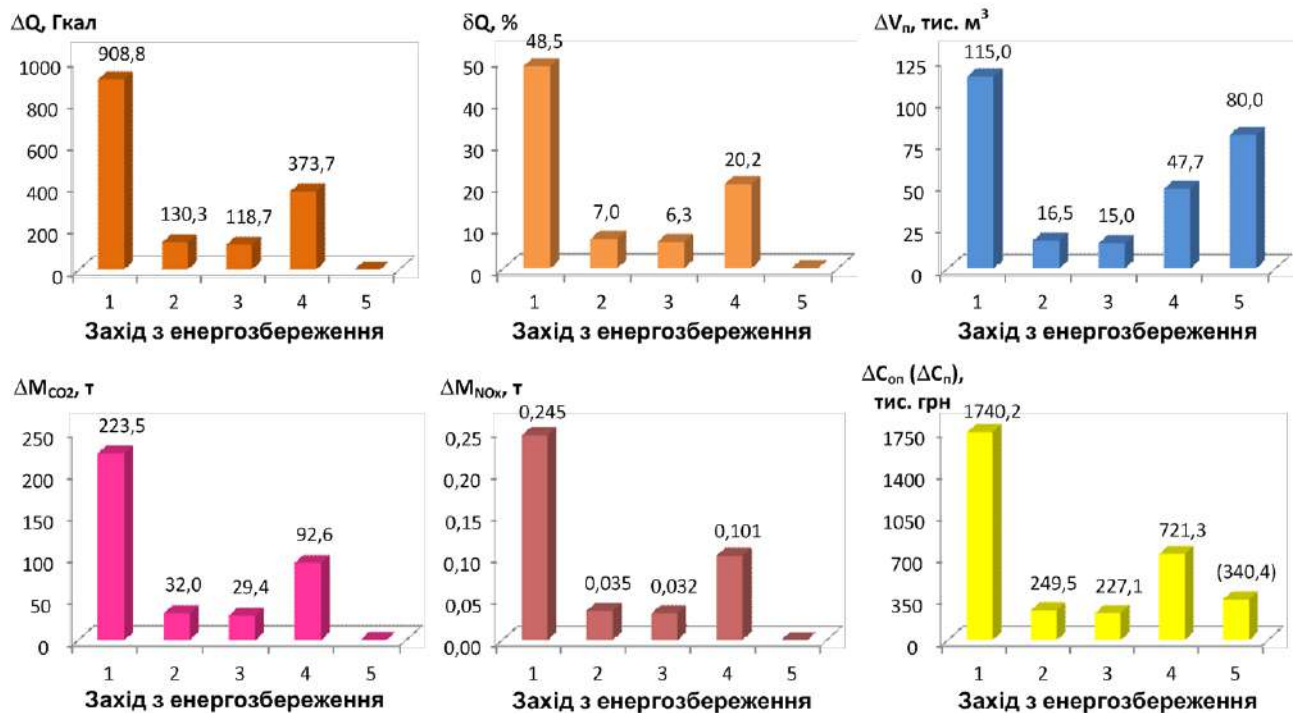


Рисунок 5.2 – Комплексне порівняння ефективності заходів №1–5 за критеріями енергозбереження, екології та економіки

Оцінка ефективності заходу №2. Застосування системи керування дозволяє раціонально використовувати теплову енергію:

- енергетичний ефект: економія – 130,3 Гкал або 7,0%;
- екологічний ефект: зниження витрат газу на 16,5 тис. м³, викиди CO₂ – на 32,0 т, NO_x – на 0,035 т;
- економічний ефект: зменшення витрат на опалення – 249,5 тис. грн.

Захід №3 – термомодернізація трубопроводів ІТП включають підвищення рівня теплоізоляції труб і обладнання ІТП відповідно до діючих нормативів [18].

Оцінка ефективності заходу №3. Така модернізація дає змогу знизити теплові втрати протягом усього року:

- енергетичний ефект: економія – 118,7 Гкал або 6,3%;

- екологічний ефект: скорочення використання газу – 15,0 тис. м³, зменшення викидів CO₂ – на 29,4 т, NO_x – на 0,032 т;

- економічний ефект: зменшення оплати за теплову енергію – 227,1 тис. грн.

Захід №4 – застосування геліосистем як додаткового джерела тепла передбачають використання сонячних колекторів для забезпечення опалення та гарячого водопостачання будівлі, а за потреби – й інших об'єктів.

Захід №5 – впровадження енергоефективних газових конденсаційних котлів полягають у заміні застарілого обладнання Riello з пальниками RS-190 на сучасні моделі з високим ККД, що дозволяє скоротити витрати газу і коштів на виробництво тепла.

Оцінка ефективності заходу №5.

- екологічний ефект: зменшення споживання природного газу на 80,0 тис. м³;

- економічний ефект: зменшення витрат на теплопостачання – 340,4 тис. грн.;

- строк окупності – приблизно 8,3 роки.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз впливу комунального сектору енергетики на стан довкілля, у ході якого визначено основні чинники негативного впливу, серед яких: інтенсивне використання невідновлюваних ресурсів (вугілля, мазуту, нафти, торфу, природного газу), зміни у природних ландшафтах, скиди забруднених і підігрітих вод у водойми, утворення рідких відходів, а також викиди шкідливих речовин і забруднення повітря продуктами згоряння, зокрема NO_x , CO , CH_4 , SO_2 .

2. Розглянуто основи функціонування сонячних колекторів, специфіку їх використання, переваги й обмеження. Представлено основні типи, конструктивні рішення та схеми колекторів. Розроблено математичну модель комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів у будівлях, яка охоплює:

- енергетичний ефект, що відображає зменшення щомісячного та річного споживання теплової енергії як в абсолютному, так і у відносному вимірах;
- екологічний ефект, що включає скорочення використання палива системою теплозабезпечення будівлі та зменшення викидів CO_2 і NO_x в атмосферу;
- економічний ефект, що проявляється у зменшенні вартості щомісячних та річних витрат на теплову енергію й паливо.

3. У результаті зовнішнього та внутрішнього обстеження досліджуваної будівлі з використанням тепловізійної камери «Testo 871» та аналізу отриманих термограм встановлено місця тепловтрат через огорожувальні конструкції, а також оцінено обсяги цих втрат упродовж року для кожної з ділянок. Встановлено невідповідність фактичного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій чинним вимогам ДБН В.2.6-31:2016. Загальна величина виявлених втрат становить 183,4 Гкал на рік, що дорівнює 9,8 % загального річного споживання теплової енергії будівлею.

На основі огляду будівлі закладу освіти, вивчення технічної документації та аналізу даних щодо роботи теплопостачальних систем і теплоспоживання за попередні роки сформовано вхідні дані для оцінки ефективності енергоощадних заходів, а саме:

- геометричні й теплофізичні характеристики огорожувальних елементів, трубопроводів та обладнання ІТП;
- середні показники місячного й річного теплоспоживання;
- усереднені часові інтервали використання приміщень персоналом і відвідувачами;
- геометричні та геолокаційні параметри майданчиків, придатних для встановлення геліосистеми.

4. Обрано відповідну ділянку для встановлення геліосистеми, а також визначено тип і технічні характеристики сонячних колекторів. Запропоновано конфігурацію розміщення колекторних рядів. Розрахована щорічна теплова продуктивність геліосистеми для досліджуваного об'єкта становить 376,7 Гкал.

5. Здійснено всебічну оцінку ефективності впровадження геліосистеми, за результатами якої встановлено наступне:

- енергетичний ефект: щорічне додаткове виробництво теплової енергії становить 376,7 Гкал (20,2 %), з яких 212,3 Гкал (11,4 %) використовуються досліджуваною будівлею, а 164,4 Гкал (8,8 %) – іншими об'єктами в період з травня по вересень. Покриття теплових потреб будівлі: у літній період – 100 %, в опалювальний сезон – від 2,8 до 35,6 %;

- екологічний ефект: економія природного газу – 47,7 тис. м³; зниження викидів CO₂ – 92,6 т, NO_x – 0,101 т;

- економічний ефект: зменшення витрат на теплову енергію на суму 721,3 тис. грн. Орієнтовний термін окупності – 5 років. За необхідності, можливе збільшення продуктивності системи до 880 Гкал/рік шляхом додаткового встановлення 240 колекторів на даху корпусу Б.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Polyvianchuk A., Malyarenko V., Semenenko R., Gura K., Sabev Varbanov P., Arsenyeva O. The general-purpose approach for estimation of residential heating systems efficiency using the various energy sources. *Energy and Buildings*, 2023. – 113390. – p. 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113390>.
2. Екологія: [Навчально методичний посібник] / С.І. Дорогунцов, К.Ф. Коценко, О. К. Аблов. - 2005. - 104 с.
3. Прутська О.О. Сучасний стан та проблеми розвитку альтернативної енергетики в Україні / О.О. Прутська, О.Ю.Федик // Збірник наукових праць ВНАУ (Вінницький національний аграрний університет). – 2012 - №1 (56). - Том 2., – С. 158-164.
4. Штен І. Аналіз конструкцій геліосистем гарячого водопостачання, які використовуються в Україні //Збірник тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання., – 2018. – Т. 1. – С. 131-132. Проблема: нераціональне використання теплових ресурсів в комунальній енергетиці та його наслідки.
5. «Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України». Керівництво з відбору технологій/Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.: іл.
6. Polyvianchuk A. The efficiency of innovative technologies for transition to 4th generation of district heating systems in Ukraine / A. Polyivanchuk, R. Semenenko, P. Kapustenko, J.J. Klemeš, O. Arsenyeva // *Energy*, 2023. – Vol. 263, Part D. – p. 11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125876>.
7. HERZ Smart Comfort [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://herz.ua/ukr/newsdet/86.html>
8. Опалення зі смартфона опаленням з HERZ Smart Comfort [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://unidim.com.ua/blog/upravlenie-otopleniem-so-smartfona-eto-herz-smart-control>.

9. HERZ Smart Comfort [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ibud.ua/ru/producer/herz/statya-brand/sistema-herz-smart-comfort-70156>
10. Енергозбереження і енергоефективність. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки «Електронні пристрої та системи». - К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 106 с.
11. Плоскі сонячні колектори Logasol SKT 1.0. [електронний ресурс] / режим доступу: <https://www.buderus.ua/products/solar/skt10.html>.
12. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О., Сушкова Д. Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України. Керівництво з відбору технологій / Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.
13. «Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України». Керівництво з відбору технологій/Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016.
14. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
15. Полив'янчук А.П. Дослідження еколого-економічної ефективності геліосистем при реалізації концепції сталого розвитку в комунальній енергетиці / А.П. Полив'янчук, Н.М. Полив'янчук, Р.А. Семененко, С.В. Романенко, Д.П. Онацький // Комунальне господарство міст: Технічні науки та архітектура, 2019. – № 1 (147). – С. 83–88.
16. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі будівельна кліматологія.
17. Андреев, В.М. Оптимизация параметров солнечных модулей на основе линзовых концентраторов излучения и каскадных фотоэлектрических преобразователей / В. А. Андреев, Н. Ю. Давидюк, Е. А. ИONOва, П. В. Покровский, В. Д. Румянцев, Н. А. Садчиков // Журнал технической физики – 2010. – Т. 80. – Вып. 2. – С.118-125.
18. СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

19. Полив'янчук А.П. Дослідження еколого-енергетичної та економічної ефективності використання SMART-технологій в системах теплоспоживання будівель / А.П. Полив'янчук, Ю.Л. Коваленко, М.Ф. Смирний, В.Є. Плюгін, С.В. Романенко // Комунальне господарство міст: Технічні науки та архітектура, 2018. – № 7 (146). – С. 77–82.

20. Сухонос М.К. Створення та апробація концепції комплексного оцінювання енергетичної, екологічної та економічної ефективності заходів з енергозбереження в будівлях / М.К. Сухонос, А.П. Полив'янчук, Ю.Л. Коваленко, М.Ф. Смирний, С.В. Романенко, Р.А. Семененко, Ю.В. Сігаєва // Комунальне господарство міст. Серія: Економічні науки, 2018. – № 6 (145). – С. 33–37.

21. Безпечна експлуатація геліосистеми для опалення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.znakcomplect.ru>.

22 Yuzbashyan A. Individual Heat Substations Integrated with Heat Pumps for District Heating Systems in Ukraine / A. Yuzbashyan, A. Polyvianchuk, J. Klemeš, P. Kapustenko, E. Klochok, O. Arsenyeva // Chemical Engineering Transactions, Vol. 88. – 2021. – p. 649-654. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET2188108>.

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Аналіз екологічної ефективності використання відновлювальних джерел енергії в сфері теплопостачання

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 19,69 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

зав. каф. ЕХТЗД Іщенко В.А.

(прізвище, ініціали, посада)

доц. каф. ЕХТЗД Васильківський І.В.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Матусяк М.В.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

Полив'янчук А. П.

Здобувач

Супрун І.І.

ДОДАТОК Б

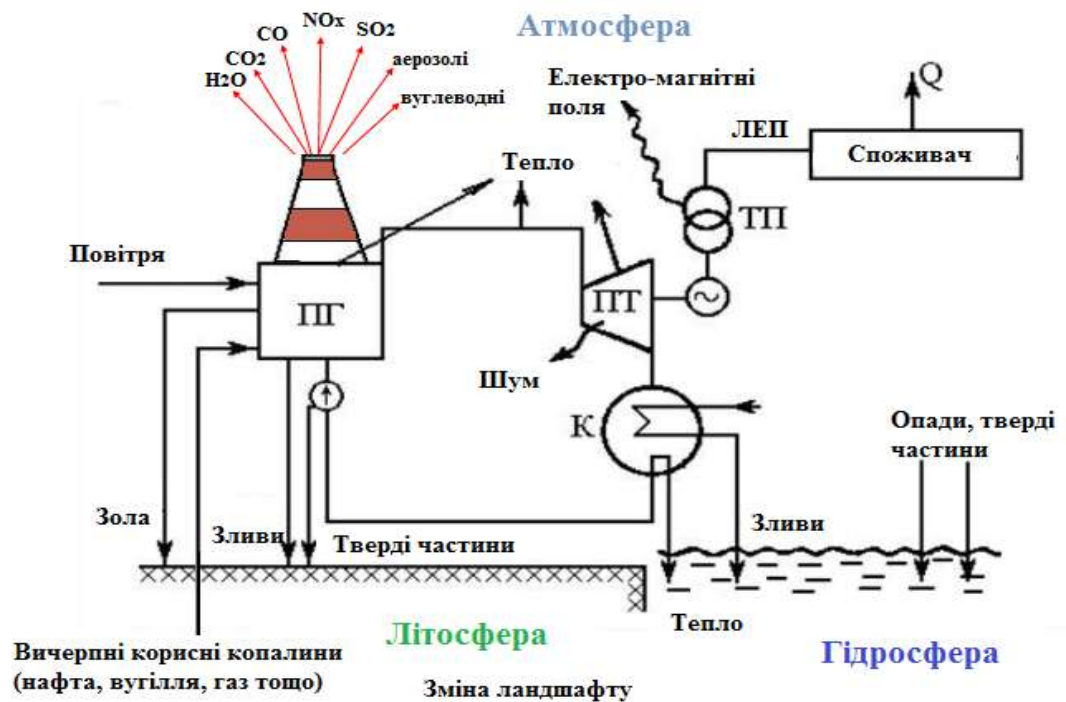


Рисунок Б.1 – Демонстрація взаємозв'язку між використанням об'єктів енергетики та станом навколишнього середовища (ПГ – парогенератор; К – конденсатор; ТП – трансформаторна підстанція; ЛЕП – лінії електропередач)

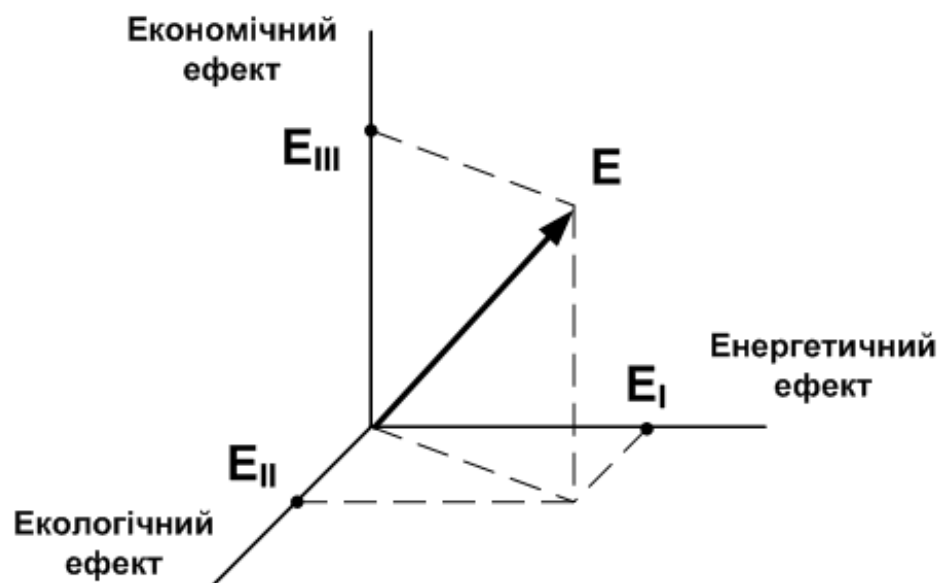


Рисунок Б.2 – Компоненти загальної ефективності впроваджених енергозберігаючих заходів

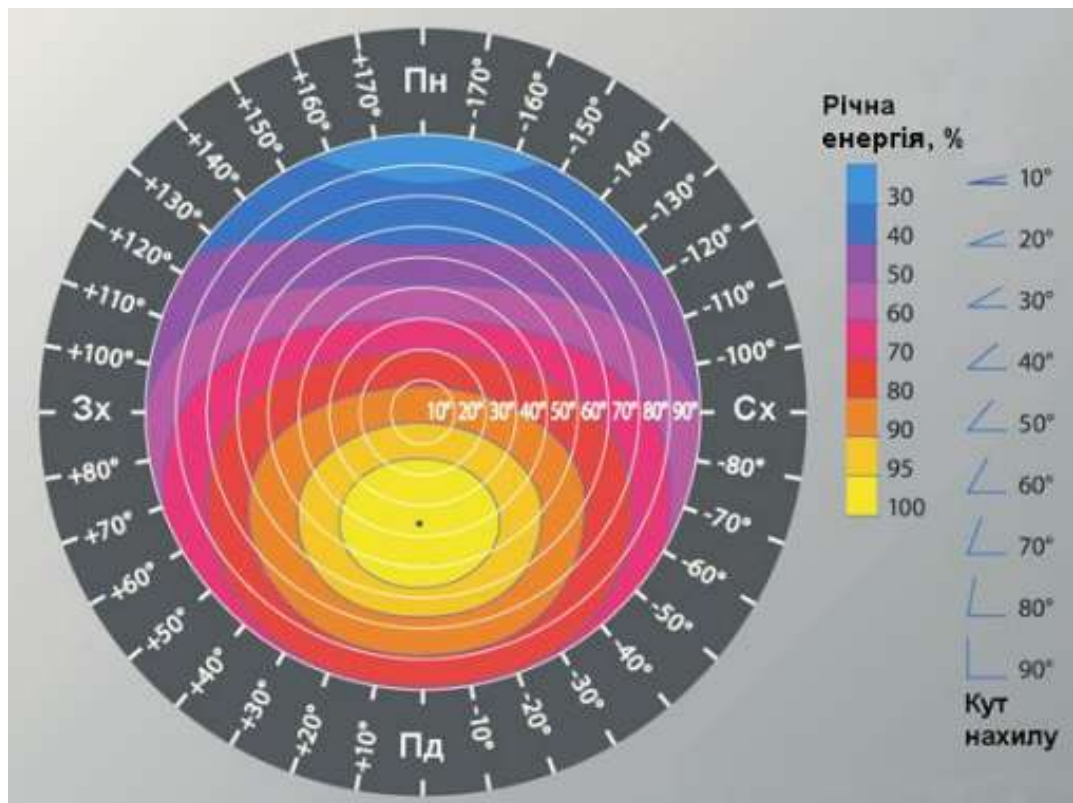


Рисунок Б.3 – Вплив орієнтації геліосистеми на її ефективність

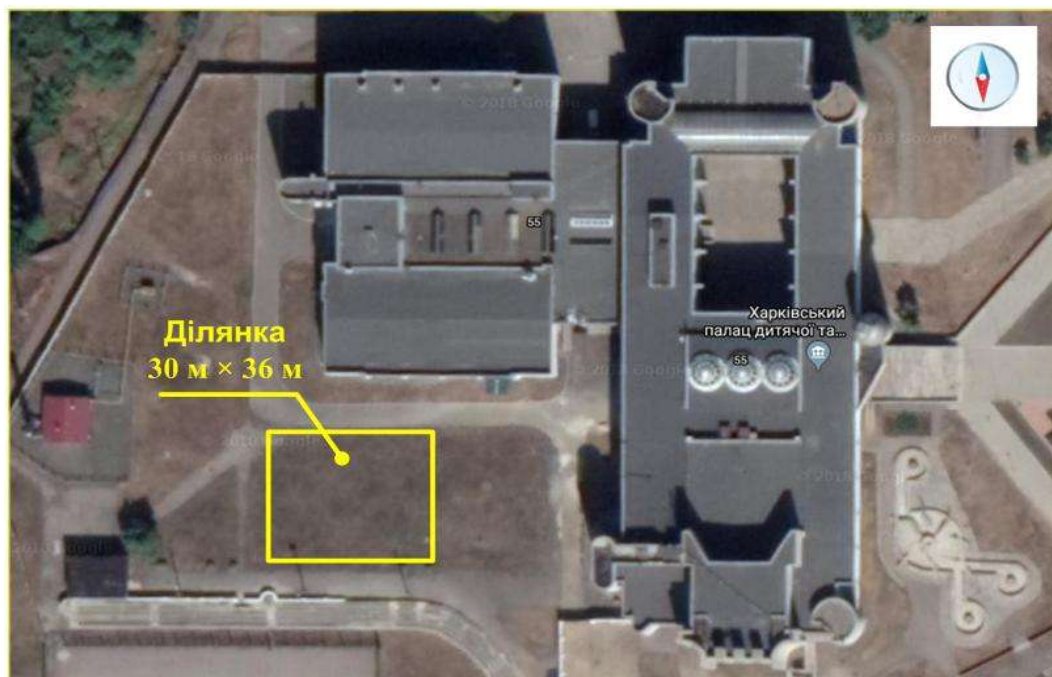


Рисунок Б.4 – Локація запропонованої ділянки для монтажу геліосистеми

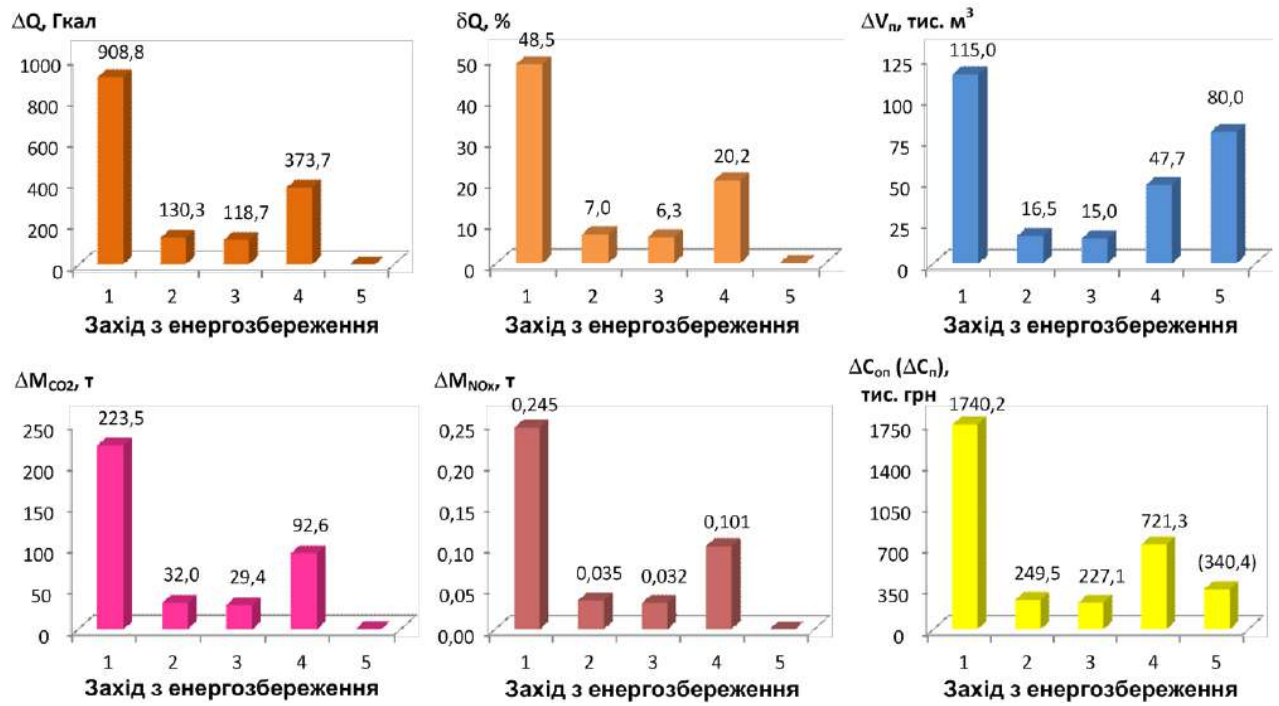


Рисунок Б.5 – Комплексне порівняння ефективності заходів №1–5 за критеріями енергозбереження, екології та економіки