

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний
інститут ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій Блаженко
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2025 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Сергій Балюта
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: «Використання сонячної енергії для комунальних підприємств, дитячих садків, шкіл міста.»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ-4-3

Кононенко Антон Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Серьогін Олександр Олександрович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище) (підпис)

(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний інститут
ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехніка та інформаційні технології»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри _____

“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кононенко Антон Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Використання сонячної енергії для комунальних підприємств, дитячих садків, шкіл міста.»

керівник роботи Серьогін Олександр Олександрович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “10”_04_2025_року №218 кс

2. Строк подання здобувачем роботи 30.05.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технічна характеристика, принцип дії та особливості впровадження сонячних енергетичних систем для забезпечення електро- і теплозабезпечення комунальних закладів міста на основі сучасних енергоефективних технологій.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Обґрунтування доцільності використання сонячної енергії для забезпечення потреб комунальних підприємств Аналіз конструкції, принципу дії та економічної ефективності геліосистем і сонячних електростанцій

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Сучасні методи використання сонячної енергії для комунальних підприємств, дитячих садків, шкіл міста.	15.04.2025 р.	
2	Технології застосування сонячних колекторів у комунальних підприємствах.	20.04.2025 р.	
3	Техніко-економічний розрахунок енергосистеми.	25.04.2025 р.	
4	Практичне впровадження сонячних систем у комунальній інфраструктурі.	10.05.2025 р.	
5	Охорона праці.	17.05.2025 р.	
6	Оформлення роботи, вступ, зміст, джерела.	24.05.2025 р.	
7	Розробка презентації.	28.05.2025 р.	
8	Оформлення пояснювальної записки.	31.05.2025 р.	

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Кононенко А. О. _____
(прізвище та ініціали)

Серьогін О. О. _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кононенко Антон Олексійович. Дипломна робота на тему : «Використання сонячної енергії для комунальних підприємств, дитячих садків, шкіл міста.»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ - 2025

141. «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

У цій дипломній роботі досліджуються можливості впровадження систем сонячної енергії для забезпечення енергетичної незалежності об'єктів місцевої муніципальної інфраструктури. Для оцінки доцільності встановлення автономної сонячної електростанції (СЕС) було проведено аналіз структури енергоспоживання типового комунального підприємства міського рівня, зокрема, департаменту житлово-комунального господарства.

Дослідження включає техніко-економічне обґрунтування використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергії, для задоволення енергетичних потреб цільового об'єкта. У ньому аналізується добове споживання електроенергії, регіональні характеристики інсоляції, визначається оптимальний кут нахилу сонячних панелей та розраховується встановлена потужність СЕС. Обладнання, необхідне для реалізації проекту (сонячні модулі, інвертори, акумуляторні накопичувачі, контролери, монтажні конструкції тощо), було обрано виходячи з вимог до надійності, ефективності та економічної ефективності.

У роботі також обґрунтовано переваги поєднання фотоелектричних систем із сонячними тепловими колекторами для одночасного забезпечення електроенергією та опаленням. Наведено дані про терміни окупності інвестицій, показники економічної ефективності та вплив проекту на навколишнє середовище. У дослідженні зроблено висновок, що впровадження сонячної енергетики в муніципальному секторі є своєчасним та важливим кроком до енергетичної незалежності та сталого розвитку міст.

Ключові слова: енергія сонця, відновлювані джерела енергії (ВДЕ), сонячна електростанція (СЕС), сонячні колектори, енергозбереження, енергоефективність, комунальне господарство, геліосистема, фотоелектричні модулі.

ANNOTATION

Kononenko Anton Oleksiyovych. Diploma project on the topic: «Using solar energy for municipal enterprises, kindergartens, and schools in the city.»

National University of Food Technologies, Kiev - 2025

141. "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

This diploma thesis explores the possibilities of implementing solar energy systems to ensure the energy independence of local municipal infrastructure facilities. An analysis of the energy consumption structure of a typical urban-level municipal enterprise — in particular, the Department of Housing and Communal Services — was conducted to assess the feasibility of installing an autonomous solar power plant (SPP).

The study includes a technical and economic justification for the use of renewable energy sources, particularly solar energy, to meet the energy needs of the target facility. It analyzes daily electricity consumption, regional insolation characteristics, determines the optimal tilt angle of solar panels, and calculates the installed capacity of the SPP. Equipment necessary for project implementation (solar modules, inverters, battery storage, controllers, mounting structures, etc.) was selected based on requirements for reliability, efficiency, and cost-effectiveness.

The thesis also justifies the benefits of combining photovoltaic systems with solar thermal collectors to simultaneously provide both electricity and heating. It presents data on investment payback periods, indicators of economic efficiency, and the environmental impact of the project. The study concludes that the implementation of solar energy in the municipal sector is a timely and essential step toward energy independence and sustainable urban development.

Keywords: solar energy, renewable energy sources (RES), solar power plant (SPP), solar collectors, energy saving, energy efficiency, municipal services, solar thermal system, photovoltaic modules.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМУНАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ, ДИТЯЧИХ САДКІВ, ШКІЛ МІСТА	10
1.1. Застосування енергетичних ресурсів в секторі комунального господарства	10
1.2. Адаптація традиційної системи енергопостачання.....	13
1.3. Екологічні та економічні переваги сонячної енергії	17
1.4. Потенціал сонячної енергетики в Україні.....	20
2. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ У КОМУНАЛЬНИХ ДІПРИЄМСТВ	25
2.1. Принцип роботи сонячних колекторів та СЕС.....	25
2.2. Класифікація та конструкція сонячних геліосистем	30
2.3. Характеристика фотоелектричних та геліотермальних модулів	36
2.4. Ефективність водяних колекторів	45
2.5. Альтернативні джерела теплопостачання.....	51
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСИСТЕМ	58
3.1. Витрати на сонячні колектори.....	58
3.2. Термін окупності витрат на геліосистеми	61
3.3. Розрахунок потреби тепла в залежності від сезону	64
3.4. Модернізація об'єктів	67
4. ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ У КОМУНАЛЬНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ.....	74

4.1. Практичне застосування геліосистем для забезпечення гарячого водопостачання	74
4.2. Енергоефективні рішення для будівель комунального призначення	76
4.3. Реалізовані проекти встановлення сонячних систем на дахах шкіл і дитсадків.....	84
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	92
5.1. Розміщення обладнання. Вимоги безпеки при встановленні та експлуатації СЕС та сонячних колекторів	92
5.2. Робота з електротехнічним та тепловим обладнанням	94
5.3. Захист персоналу та заходи з охорони праці	96
Список використаної літератури	100

ВСТУП

Ще донедавна життя міст, сіл, комунальних підприємств та освітніх закладів залежало виключно від централізованих джерел енергії — газу, вугілля, нафти. Ці ресурси, подаровані природою за мільйони років, людство почало витрачати у небачених обсягах, мовби користуючись "кредитом", який ніколи не зможе повернути. Сучасне суспільство щоденно споживає гігантські обсяги енергії, а технічний прогрес — від житлового освітлення до інтелектуальних мереж — лише пришвидшує темпи цього споживання.

Комунальне господарство, як один із найбільш енергоємних секторів, сьогодні стоїть перед складним викликом: як забезпечити стабільне постачання тепла, світла та води, не руйнуючи довкілля і не залежачи критично від імпортованих палив. Проблеми старих тепломереж, аварійних котелень, неефективних насосів — це не лише побутовий дискомфорт, а й стратегічна загроза в умовах глобальної енергетичної та політичної нестабільності.

Особливо гостро ці питання постають в умовах війни, руйнування критичної інфраструктури, перебоїв у централізованому енергопостачанні. В таких реаліях забезпечення енергетичної незалежності навіть на рівні одного дитячого садка чи школи набуває нового, життєво важливого значення. Від стабільного тепла та світла залежать не лише комфорт, а й безпека, психоемоційна рівновага і навіть виживання.

Проте в той час, коли традиційні джерела енергії виснажуються і ускладнюють екологічну ситуацію, Сонце — вічне та невичерпне джерело — знову повертається у фокус людської уваги. Те саме світило, що мільйони років тому було рушієм фотосинтезу і сушіння врожаю, нині дедалі активніше перетворюється на надійного партнера в міських енергетичних системах. Сонячні електростанції (СЕС) та геліосистеми — це не просто сучасна технологія, а символ переходу до нової епохи — сталого, безпечного, децентралізованого енергоспоживання.

Україна має вагомі передумови для розвитку сонячної енергетики — географічне розташування, наявність науково-технічного потенціалу, практичний досвід реалізації проєктів. Водночас сучасна енергетична політика й місцеві ініціативи дедалі частіше орієнтовані на ВДЕ (відновлювані джерела енергії), що дає реальний шанс зробити комунальні заклади енергонезалежними, а витрати — передбачуваними.

Ця дипломна робота присвячена вивченню можливостей застосування сучасних методів використання сонячної енергії в комунальних підприємствах, дитячих садках і школах міста. Мета дослідження полягає в тому, щоб на основі технічного, економічного та екологічного аналізу обґрунтувати доцільність впровадження геліотермальних та фотоелектричних систем у структуру муніципального господарства.

1. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМУНАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ, ДИТЯЧИХ САДКІВ, ШКІЛ МІСТА

1.1. Застосування енергетичних ресурсів в секторі комунального господарства

Сектор комунального господарства є одним із найбільш енерговитратних напрямків економіки, оскільки його функціонування безпосередньо пов'язане з забезпеченням населення життєво необхідними послугами, такими як теплопостачання, електропостачання, водопостачання та водовідведення, транспортні перевезення тощо. Ефективне використання енергетичних ресурсів у цій сфері має першочергове значення у стабільності комунальних систем, зниженні витрат та мінімізації негативного впливу на довкілля.

У комунальному секторі енергетичні ресурси застосовуються переважно для забезпечення теплопостачання, електропостачання, водопостачання та роботи комунального транспорту. Теплопостачання житлових будинків, лікарень, шкіл та інших соціальних об'єктів здійснюється за рахунок використання природного газу, вугілля, а в останні роки – і альтернативних джерел енергії, таких як біомаса або сонячна енергія.

Електропостачання необхідне для функціонування ліфтів, роботи освітлення у будинках і на вулицях, а також для забезпечення роботи побутових приладів у житлових приміщеннях та комунальних установах. Водопостачання та водовідведення також потребують значної кількості електроенергії, оскільки насосні станції, фільтрувальні системи та очисні споруди працюють на електриці.

Крім того, комунальні підприємства активно використовують енергоносії для транспорту, зокрема дизельне паливо або газ для сміттевозів, снігоочисної техніки та іншої спецтехніки. У великих містах все частіше впроваджуються

електробуси та інші види електротранспорту, що дозволяє зменшити залежність від традиційного палива.

Однією з найбільших проблем у сфері комунального господарства є високі втрати тепла через зношені теплові мережі та недостатнє утеплення багатоквартирних будинків. Це призводить до значного перевитрачання енергоресурсів і зростання тарифів для споживачів.

Ще однією суттєвою проблемою є недостатнє використання відновлюваних джерел енергії. Хоча сонячні панелі, біогазові установки та геотермальні системи могли б значно знизити витрати, їх впровадження йде повільно через брак фінансування та консервативність управлінських рішень.

Також варто відзначити, що багато комунальних підприємств досі працюють на застарілому обладнанні, особливо це стосується насосних станцій, котелень та систем вентиляції. Такі технології не лише споживають більше енергії, але й часто виходять з ладу, що призводить до аварійних ситуацій і додаткових витрат.

СЕС перетворюють енергію сонця на електричну за допомогою фотоелектричних панелей. Їх можна інтегрувати як у вигляді дахових систем на будівлях дитячих садків, шкіл, лікарень, так і у вигляді наземних або фасадних установок.

Перевагами СЕС є:

- Зниження фінансових розтрат на електроенергію;
- Захист від перебоїв у головній мережі;
- Продаж надлишкової енергії в мережу (при наявності "зеленого тарифу");
- Відсутність викидів шкідливих речовин.

Окрім сонячних електростанцій додатково потрібно використовувати геліосистеми, на відміну від СЕС, сонячні колектори використовуються для нагріву води або теплоносія для систем гарячого водопостачання та опалення. Вони ефективні навіть у помірному кліматі та особливо корисні для об'єктів з великою витратою гарячої води, таких як дитячі садки, школи, басейни, пральні, лікарні тощо.

Основні переваги використання сонячних колекторів у міському господарстві:

- Скорочення споживання природного газу або електроенергії для нагріву води;
- Низькі експлуатаційні витрати після встановлення;
- Швидка окупність інвестицій (5–7 років при належному використанні).

Оптимальним рішенням для міського господарства є комбінування СЕС і сонячних колекторів, що дозволяє забезпечити і електроенергією, і теплом/гарячою водою об'єкти соціальної інфраструктури. Наприклад, дитячий садок може використовувати СЕС для освітлення, живлення електроприладів та насосів, а колектори — для підігріву води в душових та кухні.

Два основні напрямки: Енергоефективність та Відновлювані джерела енергії (ВДЕ):

- Енергоефективність, це "перша лінія оборони". Німецьке джерело про "Best Practices" та українське про "проблеми та перспективи" наголошують на важливості зменшення втрат енергії. Це стосується як модернізації будівель (утеплення, заміна вікон), так і оновлення систем опалення, водопостачання, освітлення. Англійське джерело підтверджує, що це глобальний пріоритет;
- ВДЕ, сонце, вітер, біомаса – це майбутнє. Англійське джерело розглядає ВДЕ у глобальному контексті міської інфраструктури, тоді як французьке досліджує "енергетичний перехід" на місцевому рівні.

Латиноамериканські приклади також показують, що ВДЕ є важливим компонентом енергетичного менеджменту. Застосування ВДЕ дозволяє зменшити залежність від традиційних видів палива та підвищити енергетичну безпеку.

Як майбутній фахівець (або просто свідомий громадянин), я бачу, що енергетичний сектор комунального господарства є надзвичайно комплексним, але з величезним потенціалом для покращення. Ключові уроки, які я виніс з цього аналізу, полягають у наступному:

- Необхідність комплексного підходу;

Не можна просто встановлювати сонячні панелі, не думаючи про утеплення будівель. Енергоефективність та ВДЕ повинні йти рука об руку.

- Важливість державної підтримки та муніципальних ініціатив;

Без чіткої політики, програм фінансування та активності місцевих громад, реальні зміни в комунальному секторі будуть повільними.

- Обмін досвідом;

Дуже цінно, що є міжнародні приклади. Німецькі "Best Practices" чи латиноамериканські "кейси успіху" можуть бути адаптовані та застосовані в інших країнах, зокрема в Україні, де є потреба у значних покращеннях.

- Технологічний прогрес як рушій;

Новітні технології роблять енергозбереження та використання ВДЕ більш доступними та ефективними. Важливо бути в курсі цих розробок та сприяти їх впровадженню.

1.2. Адаптація традиційної системи енергопостачання

Традиційна система забезпечення енергією міських об'єктів, головним чином, покладається на централізовану доставку електрики та тепла, виготовлених з використанням викопного палива — вугілля, природного газу чи мазуту. Ця модель протягом тривалого часу задовольняла потреби користувачів, проте сучасні проблеми підвищення ціни на енергоносії, зношеність мереж, ненадійну систему постачання та екологічні обмеження — змушують переглянути її підходи.

Одним із найважливіших кроків для адаптації до нових реалій — особливо в умовах енергетичної нестабільності — стає перехід на відновлювані джерела енергії. Передусім мова йде про сонячну енергетику. Установка сонячних електростанцій (СЕС) або колекторів дає змогу істотно знизити залежність від традиційних джерел енергії. В деяких випадках — повністю покрити потреби закладу в електриці чи гарячій воді. Це особливо критично для таких місць, як школи, дитячі садки, лікарні — тобто соціально значущих об'єктів, де стабільне енергозабезпечення напряму впливає на життя людей.

І якщо ще кілька років тому впровадження поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) у комунальні об'єкти здавалося радше прогресивним трендом, то зараз — це вже необхідність. Особливо на фоні воєнних подій, обстрілів енергетичної інфраструктури й загальної вразливості централізованих мереж.

Все більше українських громад на практиці доводять, що такі рішення працюють. Вони встановлюють СЕС на дахах шкіл, лікарень, водоканалів — і це реально підвищує енергетичну стійкість. У деяких випадках електрика від сонця дозволяє не просто економити, а продовжувати працювати навіть у разі повного знеструмлення. Це вже не просто про екологію — це питання безпеки і виживання.

З технічного боку все теж досить просто: сонячні панелі, інвертор, накопичувач енергії (за потреби) — і система готова. Такі рішення легко інтегруються в уже існуючі електромережі. А головне — це енергія, яку не потрібно купувати щодня.

Сонце світить для всіх і безкоштовно, а сучасні технології дозволяють використовувати цей ресурс максимально ефективно.

В підсумку: там, де ще недавно були тільки рахунки за світло, сьогодні вже є проєкти енергонезалежності. І це дуже обнадійливо.

Розглянемо докладніше основні напрями адаптації:

- Модернізація теплопостачання;

Чимало українських міст отримали у спадок централізовані системи опалення ще з часів Радянського Союзу. Хоча ці системи потенційно здатні зменшити обсяги викидів, на практиці вони часто демонструють застарілість та вразливість до зовнішніх загроз.

- Розподілення генерації;

Україна нині активно впроваджує проєкти розподіленої генерації, зокрема когенераційні установки, а також використовує відновлювані джерела енергії. Такі варіанти дають змогу гарантувати безперервне постачання енергії також під час перебоїв та сприяють зростанню енергетичної незалежності громад.

- Впровадження IT-рішень;

Впровадження передових IT-рішень, включно з системами SCADA, відкриває шляхи для оптимізації діяльності теплопостачальних організацій, сприяє зниженню енергетичних втрат та дає змогу оперативно реагувати на потенційні аварії. Яскравим прикладом є Житомир, де інтеграція подібних систем посприяла скороченню використання газу на 30% і електроенергії на 15-20%.

Традиційні енергосистеми, зокрема електропостачання, історично планувалися як однонаправлені коли енергія прямує від централізованого генеруючого об'єкта до споживача. З появою сонячних станцій (СЕС) виникає необхідність двостороннього енергообміну за рахунок якого надлишок електроенергії, згенерованої протягом дня, потрібно або зберігати в акумуляторних сховищах, або спрямовувати в загальну мережу.

Для покращення ефективності застосування енергії в комунальному господарстві необхідно впроваджувати комплексні заходи. Насамперед, це модернізація інфраструктури, зокрема утеплення будинків, заміна старих теплових мереж на сучасні ізольовані труби, а також встановлення інтелектуальних систем обліку енергоресурсів.

Важливим кроком є збільшення обсягів використання альтернативної енергії. Наприклад, сонячні колектори можуть забезпечувати гаряче водопостачання, а біогаз з твердих побутових відходів – використовуватися для опалення. Також перспективним напрямом є застосування геотермальних систем для обігріву будинків.

Окрім цього, енергозберігаючі технології, такі як LED-освітлення, частотні регулятори для насосів і системи рекуперації тепла, дозволяють суттєво знизити споживання електроенергії без втрати якості послуг.

Для цього необхідно:

- Провести модернізацію електрощитів, встановлювати двонаправлені лічильники;
- автоматизувати управління навантаженням та споживанням в системі;
- використовувати системи накопичення електроенергії (акумулятори);
- застосовувати інтелектуальні мережі наприклад Smart Grid для управління енергетичними потоками.

Додатково потрібно провести економічну адаптацію системи та організаційну, що будуть включати в себе повну зміну в системі та управління системою.

Впровадження сонячної енергії у вже існуючі структури передбачає первинні фінансові витрати. Щоб заохотити здійснення таких інвестицій, слід провести ефективну економічну адаптацію:

- Встановлення державних і місцевих програм ВДЕ (гранти, пільгові кредити);

- Покращення системи тарифів на продаж надлишкової електроенергії "зеленого тарифу";
- Зниження витрат завдяки енергонезалежності в довгостроковій перспективі.

Організаційна адаптація:

Адаптація потребує також перебудови управлінських процесів у сфері ЖКГ та освітніх/соціальних закладах:

- Енергоменеджмент стає складовою діяльністю органів місцевого самоврядування;
- здобуття нових навичок персоналу в роботі з системами енергопостачання;
- впровадити енергетичний аудит та енергетичні паспорти об'єктів та будівель;
- розробити стратегії енергоефективного міста.

Не менш важливим аспектом є модернізація електричних мереж, які часто перебувають у зношеному стані. Адаптація в цьому випадку включає заміну застарілого обладнання, впровадження систем автоматичного обліку та управління навантаженнями.

Таким чином, адаптація традиційної системи енергопостачання в комунальних підприємствах — це комплексний процес, який охоплює технічну модернізацію, впровадження альтернативних джерел енергії, покращення енергоефективності та розвиток локальної енергетичної незалежності.

1.3. Екологічні та економічні переваги сонячної енергії

Енергія сонця – це один з найбільш екологічно дружніх та багатообіцяючих видів енергії, який все активніше впроваджується в енергетичні системи міст. На відміну від традиційних джерел енергії — вугілля, газу чи нафти — сонячна енергія не залишає за собою шлейф з отруйних викидів. Немає ані діоксиду вуглецю, ані оксидів сірки чи азоту, які, як відомо, є одними з головних чинників

забруднення атмосфери та зміни клімату. І це не просто якісь абстрактні шкідливі речовини — це ті самі гази, які спричиняють парниковий ефект, підвищення температури, кислотні дощі й загалом шкодять усьому живому.

Коли мова йде про великі міста або навіть невеликі громади, кожне рішення щодо джерела енергії має значення. Встановлення сонячних електростанцій або колекторів — це не просто крок до економії. Це крок до незалежності від ринку, який то росте, то падає, де ціна газу або електрики може змінюватися ледь не щотижня. І паралельно — це спосіб зменшити техногенне навантаження на природу, бо що менше спалюється палива — то чистіше повітря й стабільніше довкілля.

Цей підхід добре вписується в концепцію сталого розвитку, де важливим є не лише економічний ефект, а й екологічна рівновага. І сонячна енергетика в цьому плані виглядає максимально логічною. Вона працює тихо, без викидів, і дає змогу зменшити вуглецевий слід, який залишає кожне місто, кожне підприємство й навіть кожен будинок.

Екологічні переваги енергії сонця:

- Зниження викидів в атмосферу;

Сонячна енергія генерується без використання масивних теплових агрегатів або спалювання палива, відтак не вивільняє шкідливі гази, на кшталт діоксиду сірки, діоксиду азоту або вуглецевих окислів, що утворюються в процесі горіння звичайних видів палива.

- Мінімальний вплив на водні ресурси;

Тоді як у звичайних джерелах енергії, як теплова та атомна, видобуток сонячної енергії не потребує значних обсягів води для технологічного процесу. Отже, сонячна енергетика не спричиняє інтенсивного водокористування та забруднення водних ресурсів.

- Зменшення навантаження на землю та довкілля;

Для монтажу сонячних панелей не потрібно вирубувати ліси чи займати великі площі, як це звично буває при видобуванні енергії з інших джерел, наприклад, вугілля або нафта.

- Зменшення необхідності споживання пального;

Застосування сонячної енергії допомагає зменшенню потреби у використанні вичерпних джерел, як-от вугілля та нафта. Це призводить до скорочення обсягів їхнього видобутку й перевезення, а разом із цим – зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Економічні переваги сонячної енергії:

- Скорочення витрат на електроенергію;

Встановлення сонячних батарей відкриває перспективу суттєвого зменшення залежності від комунальних платежів. Виготовлення електроенергії за допомогою сонячних панелей виявляється економічнішим, ніж придбання струму у енергетичних компаній.

- Короткий термін окупності;

Для звичайного українського домогосподарства, річне споживання якого становить 3000-4000 кВт·год, сонячна електростанція потужністю 5-7 кВт, обладнана системою накопичення, здатна покрити до 70-80% енергетичних потреб. Враховуючи актуальні ціни на електроенергію та відповідне обладнання, період окупності такої системи зазвичай варіюється від 7 до 10 років, що є суттєво меншим за термін експлуатації основних елементів.

- Можливість продажу надлишкової електроенергії;

Окрім того, у вас є змога отримати додаткову фінансову вигоду від продукування електроенергії надлишковою сонячною потужністю. Якщо ви генеруєте більше енергії, аніж споживаєте, то можете реалізувати надлишки електроенергії в мережу за "зеленим тарифом", що також дасть вам додатковий прибуток.

- Підтримка з боку держави;

Створення програми субсидій для населення, що дозволяє покрити частково витрати на монтаж панелей. Також існують різноманітні гранти, які забезпечують фінансову допомогу для встановлення сонячних електростанцій. До державної підтримки належать пільги та звільнення для осіб, що вже встановили сонячні панелі. Все це сприяє зниженню витрат на монтаж та обслуговування панелей, та робить їх доступними та економічно вигідними.

У випадку з сонячними колекторами можна виділи такі плюси:

- Постійний доступ до тепла та гарячої води завдяки енергії сонця;
- Суттєва економія на комунальних послугах;
- Незалежність від традиційних ресурсів;

В цілому, інтеграція сонячної енергії у міське середовище позитивно впливає не тільки на екологію, але й на економічну автономію інфраструктурних об'єктів. Цей метод дозволяє не тільки заощаджувати фінанси, але й будувати енергетичну незалежність міст, що набуває особливої значущості в умовах енергетичних загроз та змін клімату.

1.4. Потенціал сонячної енергетики в Україні

Сонячна енергетика в Україні тільки починає свій розвиток, проте має у собі значний потенціал. Щорічний обсяг сонячної енергії, який отримує Україна, перевищує показники Німеччини, однієї з передових країн у цій сфері. Протягом періоду з 2018 по 2020 роки потужність сонячної генерації зростає майже в п'ять разів. Станом на 2024 рік, приблизно 75% усієї виробленої в Україні "зеленої" енергії (якщо не враховувати великі ГЕС) припадає саме на сонячні електростанції. Загалом по країні працює близько 1400 об'єктів сонячної генерації різної потужності. Ці станції належать 931 ліцензованому виробнику, згідно з офіційними даними з реєстру НКРЕКП станом на 24 квітня 2024 року.

Застосування сонячного світла є раціональним для продукування тепла та електроенергії і може здійснюватися на всій території України. Річна сонячна енергія, що досягає України коливається від 1070 кВт·год/м.кв. на півночі до 1400 кВт·год/м.кв. і більше в АР Крим.

Нижче на рис. 1 детально зображено сонячний потенціал України.



Рис. 1.1.

Енергетичне устаткування здатне ефективно функціонувати весь рік, хоча найбільша продуктивність спостерігається протягом семи місяців на рік — з квітня по жовтень — сонячні електростанції в Україні працюють з максимальною ефективністю. Майже 50% усіх СЕС зосереджено в шести регіонах: Івано-Франківській, Дніпропетровській, Вінницькій, Хмельницькій, Київській та Миколаївській областях. Натомість найменше таких об'єктів встановлено у Луганській, Донецькій, Сумській та Полтавській областях. За час повномасштабної війни близько 13% промислових сонячних електростанцій було зруйновано або зазнало пошкоджень, тож ці потужності наразі потребують якнайшвидшої реконструкції.

Щоб перетворювати енергію сонця в електричну доцільно застосовувати фотоелектричні системи. Значні запаси сировини, потужна промислова та науково-технічна база для виробництва фотоелектричних пристроїв дозволяють повністю забезпечувати потреби вітчизняних споживачів, а також експортувати вироблену продукцію.

Потенціал виробництва електроенергії сонячними електростанціями для домогосподарств на 1 кВт потужності (табл. 1).

Область	Широта	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	За год, кВт*ч
		Генерація енергії з 1 кВт ФЕМ (кут 35 градусів) в місяць, кВт*год												
АРК	44°	58,9	74,1	122	141	167	159	167	165	137	112	78,4	52,8	1434,2
Вінницька	49°	37	49,4	106	131	158	152	153	146	110	84	38	26,1	1190,5
Волинська	50°	31,1	44,7	105	132	148	140	144	140	105	78,4	37,6	24,7	1130,5
Дніпропетровська	48°	36,3	59,5	110	133	154	154	159	154	119	89,1	44,6	27,7	1240,2
Донецька	48°	41,2	60,4	111	136	164	161	168	163	131	39,8	50,8	28,2	1254,4
Житомирська	50°	33,8	50,6	104	131	155	148	149	140	104	77,2	32	24,8	1149,4
Закарпатська	48°	35,6	55,9	116	137	150	148	152	154	117	89,6	47,6	25,4	1228,1
Запорізька	47°	43,4	66,2	122	144	170	165	170	165	130	99,6	51,7	33,1	1360
Івано-Франківська	48°	38,9	52,9	105	129	143	134	142	137	106	83,8	45,9	33,1	1150,6
Київська	50°	33,3	53,5	110	133	159	153	154	142	108	76,4	30,1	22,3	1174,6
Кіровоградська	48°	40,3	63,6	115	138	161	161	167	162	125	95,5	45,6	32,1	1306,1
Луганська	48°	41,8	62,1	110	136	166	16	165	161	128	89,9	47,9	26,3	1295
Львівська	49°	37,1	51,1	106	131	144	139	142	139	106	80,9	40,9	31,1	1148,1
Миколаївська	46°	47,3	72,9	129	152	174	166	175	170	136	109	59,5	42,2	1432,9
Одеська	46°	47,4	72,8	127	151	175	165	171	168	133	107	56,7	42,7	1416,6
Полтавська	49°	36	59,4	111	134	158	158	158	154	115	83,2	38	27	1231,6
Рівненська	48°	29,7	45,4	103	130	149	144	143	139	104	77,8	36,1	22,8	1123,8
Сумська	50°	30	55	104	129	156	153	150	141	103	70,6	30	21,3	1142,9
Тернопільська	49°	34,2	49,1	107	131	149	144	147	140	109	83,5	40,1	26,9	1160,8
Харківська	50°	36,6	61	110	129	155	156	155	148	111	77,1	37,6	23,8	1200,1
Херсонська	46°	51,9	77,6	129	151	170	165	176	171	140	111	61,6	43,9	1448
Хмельницька	49°	33,7	46,2	105	129	154	148	148	143	110	83,3	38,9	24,9	1164
Черкаська	49°	31,8	55,5	110	140	162	159	159	154	116	83,3	34,6	24,3	1229,5
Чернігівська	51°	30,1	51,8	105	129	157	153	152	140	104	69,7	28,4	20,8	1140,8
Чернівецька	48°	42,2	56,9	110	130	147	140	150	142	112	89,1	47,5	34,2	1200,9

Табл. 1 – генерація енергії з 1 кВт ФЕМ.

Взявши до уваги досвід європейських країн із подібним рівнем сонячного випромінювання, а також загальносвітову тенденцію здешевлення будівництва сонячних електростанцій, в Україні є реальний потенціал для суттєвого зростання виробництва електроенергії. Це стане можливим завдяки розвитку технологій та запуску нових генерувальних об'єктів.

В приватних оселях для генерування тепла в системі водопостачання можна використовувати сонячні колектори. Вони здатні нагріти воду до 70°C. Протягом дня колектори перетворюють сонячну енергію на теплову, яка в свою чергу нагріває воду, яка зберігається в теплоізованих ємностях, що називаються баками-акумуляторами. З останніх вода потрапляє безпосередньо в систему водопостачання. Самі сонячні колектори монтуються на дахах будівель, все інше обладнання в технічному приміщенні.

29 грудня 2021 року Кабінет Міністрів затвердив Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року. Документ встановлює цільові орієнтири: до 2030 року обсяг споживання первинної енергії в Україні не повинен перевищити 91 468 тис. тонн нафтового еквіваленту, а кінцеве споживання має залишатися в межах 50 446 тис. тонн нафтового еквіваленту.

У 2030 році, за сприятливим сценарієм очікується скорочення споживання енергії порівняно з базовим сценарієм: на 22,3 % для первинної та 17,1 % для кінцевої енергії.

Документом також передбачено низку конкретних заходів загального та галузевого спрямування для досягнення поставленої цілі. Заходи охоплюють житлові та бюджетні будівлі, транспортну систему, промисловість і сферу енергетики.

Висновок: у розділі розглянуто сучасні методи використання сонячної енергії для потреб комунальних підприємств, дитячих садків та шкіл. Проаналізовано можливості адаптації традиційної системи енергопостачання, а також екологічні та економічні переваги використання сонячної енергії, зокрема зниження витрат і шкідливих викидів. Визначено значний потенціал сонячної

енергетики в Україні, що відкриває перспективи для сталого розвитку міської інфраструктури.

2. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ У КОМУНАЛЬНИХ ДІПРИЄМСТВАХ

2.1. Принцип роботи сонячних колекторів та СЕС

Сонячні енергетичні системи є інтегральною складовою сучасної відновлюваної енергетики, що використовує сонячне випромінювання як джерело енергії. Ці системи поділяються на дві основні категорії за принципом перетворення енергії: сонячні теплові колектори, призначені для генерації теплової енергії, та фотоелектричні сонячні панелі, що забезпечують пряму конверсію сонячного світла в електричну енергію.

Сонячні теплові колектори, або геліоколектори, є ключовими компонентами систем тепlopостачання, які накопичують та перетворюють сонячну радіацію на теплову енергію. Ця енергія в подальшому застосовується для гарячого водopостачання, опалення будівель, підігріву басейнів або для різноманітних промислових процесів.

Нагріта рідина рухається до бака-акумулятора, де зберігається до моменту використання. Звідти тепло може використовуватись для підігріву води у крані або для системи опалення. Щоб зменшити втрати тепла, всі частини системи добре теплоізолювані. У вакуумних колекторах, наприклад, навколо трубок створюється вакуум — це як термос, який майже не віддає тепло назовні. Завдяки цьому навіть в умовах морозу або при хмарній погоді вакуумні колектори здатні працювати ефективно.

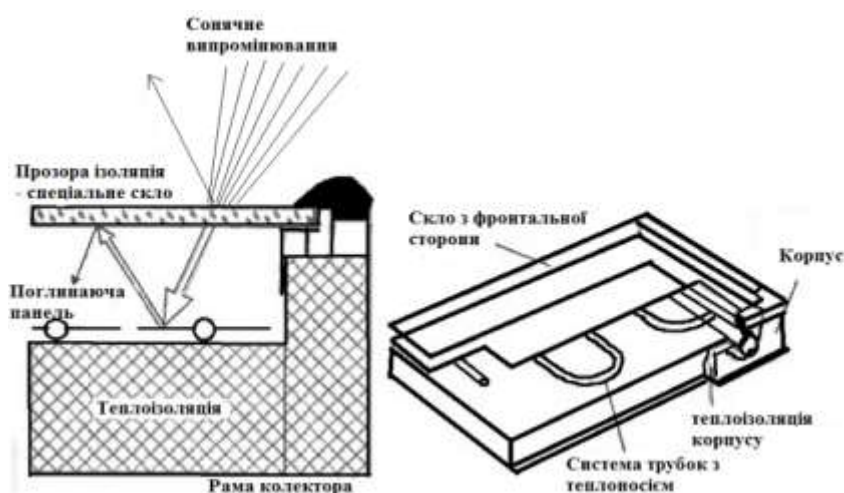


Рис. 2.1 – схема плоского колектора.

Принципи термодинамічної конверсії:

- Поглинання сонячного випромінювання;

Усередині колектора є абсорбер. Це така чорна або дуже темна пластина, яка просто обожнює сонце і максимально його поглинає. Чим темніша поверхня, тим краще вона "вбирає" тепло. Над абсорбером зазвичай є прозоре скло, яке пропускає сонячні промені, але не дає теплу просто так "втекти" назад, як у теплиці.

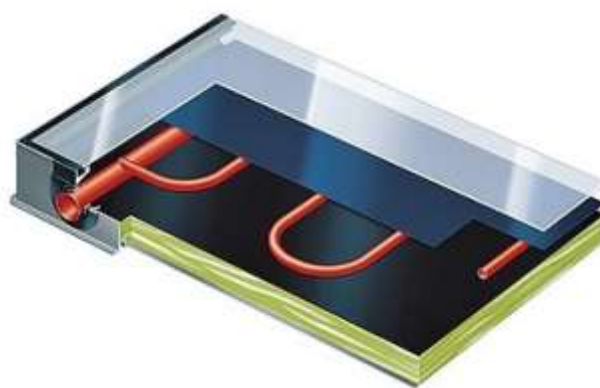


Рис. 2.2 – плоский колектор.

- Передача тепла системі;

Коли абсорбер нагрівається, він передає це тепло спеціальній рідині – теплоносію. Ця рідина (зазвичай, суміш води й антифризу, щоб не замерзала взимку) циркулює по трубочках, які проходять через абсорбер. Отже, теплоносії забирає все тепло від пластини. Нагрівається він, до речі, досить сильно, іноді до 90°C!

- Циркуляція тепла та зберігання;

Далі нагрітий теплоносії починає свою подорож. Його "качає" насос (це вже активна система), і він рухається до великого бака – теплового акумулятора. У цьому баку є спіраль-теплообмінник, через яку проходить наш гарячий теплоносії. Він віддає своє тепло воді, що знаходиться в баку. А сам

теплоносії, вже охолодженій, повертається назад у колектор, щоб знову набратися сонячної енергії.

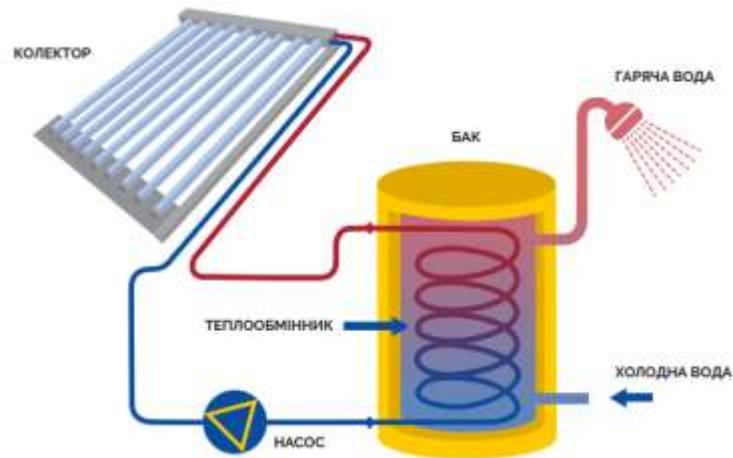


Рис.2.3 – принцип роботи колектора.

- Використання гарячої води.

Ну, і нарешті, вода в баку нагріта і готова! Можна користуватися гарячим душем, мити посуд або навіть підключати до системи опалення.

Що стосується СЕС, або сонячних електростанцій, то принцип їх роботи побудований на зовсім іншому процесі — на фотоелектричному ефекті. Основним елементом СЕС є сонячні панелі, які складаються з багатьох фотоелементів. Ці фотоелементи виготовлені з напівпровідникових матеріалів, переважно з кремнію. Коли на них потрапляє сонячне світло, енергія фотонів вибиває електрони з атомів матеріалу, і так виникає електричний струм.

Проте цей струм є постійним, а в побутовій мережі використовується змінний. Тому далі цей струм надходить в інвертор, який перетворює його в змінний і подає у внутрішню електромережу будинку. Якщо система автономна, електроенергія зберігається в акумуляторах. Якщо система мережевого типу, вона може передавати надлишки електрики в загальну мережу, за "зеленим тарифом".

Фотоелектричні сонячні панелі (СЕС):

- Фотоелектричний ефект;

Панелі складаються з маленьких "плиточок" – сонячних елементів, які найчастіше роблять з кремнію. Коли сонячне світло (а точніше, його частинки – фотони) потрапляє на кремнієвий елемент, він "вибиває" звідти електрони. Уявіть, як ніби фотон "штовхає" електрон, і той починає рухатися.

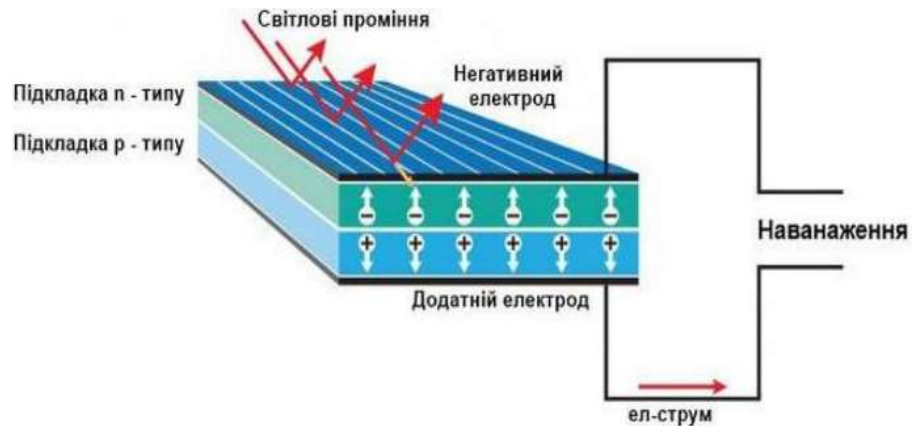


Рис. 2.4 – принцип роботи сонячного елемента

- Постійний струм;

Ці "вибиті" електрони починають рухатися в одному напрямку, і це створює постійний електричний струм (DC). Чим більше сонця, тим більше електронів рухається, тим більше струму отримуємо.

- Інвертування (зберігання).

Наші розетки і більшість приладів "розуміють" змінний струм (AC), а не постійний. Тому після сонячних панелей завжди стоїть спеціальний пристрій – інвертор. Він як переключач: бере постійний струм від панелей і перетворює його на змінний, який вже можна використовувати в домі або віддавати в загальну електромережу.



Рис. 2.5.

Розподіл та використання електроенергії:

- Безпосереднє споживання;

Енергія негайно використовується для живлення електричного обладнання.

- Акумуляція;

Надлишок виробленої енергії може бути накопичений в акумуляторних батареях для подальшого використання в періоди відсутності сонячного випромінювання або низької генерації.

- Мережевий експорт.

У системах з мережевим підключенням (grid-tied systems) надлишок електроенергії може бути експортований у загальну електричну мережу, часто в рамках програм стимулювання (наприклад, "зелений тариф").

На противагу колекторів, СЕС не нагрівають воду, але дають можливість повністю забезпечити будівлю електроенергією. Ці технології особливо важливі для регіонів із інтенсивним сонячним випромінюванням, проте, як демонструє дослідження, в Україні сонячний енергопотенціал є достатнім практично на всій території країни. Наприклад, у Сумській області технічний потенціал також на хорошому рівні, тому використання СЕС тут є цілком виправданим.

Ці технології не тільки дозволяють економити енергію, але й значно зменшують вплив на довкілля, знижуючи викиди CO₂ та інші шкідливі речовини, пов'язані з традиційними способами виробництва енергії. Саме через це вони активно досліджуються й впроваджуються в Україні як частина стратегії енергетичної незалежності та екологічної безпеки.

2.2. Класифікація та конструкція сонячних геліосистем

Почнемо з того, що сонячна геліосистема – це комплекс, який працює як єдиний організм. Кожен елемент має свою незамінну роль, і без нього або система не працюватиме взагалі, або її ефективність буде мізерною.

Це, по суті, серце всієї системи, її головний "ловець" сонячної енергії. Його основне завдання – поглинати сонячне випромінювання та перетворювати його на теплову енергію, яка потім передається теплоносію. Це як чорна плита, яка лежить на сонці і сильно нагрівається, але тільки в нашому випадку тепло не просто розсіюється, а "забирається" для подальшого використання.

Сонячні колектори можна розділили на два типи – плоский та вакуумний, розглянемо кожен більш детально.

Спочатку звернемо увагу на плоский колектор, його конструкція це плоска, прямокутна трубка, зазвичай з металу, добре теплоізована з боків та знизу. Зверху вона закрита прозорим матеріалом, як правило, спеціальним загартованим склом з низьким вмістом заліза, яке добре пропускає сонячні промені, але погано випускає тепло (ефект теплиці). В середині цієї коробки знаходиться абсорбер – це тонка металева пластина (мідь або алюміній), покрита спеціальним високоселективним темним покриттям (наприклад, чорний хром, оксид титану), яке максимально поглинає сонячне випромінювання і мінімально його випромінює назад. До цього абсорбера прикріплені трубки (мідні, найчастіше), по яких циркулює теплоносій.

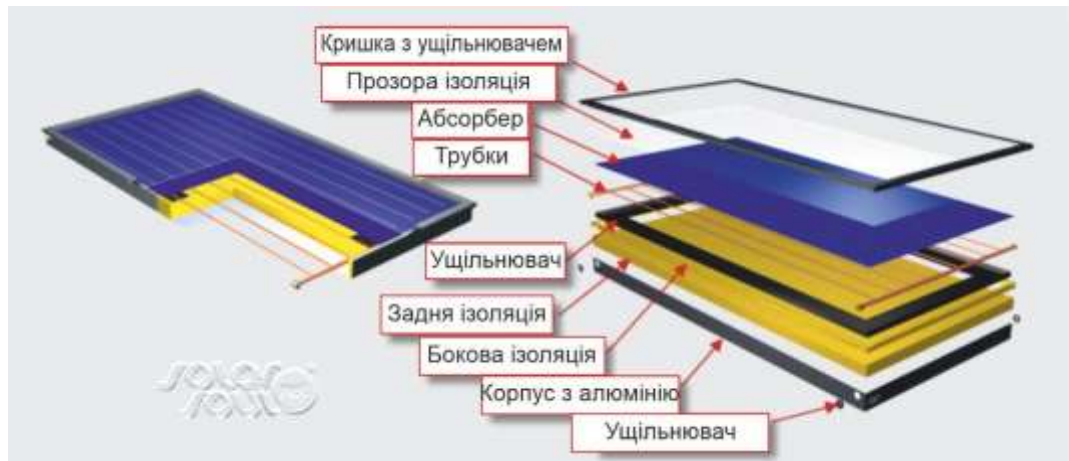


Рис. 2.6 – плоский колектор.

Загальний принцип роботи, сонячні промені проходять крізь скло, поглинаються абсорбером, який нагрівається. Тепло від абсорбера передається теплоносію, що протікає по трубках. Скло та теплоізоляція мінімізують втрати тепла в зовнішнє середовище.

Перевагою плоского колектора можна виділити відносно прості та дешеві у виробництві, надійні, естетично виглядають на даху. Ефективні в сонячну погоду та при температурі навколишнього середовища вище нуля. Ефективність дещо знижується при низьких температурах та сильному вітрі через конвективні та радіаційні втрати тепла.

Тепер розглянемо вакуумний колектор. Складається з ряду скляних трубок (як правило, двостінних, розташованих одна в одній), між стінками яких викачано повітря (вакуум). Вакуум – це найкращий теплоізолятор, який тільки можна уявити. Усередині кожної вакуумної трубки розташований абсорбер (теж з високоефективним покриттям) та тепла трубка (мідна трубка з легкокиплячою рідиною), або U-подібна трубка, по якій циркулює теплоносій. Трубки з'єднуються з загальним колектором (маніфолдом).

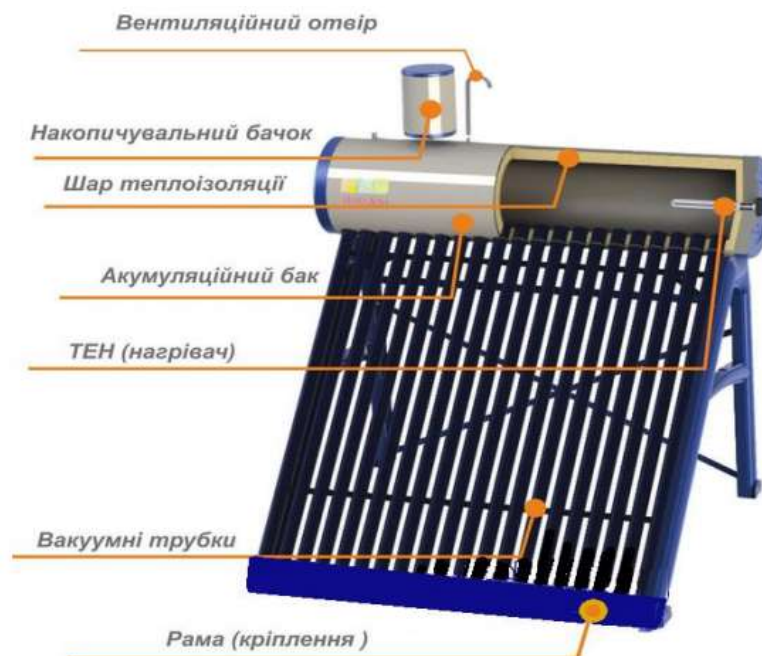


Рис. 2.7 – вакуумний колектор.

Як здійснюється його робота? Сонячні промені проходять крізь зовнішню скляну трубку, поглинаються абсорбером всередині вакууму. Вакуум не дає теплу розсіюватися в повітря. Нагріте тепло всередині трубки передається теплоносію.

Перевагою є дуже висока ефективність, особливо в холодну пору року, при низьких зовнішніх температурах, в похмуру або вітряну погоду, завдяки мінімальним тепловим втратам через вакуум, що в свою чергу є недоліком плоских колекторів. Можуть працювати навіть при невеликому морозі. Дорожчі, складніші у встановленні та обслуговуванні (трубки можуть бути крихкими).

Де геліосистем потрібно встановлювати додаткове обладнання, одне з них бак-акумулятор (тепловий акумулятор)

Це великий, добре теплоізолюваний резервуар для зберігання нагрітої води. Це може бути бак для питної води (наприклад, для ГВП) або бак для технічної води (для опалення). Всередині може бути один або декілька теплообмінників.

Навіщо він у системі? Сонце світить лише вдень, і не завжди з однаковою інтенсивністю. Щоб мати гарячу воду або тепло тоді, коли сонця немає (вночі, в пасмурну погоду, або просто ввечері, коли потреба найбільша), необхідно

накопичувати отриману енергію. Бак-акумулятор виконує функцію "батареї" для теплової енергії. У дипломній роботі якраз згадувалася ефективність використання, і без баку-акумулятора ця ефективність була б дуже низькою через нерівномірність надходження сонячної енергії.

Зазвичай це циліндричний бак, виготовлений зі сталі (нержавіючої або зі спеціальним антикорозійним покриттям, емаллю). Обов'язково має дуже якісну теплоізоляцію (пінополіуретан, мінеральна вата) зовні, щоб мінімізувати втрати тепла. У баку можуть бути вбудовані спіральні теплообмінники (один для сонячного контуру, інший – для допоміжного джерела тепла, наприклад, електричного ТЕНа або газового котла). Також є патрубки для входу холодної води, виходу гарячої води, підключення датчиків температури, рис. 2.8.

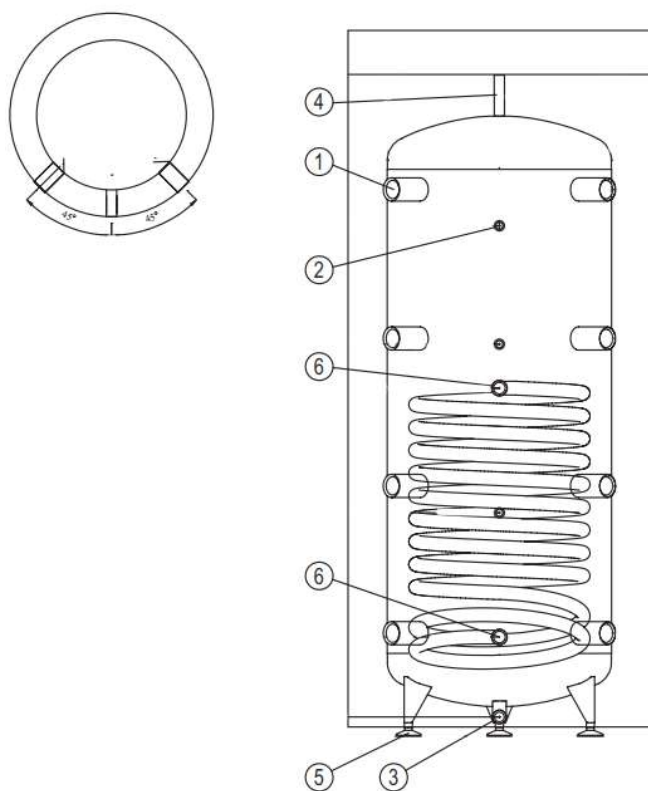


Рис. 2.8. Схема і конструкція теплового акумулятора: 1 – з'єднувальний патрубков; 2 – гільза датчика температури; 3 – патрубков зливу; 4 – з'єднувальний патрубков повітрозбірника; 5 – опори; 6 – патрубков підключення змійовика.

Також в цю систему потрібно додавати розширювальний бак. Це герметична ємність, розділена еластичною мембраною на дві камери: одну для

теплоносія, іншу – для повітря або азоту під тиском. Коли рідина (теплоносії) нагрівається, вона розширюється в об'ємі. Якщо цьому розширенню не дати кудись подітися, тиск у закритій системі зросте до критичного рівня, що може призвести до руйнування труб, колектора або інших елементів. Розширювальний бак компенсує ці зміни об'єму теплоносія, приймаючи надлишок рідини при нагріванні і віддаючи її назад при охолодженні, підтримуючи стабільний тиск у системі.

Формула розрахунку мінімального об'єму бака ($V_{\text{бак}}$).

$$V_{\text{бак}} = \frac{V_{\text{сист}} \cdot \beta \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{min}})}{1 - \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}}}$$

Де:

- $V_{\text{сист}}$ – загальний об'єм води в системі (опалення або ГВП), л;
- β – коефіцієнт теплового розширення теплоносія:

Для води: 0,00034 (при нагріванні на 10°C об'єм зростає на 0,34%).

Для антифризу (етіленгліколь 20%): 0,00045.

- t_{max} – максимальна температура теплоносія (наприклад, 90°C);
- t_{min} – початкова температура (наприклад, 10°C);
- P_{max} – максимальний тиск у системі (наприклад, 3 бар);
- P_{min} – мінімальний (початковий) тиск (наприклад, 1,5 бар).

Насосна група (для систем з примусовою циркуляцією) зібраний воєдино блок елементів, який забезпечує рух теплоносія по сонячному контуру.

У системах з примусовою циркуляцією (які є найпоширенішими та найефективнішими для більшості застосувань) теплоносії сам по собі не буде рухатися з потрібною швидкістю та в потрібному напрямку. Насосна група "жене" теплоносії від колектора до бака-акумулятора і назад, забезпечуючи ефективну передачу тепла.



Рис. 2.9 – насосна група.

Включає:

- Циркуляційний насос: Власне, мотор, який створює потік.
- Витратомір (ротаметр): Показує швидкість потоку теплоносія, що дозволяє контролювати роботу системи.
- Запірні крани: Для перекриття потоку під час обслуговування.
- Зворотний клапан: Запобігає зворотному потоку теплоносія, коли насос вимкнений.
- Манометр: Показує тиск у системі.
- Термометри: Для контролю температури теплоносія.
- Запобіжний клапан: Автоматично скидає надлишковий тиск у системі, якщо він перевищує допустимий (це важливо, бо при перегріві теплоносіїв може перетворитися на пару, тиск сильно зростає).

Електронний пристрій, який є "мозком" усієї сонячної геліосистеми це контролер (блок керування).

Контролер постійно моніторить температури в різних точках системи (на колекторі, в баку-акумуляторі) і, виходячи з цих даних, приймає рішення про роботу системи. Без нього не було б можливості ефективно використовувати сонячну енергію та захищати систему від перегріву чи замерзання.

Електронний блок з мікропроцесором, датчиками температури (які встановлюються в колекторі та баку), дисплеєм для відображення інформації та кнопками для налаштування.

Якщо температура на колекторі вища за температуру в баку-акумуляторі на заданий поріг (наприклад, на 5-8°C), контролер вмикає циркуляційний насос. Теплоносій починає циркулювати, віддаючи тепло в бак. Коли різниця температур зменшується до певного мінімуму, або бак повністю нагрітий, контролер вимикає насос. Також контролер може мати функції захисту від перегріву (коли колектор занадто гарячий, він може зупиняти насос або відводити надлишкове тепло) та замерзання (вмикає насос, якщо теплоносій в колекторі починає замерзати, або активує антифризний режим).

Для коректної роботи звертаємо увагу на трубопроводи та фітинги, це мережа труб (зазвичай мідних або зі спеціального металопластику), які з'єднують усі елементи системи в єдиний контур. Фітинги – це з'єднувальні елементи (муфти, трійники, коліна).

Вони є "кровоносною системою" геліосистеми, по якій теплоносій транспортує тепло від колектора до баку-акумулятора і назад. Трубопроводи сонячного контуру повинні бути розраховані на високі температури (до 150-180°C у стагнації, коли система не працює, але сонце світить і теплоносій може перегрітися) і тиск. Дуже важлива якісна теплоізоляція цих труб, особливо тих, що знаходяться на вулиці або в неопалюваних приміщеннях. Втрата тепла через погано ізольовані труби може суттєво знизити ефективність усієї системи.

Отже, сонячна геліосистема – це не просто панель на даху, а складна, але дуже логічна і ефективна система, де кожен компонент виконує свою роль, забезпечуючи збір, перетворення, зберігання та використання сонячної енергії.

2.3. Характеристика фотоелектричних та геліотермальних модулів

В умовах актуального пошуку заміни традиційним джерелам енергії для зменшення техногенного навантаження на довкілля важливе місце посідає використання сонячної енергії. Сонячна енергія може бути перетворена у два основні типи енергії: електричну — за допомогою фотоелектричних модулів (сонячних батарей), та теплову — завдяки геліотермальним модулям, основою яких є сонячні колектори.

Фотоелектричні модулі

Фотоелектричні (ФЕ) модулі перетворюють сонячну радіацію безпосередньо в електричну енергію на основі фотогальванічного ефекту. Основним елементом такого модуля є фотоперетворювач (сонячна комірка), який виготовляється, як правило, з кремнію.

Виділяють такі типи сонячних комірок:

- Монокристалічні;
- Полікристалічні;
- Тонкоплівкові.

Розглянемо більш детально кожний із них.

Монокристалічні кремнієві фотоелементи

Для виробництва монокристалічних сонячних панелей використовується високоочищений кремній. Ці панелі складаються з окремих силіконових комірок, що візуально нагадують стільники, об'єднані в єдину структуру. Після затвердіння очищений монокристал ріжуть на надтонкі пластини, товщина яких не перевищує 300 мкм. Ці готові пластини з'єднуються за допомогою тонкої мережі електродів. Монокристалічні кремнієві фотоелементи — це один із найпоширеніших і найефективніших типів сонячних елементів, які активно використовуються в сонячних електростанціях. Вони виготовляються з цілісного кристалу кремнію, тому мають характерний темний, майже чорний колір і вирізняються високим ККД. Їх ефективність зазвичай перевищує 20%, що робить

їх особливо привабливими для міських умов, де простір для розміщення панелей обмежений, а потреба в електроенергії – постійна.

Установка монокристалічних панелей на дахах шкіл, садочків та комунальних будівель дає змогу покривати значну частину добових потреб у електроенергії без використання зовнішніх мереж, особливо в сонячні місяці року. Завдяки високій щільності потужності такі панелі можуть забезпечити кращу генерацію навіть при невеликій площі. До того ж, вони мають довгий термін експлуатації – понад 25 років, і зберігають ефективність упродовж усього періоду служби.

Ще однією перевагою є їхня стабільність у роботі. Монокристалічні фотоелементи добре працюють навіть при частковому затіненні або в умовах хмарності, що особливо важливо для північних та центральних регіонів України, де погода може змінюватися. Це дозволяє розраховувати на певний рівень генерації енергії навіть у менш сприятливі дні, зменшуючи ризики перебоїв у живленні важливих установ.

Такі елементи трохи дорожчі за інші типи, наприклад, полікристалічні або тонкоплівкові, проте їхня ефективність і надійність часто перекривають різницю у вартості. Для комунальних закладів, де стабільна робота — це критично важливо, саме монокристалічні модулі стають оптимальним вибором.

Уже зараз у багатьох містах України реалізуються пілотні проекти встановлення таких панелей на дахах шкіл і лікарень. Перші результати показують не тільки економію, а й підвищення енергонезалежності, що особливо важливо в умовах нестабільного електропостачання. Сонячна система з монокристалічними фотоелементами може працювати як основне джерело електроенергії вдень, а з акумуляторними батареями — забезпечувати живлення навіть уночі або під час відключень мережі.

Ціна таких сонячних батарей перевищує вартість аморфних, що пояснюється складнішою технологією їх виготовлення. Водночас вони вирізняються високим показником ефективності — коефіцієнт корисної дії

досягає приблизно 20%, що говорить про їхню високу продуктивність. Зовнішній вигляд панелей представлений на рисунку 2.1.1.



Рис. 2.1.1 – монокристалічна панель.

Полікристалічні кремнієві фотоелементи

Я дізнався, що для створення полікристалів нам потрібно повільно охолоджувати кремнієву субстанцію. Це, як виявилось, набагато дешевше, ніж виробництво монокристалічних панелей. Мені цікаво, що цей метод вимагає менше енергії, що позитивно впливає на кінцеву ціну продукту.

Через особливості виробництва, коефіцієнт корисної дії таких батарей дещо нижчий і зазвичай не перевищує 18%. Це пов'язано з внутрішньою структурою полікристалу, в якому виникають певні утворення, що негативно впливають на ефективність перетворення сонячного світла. Це досить практичне рішення, особливо в ситуаціях, коли вартість обладнання є визначальним фактором.

Зовнішній вигляд такої панелі можна побачити на рисунку 2.1.2 Здається, це досить практичний варіант, якщо ціна є ключовим фактором.



Рис. 2.1.2 – полікристалічна панель.

Аморфний кремній: Гнучкі сонячні батареї та їх особливості

Цей тип сонячних батарей можна віднести як до кремнієвих, оскільки основним матеріалом залишається кремній, так і до плівкових, бо технологія їх виготовлення схожа з тією, що застосовується для плівкових панелей. Водночас між ними є суттєві відмінності. Сьогодні розроблено вже три покоління аморфних сонячних елементів (рис. 2.1.3). Якщо перші моделі мали дуже низький коефіцієнт корисної дії — лише близько 4–5%, то найновіші зразки демонструють ККД до 12%. На ринку переважають панелі другого покоління з ефективністю на рівні 8–9%. За 20–25 років експлуатації потужність таких фотоелементів, як правило, зменшується приблизно на 15–20%.

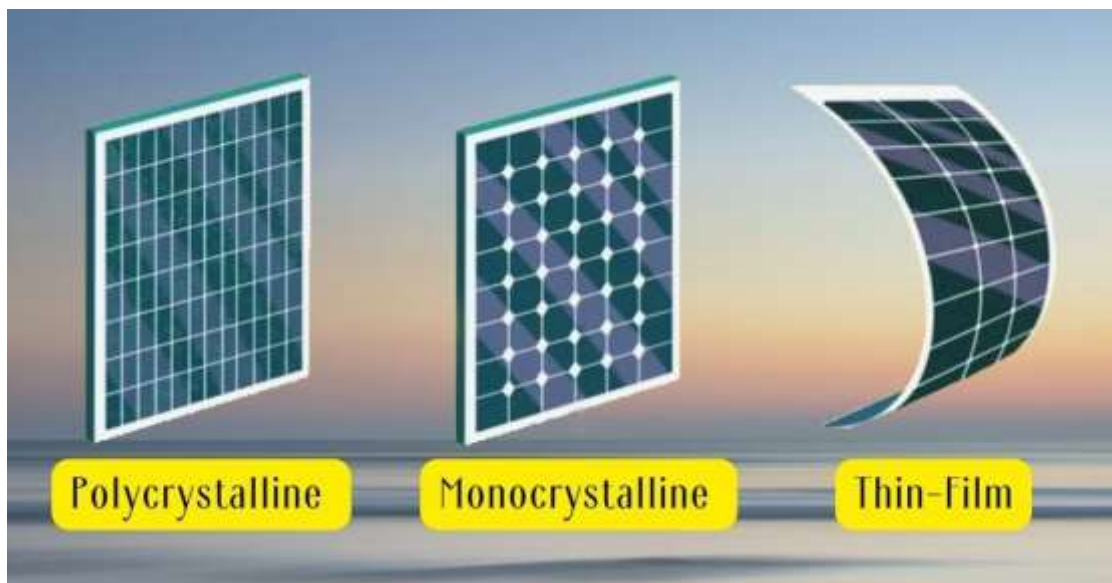


Рис. 2.1.3 – аморфні сонячні елементи 1-го, 2-го, 3-го покоління.

Сонячні батареї на основі аморфного кремнію стали популярними завдяки своїй гнучкості, легкості та відносно невисокій вартості. Їх неважко впізнати серед інших: вони тонші, часто виготовляються у вигляді рулонів або панелей, що легко повторюють вигини поверхні, на яку кріпляться. Це відкриває зовсім інші можливості для застосування, особливо коли стандартні жорсткі панелі просто не підходять — наприклад, на дахах зі складною формою, фасадах будівель чи навіть на тимчасових конструкціях.

Аморфний кремній — це форма кремнію, у якій атоми розташовані без чіткої кристалічної структури. Саме ця особливість дозволяє створювати надтонкі шари матеріалу, що наносяться на гнучку основу — полімерну плівку, метал або скло. Завдяки цьому такі батареї легкі, майже не створюють додаткового навантаження на будівлю й можуть монтуватися навіть у місцях, де конструкція не розрахована на велику вагу. Ще одна важлива риса — вони добре працюють у розсіяному світлі, при хмарній погоді або в тіні, хоча й не настільки ефективні, як інші типи при прямому сонячному освітленні.

ККД у аморфних сонячних батареях нижчий порівняно з монокристалічними чи полікристалічними — зазвичай він становить близько 8–9%. Проте на практиці ці втрати компенсуються іншими перевагами. Наприклад, на поверхні тієї ж площі можна встановити більше панелей завдяки їхній легкості, або використати нестандартні місця, де інші технології просто не працюють. Також при виробництві витрачається менше матеріалів і енергії, що робить аморфні елементи більш «зеленими» з точки зору екології.

Ще однією особливістю є те, що такі панелі менше нагріваються на сонці. Відомо, що при підвищенні температури ефективність більшості сонячних батарей знижується. У випадку з аморфним кремнієм втрати не такі значні, тому в спекотні дні вони можуть показати себе навіть краще за більш потужні, але менш термостійкі аналоги.

Щодо терміну служби — аморфні батареї працюють приблизно 20–25 років, проте з часом частина потужності втрачається. Зазвичай говориться про

зниження на 15–20% упродовж усього періоду експлуатації. Це слід враховувати при розрахунку загальної продуктивності системи. Але навіть з урахуванням цього, у багатьох випадках саме гнучкі аморфні панелі стають оптимальним рішенням — зручним, доступним і досить надійним.

У міських умовах такі панелі часто використовуються на комунальних об'єктах — там, де потрібно швидко встановити систему, де вага має значення або де є складності з конструктивом будівлі. Вони також підходять для тимчасових споруд, павільйонів, мобільних рішень, аварійного енергозабезпечення. Попри всі технологічні компроміси, що пов'язані з нижчим ККД, аморфні сонячні батареї довели свою ефективність у багатьох практичних ситуаціях. Саме завдяки цьому вони й залишаються затребуваними — особливо тоді, коли гнучкість і простота монтажу важливіші за абсолютну потужність.

Геліотермальні модулі

Сонячні колектори, які також називають геліотермальними модулями, використовуються для того, щоб перетворювати енергію сонця в тепло. Це тепло здебільшого застосовується для підігріву води або повітря. У більшості випадків їх встановлюють для забезпечення гарячого водопостачання, а іноді й для систем опалення. Основні технічні параметри колекторів, що використовуються з такою метою, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика сонячних колекторів

Вид колектора	Оптичний коефіцієнт корисної дії	Коефіцієнт тепловтрат, Вт/(м ² · К)
Плоский сонячний колектор	0,8	3,5
Вакуумний сонячний колектор	0,75	1,4

На сьогоднішній день найбільше поширення отримали плоскі сонячні колектори з одним шаром скла. Їх популярність пояснюється відносно невисокою вартістю виробництва та доволі хорошою тепловою продуктивністю. Фактично, співвідношення ціни та якості у цьому випадку є досить вдалим. Проте в умовах

низьких температур вакуумні колектори починають демонструвати свої переваги — саме в холодну пору року їх ефективність стає помітно вищою.

Вибір типу колектора не може ґрунтуватися лише на вартості. Ключовими технічними характеристиками, які слід брати до уваги, є вихід енергії, оптична ефективність, а також коефіцієнти тепловтрат. Вихід енергії показує, скільки тепла здатен дати колектор за рік у стандартних умовах освітлення (1000 Вт/м^2) з розрахунку на 1 м^2 діафрагми. Якщо інформації про річний вихід немає, тоді орієнтуються на інші показники.

Оптична ефективність, позначена як $\eta_{\text{про}}$, вказує на те, яка частина сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню колектора, перетворюється у тепло, за умов, коли тепловтрати відсутні. Чим вищий цей показник — тим ефективніше працює колектор.

Коефіцієнт лінійних тепловтрат (a_1) показує, наскільки падає ККД при незначному зниженні температури навколишнього середовища. Чим менше це значення — тим краще працюватиме колектор у теплі сезони. Натомість коефіцієнт нелінійних тепловтрат (a_2) стосується ситуацій, коли різниця між температурою колектора та середовища суттєва — цей показник є особливо важливим для зими чи пізньої осені. Чим нижчий a_2 , тим ефективніше працює пристрій у холод.

Ідеального колектора з максимально вигідними показниками $\eta_{\text{про}}$, a_1 і a_2 знайти досить складно. Часто висока оптична ефективність поєднується з більшими тепловтратами, або ж низький коефіцієнт одних втрат компенсується високими втратами в інших умовах. Тому при виборі доводиться шукати компроміс.

Основним елементом геліосистеми є скляна вакуумна трубка, конструкція якої забезпечує ефективне поглинання сонячної енергії та передачу її теплоносію. Вона складається з двох скляних колб. Зовнішню виготовлено з боросилікатного скла, яке має високу міцність і здатне витримувати навіть град

до 25 міліметрів у діаметрі — це важлива перевага, зважаючи на зовнішню експлуатацію.

Внутрішня колба також зроблена з боросилікатного скла, але покрита спеціальним трирівневим шаром, який розроблено для максимально ефективного поглинання сонячного світла. Усередині розташована теплова трубка з чистої міді, заповнена ефіром. Саме цей елемент відповідає за передачу тепла. Під дією сонця ефір випаровується, підіймається вгору, передає тепло антифризу, конденсується й знову опускається вниз, щоб повторити цикл. Така конструкція забезпечує безперервну циркуляцію тепла, що робить систему ефективною навіть у нестабільних кліматичних умовах (див. рисунок 2.1.4).

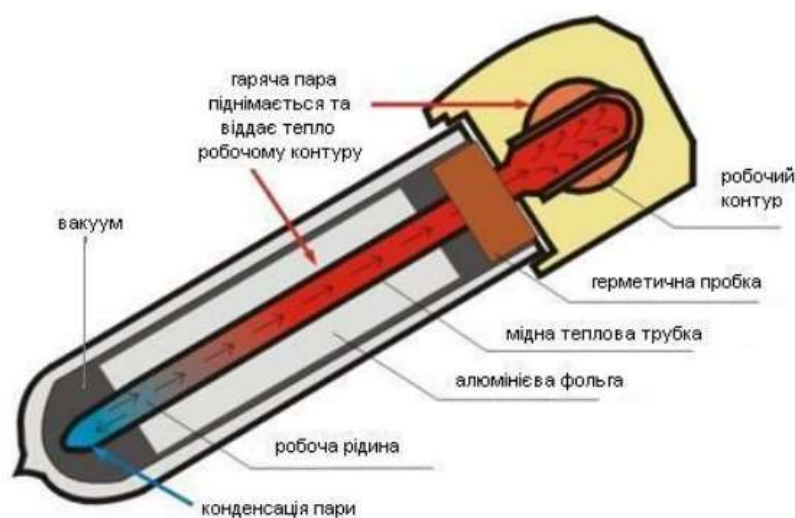


Рис. 2.1.4 – вакуумна трубка.

Саме ефір, який знаходиться всередині мідної теплової трубки, під дією сонячного випромінювання нагрівається та випаровується. У вигляді пари він піднімається до верхньої частини трубки, де передає тепло стінкам, а від них — теплоносію (антифризу), що рухається в системі. Після цього ефір знову конденсується, опускається вниз і цикл повторюється.

Для збереження вакууму між скляними колбами на внутрішню частину нижньої колби наносять спеціальний шар барію. Цей шар виконує роль індикатора — якщо вакуум зберігається, він має темний відтінок. Якщо ж вакуум порушено, шар барію стає білим, що легко помітити візуально.

Типи поверхонь колектора:

Існує три типи колекторських термінів, і вони визначаються наступним чином:

- Загальна площа колектора – визначається виходячи з зовнішніх розмірів корпусу колектора. Це важливо лише для планування місця забудови;
- Площа абсорбера – говорить про розмір найважливішого елемента колектора, що поглинає сонячну енергію;
- Площа апертури – інформує про активну поверхню, яка може бути виставлена на прийом сонячного випромінювання. Абсорбер може бути частково затінений зовнішнім корпусом колектора.

Сонячні установки не робляться з великими розмірами, установка дуже великої площі колектора збільшує інвестиційні витрати і продовжує термін його окупності. При підборі елементів установки передбачається, що колектори повинні забезпечувати 50-70 відсотків річної потреби в теплі для нагріву комунальної води – в літній період колектори повинні покривати потребу в 100 відсотках. Якщо колектори спрямовані на південь, в незатіненому місці, під кутом 40° , то простими словами можна зробити наступні припущення:

- Установка з плоскими колекторами для приготування гарячої води повинна мати активну площу $1-1,5 \text{ м}^2$ на людину – тобто $4-6 \text{ м}^2$ у випадку з сім'єю з чотирьох осіб;
- Установка з вакуумними колекторами для приготування гарячої води для побутових потреб повинна мати активну площу $0,6-0,8 \text{ м}^2$ на людину – тобто $2,4-3,2 \text{ м}^2$ у випадку з сім'єю з чотирьох осіб.

2.4. Ефективність водяних колекторів

Однією з ключових характеристик сонячних колекторів є зведена поглинальна здатність ($q_{\text{погл}}$), яка показує, яка частка сонячного випромінювання, що потрапляє на колектор, ним поглинається. Це значення визначається як добуток коефіцієнта прозорості світлопрозорого покриття (Θ) і коефіцієнта поглинання поверхні колектора (a), тобто (Θa), окремо для прямого

та розсіяного сонячного випромінювання. Оскільки метеорологічні дані зазвичай подають інформацію про інтенсивність сонячної радіації на горизонтальну поверхню, при обчисленні $q_{\text{погл}}$ додатково враховується коефіцієнт орієнтації – співвідношення між інтенсивністю випромінювання на горизонтальній площині для розсіяної та відбитої складових.

$$p^r = \frac{\sin^2 \beta}{2}; D = \frac{\cos^2 \beta}{2}.$$

p - це коефіцієнт положення, який визначає співвідношення між інтенсивністю сонячного випромінювання, що падає на нахилену площину колектора, та інтенсивністю цього випромінювання на горизонтальну поверхню.

r - позначає щільність потоку відбитої компоненти сонячної радіації, виражену у ватах на квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

D - це щільність потоку дифузної (розсіяної) частини сонячного випромінювання, також у $\text{Вт}/\text{м}^2$.

β - кут між площиною розміщення колектора та горизонтальною поверхнею, або ж кут нахилу колектора.

Коли сонячне випромінювання розсіяне або відбите (а не пряме), його поглинання колектором вважають постійним — таким самим, як для прямого проміння під кутом 60° . Щоб порахувати всю поглинену енергію, треба враховувати параметри p_s і $(\Theta_a)_s$, але вони мають співвідноситися з даними щільності сонячного потоку (S). Через це розрахунки стають громіздкими, і оцінити довгострокову ефективність колекторів складно. (p_s та $(\Theta_a)_s$),

Для спрощення розрахунків доцільно застосовувати усереднені значення кута падіння сонячного випромінювання, що надходить на поверхню колектора протягом певного проміжку часу, за умови, що цей кут не перевищує 55° . Також варто використовувати середні значення коефіцієнтів прозорості та поглинання (p_s та $(\Theta_a)_s$), які необхідні для обчислення розрахункових коефіцієнтів.

Ключовим параметром сонячного колектора є залежність його ефективності η від відношення $(T_{ex} - T_o)/q_{пад}$, яку визначають під час експериментальних випробувань. Цю залежність зазвичай подають у вигляді прямої лінії, де ордината при нульовому значенні аргументу відповідає оптичному коефіцієнту корисної дії при перпендикулярному (нормальному) падінні сонячного випромінювання. Нахил цієї прямої характеризується тангенсом кута, що дорівнює ефективному коефіцієнту тепловтрат колектора (K_c), вимірюваному в $Вт/(м^2 \cdot К)$. На рисунку 2.1.5 наведено характеристики колекторів різних типів.

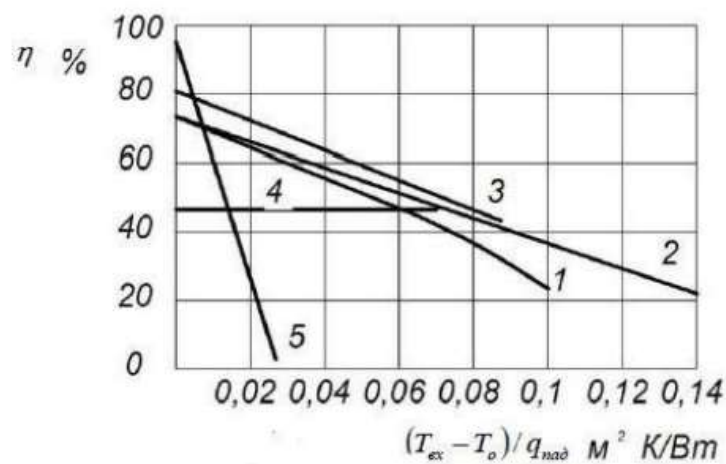


Рис. 2.1.5 - Характеристика типів сонячних колекторів.

- 1 — звичайний (неселективний) сонячний колектор з двома шарами скла і алюмінієвою абсорбуючою пластиною, зробленою штампуванням;
- 2 — також неселективний колектор, але з покриттям, яке зменшує відбивання світла, і має три шари скла;
- 3 — селективний колектор, тобто з покриттям, яке краще поглинає сонячну енергію — тут використаний «чорний хром» на сталевій основі, є тільки один шар скла;
- 4 — вакуумний трубчастий колектор зі скляними трубками та спеціальним концентричним абсорбером з селективним покриттям — один із найефективніших типів;
- 5 — простий неселективний колектор з одним шаром скла, без додаткових покриттів.

У системах сонячного теплопостачання найчастіше використовують два типи колекторів — плоскі та вакуумні. У кожного є свої плюси і мінуси. Плоскі колектори — це самий простий і найдешевший варіант. Вони складаються з абсорбера (елементу, який поглинає сонячне тепло), прозорого шару зверху та шару теплоізоляції знизу. Щоб зробити такий колектор ефективнішим, зазвичай використовують мідні листи для абсорбера, бо мідь добре проводить тепло. Його фарбують у чорний або покривають спеціальною плівкою, яка краще «ловить» сонячну енергію — саме ця плівка є найбільш технологічною частиною в усьому колекторі. Прозору частину найчастіше роблять із скла з низьким вмістом металів або полікарбонату, який має рифлену поверхню. Задня частина колектора утеплюється. Мідні трубки в середині відповідають за перенесення тепла. Сам колектор пропускає повітря і вловлює як пряме, так і розсіяне сонячне світло. Його зазвичай кріплять нерухомо — наприклад, на дах будинку.

Вакуумний колектор — це більш складна система, що трохи схожа на термос. Він складається з прозорих трубок, усередині яких є інша трубка з дуже ефективним селективним покриттям, що добре поглинає сонячну енергію. Між цими двома трубками створюється вакуум, який зменшує тепловтрати. Всередині трубки може бути або спеціальна низькокипляча рідина, або звичайний теплоносій. Через те, що трубки круглі, сонячне світло падає на них майже перпендикулярно — тобто максимально ефективно. Світло, яке приходить під іншим кутом, відбивається.

Переваги вакуумних колекторів такі: вони можуть працювати при високих температурах, мають хороший ККД, не замерзають (особливо пароконденсатні моделі), вловлюють і пряме, і розсіяне світло, не потребують рухомих механізмів для стеження за сонцем, і майже не піддаються корозії.

Якщо говорити про мінуси вакуумних трубчастих колекторів, то їх теж вистачає. По-перше, вони досить крихкі — скляні трубки легко пошкодити. По-друге, у них не така вже й велика площа поглинання, бо абсорбер знаходиться

тільки всередині кожної трубки. Також ці колектори дорogi, оскільки мають складну конструкцію і їх непросто виготовити. Ще один мінус — вони не можуть самі розтоплювати сніг, якщо на них щось налипло, бо для цього потрібні додаткові системи. І останнє — через те, що вони добре ізольовані, іноді можуть «перегріватися», тобто переходити в режим стагнації, коли немає куди віддавати тепло. На рисунку 2.1.6 є порівняння різних видів сонячних колекторів, де все це показано наочно.

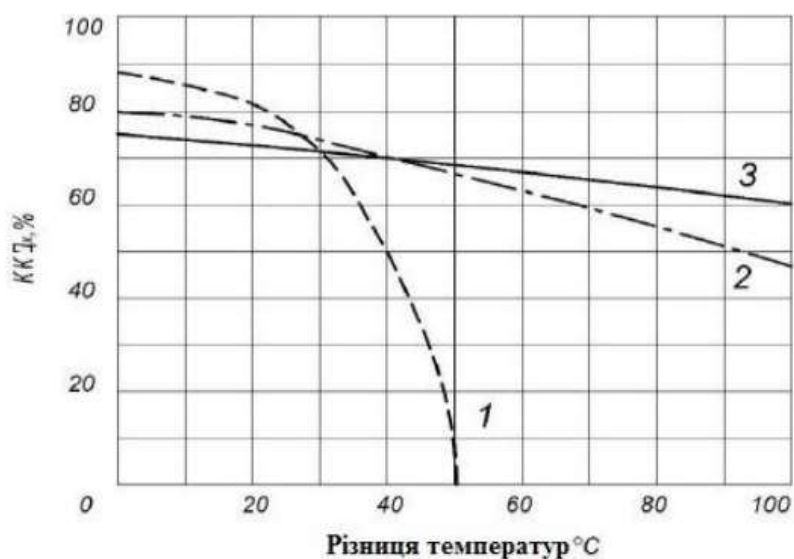


Рис. 2.1.6 – порівняння колекторів сонячного опалення.

Одним із важливих параметрів, який впливає на те, скільки тепла може дати сонячний колектор, є правильно обраний кут його нахилу до горизонту. Цей кут потрібно підбирати з урахуванням пори року, коли установка працює, а також з орієнтацією колектора відносно півдня. Завдяки цьому можна регулювати, скільки тепла буде отримувати система — наприклад, улітку зменшити перегрів, а взимку навпаки — отримати більше тепла. Хоча сумарна теплова потужність за рік змінюється зовсім небагато, правильний нахил усе одно дозволяє покращити ефективність у певні періоди року.

Також треба пам'ятати, що геліосистеми — це лише частина всієї сонячної системи. Вона постійно працює і на її загальну ефективність впливають багато інших чинників, які також треба враховувати під час експлуатації.

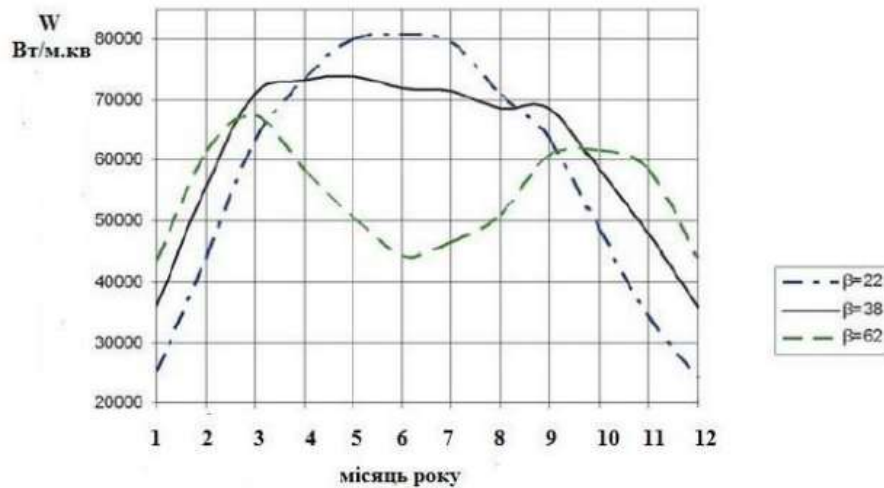


Рис. 2.1.7 – продуктивність колектора при оптимальних кутах нахилу.

Трубчасті сонячні колектори завдяки своїй округлій формі мають більший діапазон кутів, під якими на них можуть ефективно потрапляти сонячні промені. Це робить їх продуктивнішими протягом усього дня, на відміну від плоских колекторів, які працюють найефективніше працюють лише в обідню пору, коли сонце знаходиться високо в небі. Хоча трубчасті колектори складніші за конструкцією, вони вважаються одними з найефективніших.

Через циліндричну форму трубок сонячне світло потрапляє на них майже перпендикулярно, що забезпечує кращу поглинальну здатність. Дослідження, які проводив Зур'ян О.В., показали, що найбільш ефективно працюють крайні трубки — перша і остання. А от ті, що знаходяться посередині, через затінення сусідніми трубками можуть втрачати до 30% своєї потужності. Тобто для вакуумних колекторів важливо правильно розрахувати відстань між трубками, щоб уникнути самозатінення й отримати максимум користі.

Ще один важливий фактор — це пора року. Взимку ефективність геліосистем знижується через сніг, який може покривати колектори, або іній, який утворюється вранці. Також зростають тепловтрати, бо частина трубопроводів знаходиться на відкритому повітрі, і теплоносій у них охолоджується. Зате влітку, навпаки, трубки можуть виробляти більше тепла, ніж потрібно. Наприклад, вода в баку-акумуляторі часто нагрівається до максимуму

— 55 °C — і далі колектору просто нікуди передавати тепло. Через це система може працювати впусу, тобто входити в так званий режим стагнації.

Стагнація — це не просто простоювання системи. Вона негативно впливає на теплоносій: при тривалому перегріві він починає розкладатися і стає агресивним, може навіть перетворитися на кислоту, що викликає корозію всередині системи. Також перегрів шкодить мембрані в розширювальному баку — вона втрачає еластичність і швидше зношується. Тому, щоб уникнути таких проблем, радять встановлювати розширювальний бак подалі від колектора — на тій ділянці труби, де йде холодний теплоносій.

2.5. Альтернативні джерела теплопостачання

Питання забезпечення теплом комунальних підприємств, шкіл і дитячих садків давно перестало бути суто технічним. Воно напряду пов'язане з економікою, екологією і навіть соціальною стабільністю в громаді. Усе більше громадян і керівників установ шукають альтернативу традиційному централізованому опаленню або електричному підігріву води, які стали надто дорогими або ненадійними. Крім сонячних колекторів, що вже довели свою ефективність у сонячні дні, існує чимало технічних рішень, здатних забезпечити стабільне й ощадне теплопостачання за будь-якої погоди.

Одним із найпростіших варіантів для нагріву води є водонагрівачі з природною циркуляцією. Їх робота ґрунтується на використанні гарячої води, маючи меншу густину, піднімається догори, витісняючи холодну вниз. Такий рух води відбувається сам собою, без будь-яких насосів чи електроніки. Найчастіше нагрівальний елемент розташований у нижній частині бака або труби, а накопичувач чи теплообмінник — вище. Це просте, надійне та недороге рішення. Воно особливо зручне в невеликих будівлях, де споживання гарячої води не надто велике, і немає потреби в складній системі автоматики. Такі установки не бояться відключення електроенергії, працюють безшумно і практично не потребують обслуговування. Головне — забезпечити правильний ухил труб і достатню різницю у висоті між баком і джерелом нагріву. Але є і

недоліки — циркуляція працює лише тоді, коли різниця температур суттєва. У великих приміщеннях або при значних об'ємах споживання ця система може не справлятися з навантаженням, тому використовується лише як допоміжне або сезонне рішення.

Якщо взяти один кубометр води при температурі 90 °С, то його вага буде приблизно 965 кілограмів. А ось при 80 °С цей же об'єм важить вже 971 кг. Різниця в 6,5 кілограма може здатися незначною, але насправді вона грає важливу роль у роботі системи з природною циркуляцією. Для порівняння — при температурі 40 °С і 30 °С ця різниця ще менша, всього 3,5 кг. І це варто враховувати, особливо коли обирається діаметр труб. Чим менший перепад густини води, тим складніше змусити її рухатися самопливом.

Тут працює дуже простий, але надійний фізичний принцип. Чим гарячіша вода, тим вона легша. І навпаки — холодна вода важча. Саме ця різниця у густині й змушує воду циркулювати у замкненій системі опалення. Нагріта в котлі вода підіймається вгору — спершу потрапляє в розгінний колектор, а звідти вже розходить по трубах. Тим часом холодніша вода, яка ще не встигла нагрітись, "тисне" зверху вниз, повертаючись у котел. І от через те, що ця холодна вода має більшу густину — вона, грубо кажучи, важча — вона витісняє гарячу з котла, і так відбувається постійно. Цикл за циклом. До речі, це ще називають гравітаційною або термосифонною циркуляцією.

Вже на виході з розгінного колектора вода починає поступово втрачати температуру. Проходячи через радіатори чи конвектори, вона охолоджується ще більше. І от цікаво: в найвіддаленіших стояках, де вода вже досить прохолодна, вона починає рухатись швидше, бо густина більша, відповідно і тиск сильніший. Це дозволяє їй швидше повертатися назад у котел.

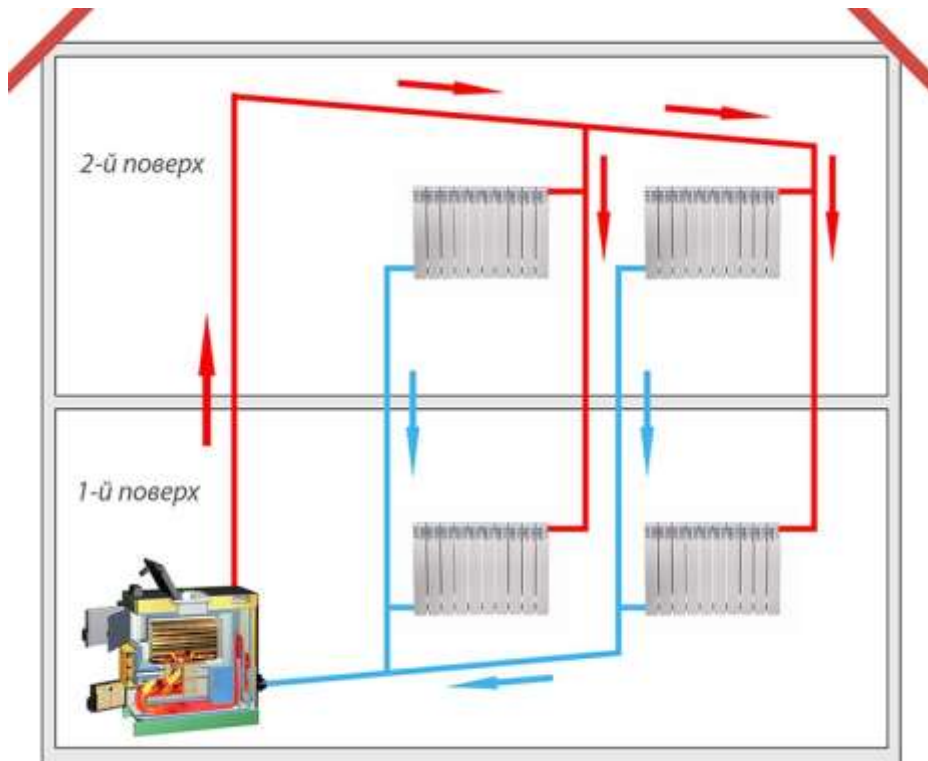


Рис. 2.1.8 – схема опалення із природною циркуляцією.

Якщо ж мова йде про більші об'єкти, де споживання гарячої води стабільне і значне, на перше місце виходять установки з примусовою циркуляцією. Тут уже працюють насоси, які забезпечують постійний рух води незалежно від перепаду температур. Завдяки цьому можна забезпечити рівномірний розподіл тепла у великих системах, включно з кількома поверхами або десятками точок водорозбору. Насоси можуть працювати в різних режимах — автоматичному, за таймером або за датчиками температури. Це дозволяє максимально ефективно використовувати енергію, знижуючи втрати тепла і витрати на електроенергію. До того ж, з'являється можливість інтегрувати установку з іншими джерелами тепла — наприклад, з твердопаливним котлом, тепловим насосом або тим же сонячним колектором. Такі системи можна легко масштабувати, обслуговувати окремі зони приміщення, керувати температурою окремо в кожному крилі будівлі або навіть у кожній кімнаті.

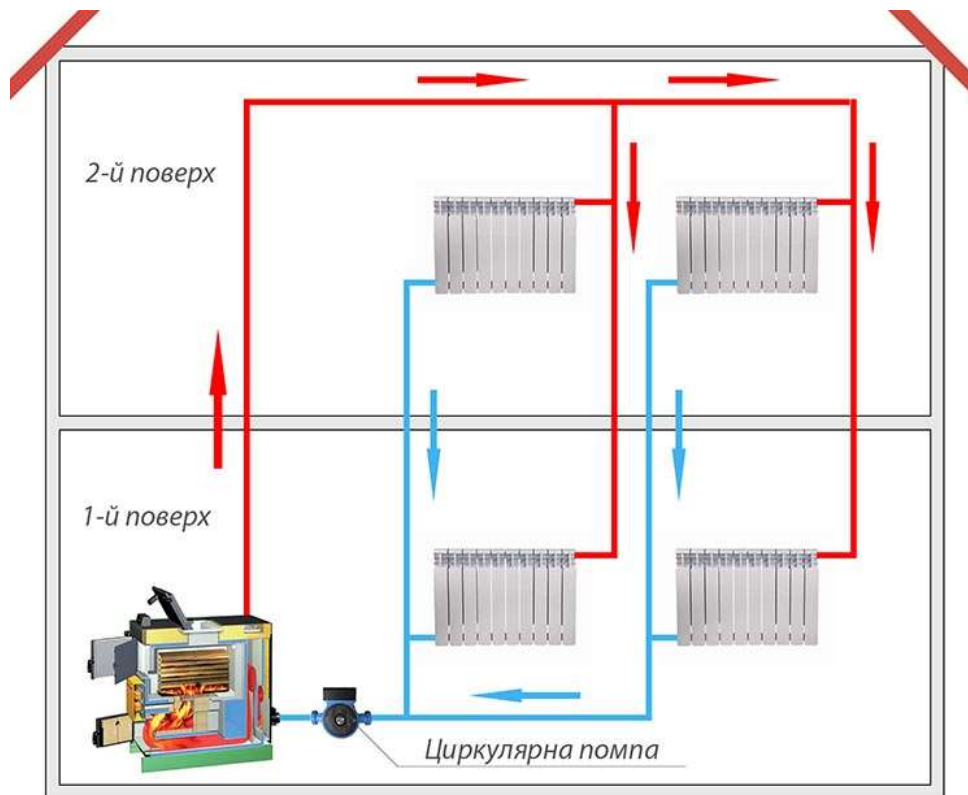


Рис. 2.1.9 – схема опалення з примусовою циркуляцією.

Серед альтернатив також усе ширше використовуються твердопаливні котли. Найчастіше це пелетні або дров'яні установки, які забезпечують досить стабільне тепло протягом усього опалювального періоду. Основна перевага — доступність палива. У багатьох регіонах є можливість використовувати місцеву біомасу, деревину, тирсу, навіть аграрні відходи. Установки сучасного зразка оснащені автоматикою, яка контролює подачу палива, тягу і температуру, що робить їх практично безпечними та зручними в експлуатації. Проте вони вимагають окремого приміщення, системи димовидалення, регулярного очищення золи та контролю якості палива.

Ще один варіант, що набирає популярності — теплові насоси. Це технологія, яка дозволяє забирати тепло з навколишнього середовища — повітря, ґрунту або води — і передавати його в систему опалення. Вони надзвичайно ефективні, особливо в регіонах з м'яким кліматом, де температура рідко опускається нижче нуля. Однак навіть у північних районах сучасні моделі працюють стабільно. Хоча вартість установки досить висока, довгостроково це

економічно виправдано. Насоси практично не потребують обслуговування, а електроенергії споживають набагато менше, ніж традиційні електричні бойлери. Зокрема, для шкіл чи дитсадків, де важлива безперервність і безпечність подачі тепла, це одне з найперспективніших рішень.



Рис. 2.2.1 – тепловий насос.

Теплові насоси — штука на перший погляд трохи дивна. Ну як це — брати тепло з повітря, ґрунту чи навіть з озера, коли надворі мороз? Але саме так вони й працюють. І, що цікаво, це не магія, а чиста фізика — точніше, термодинаміка, яка дозволяє «викачати» навіть те тепло, яке людині майже не відчутне.

Все крутиться навколо холодоагенту — це спеціальна речовина, яка вмiє переходити з рiдини в газ і назад, при цьому поглинаючи або вiддаючи тепло. Коли холодоагент у зовнiшньому контурi випаровується, вiн забирає тепло з навколишнього середовища. Потiм цей газ потрапляє в компресор, де його стискають — і вiн нагiвається. Далi, в серединi будинку, вiн вже у виглядi гарячої пари вiддає тепло у систему опалення або у воду. І весь процес починається знову. Це класичний зворотний цикл Карно — двi iзотерми й двi адiабати, все як у пiдручнику.

Джерелом енергії можуть бути майже будь-які природні середовища — повітря, земля, водойми. Тобто, тепловий насос буквально «витягує» накопичене за день сонячне тепло, навіть якщо сонця зараз немає. Саме це робить систему універсальною і дуже вигідною. Бо сонце, навіть непрямо, все одно гріє землю, воду, повітря — і ця енергія постійно відновлюється. Не треба платити за газ, не треба запасатися дровами — тепла енергія просто є, і насос її бере.

Є ще один нюанс, який часто дивує — це коефіцієнт перетворення енергії, той самий COP. У середньому він становить від 2 до 7. Тобто на кожен витрачений кіловат електроенергії тепловий насос може видати 2, 5 або навіть 7 кіловат тепла. Звичайний електричний обігрівач, на жаль, такого не вміє — він просто перетворює 1 кВт в 1 кВт тепла і все. А тут — справжнє множення енергії, без обману.

Крім того, теплові насоси — це не лише про опалення. Їх можна налаштувати на підігрів води, вони можуть працювати з системою теплих підлог, гріти воду в басейні. А влітку — навпаки, охолоджувати приміщення. Одним словом, дуже гнучке та адаптивне обладнання.

Звісно, як і будь-яка техніка, тепловий насос має свої вимоги: якісна теплоізоляція будинку, правильний монтаж, добрий розрахунок потужності. Але якщо все зробити грамотно, економія буде суттєвою. І що ще важливо — це екологічно. Система не спалює палива, не викидає шкідливих речовин у повітря. Просто використовує те, що вже подарувала природа.

Таке рішення цілком виправдане як для приватних будинків, так і для підприємств, сільських садочків чи навіть теплиць. І хоча на старті це може здаватися трохи затратним, у довгостроковій перспективі тепловий насос точно себе окупить.

Комбінування різних джерел тепlopостачання — ще один напрям, що активно розвивається. Наприклад, у сонячні дні система використовує енергію

коллекторів, а в похмуру погоду вмикається тепловий насос або твердопаливний котел. Це дозволяє знизити залежність від одного джерела, забезпечити стабільну температуру та мінімізувати витрати.

У сучасних умовах, коли кожна гривня на рахунку, а енергетична незалежність стає питанням виживання для цілих громад, альтернативні системи теплопостачання перестають бути екзотикою. Вони доводять свою ефективність у найрізноманітніших умовах — від сільських дитсадків до міських лікарень. І хоча кожен тип має свої особливості, головне — грамотно підібрати рішення під конкретну потребу, враховуючи розмір будівлі, тип користувачів, джерела енергії в регіоні та наявний бюджет. Усе це разом дозволяє створити систему, яка не просто працює, а робить життя в громаді теплішим, комфортнішим і безпечнішим.

Висновок: у розділі розглянуто принцип роботи та конструкцію сонячних коллекторів і фотоелектричних систем, що використовуються в комунальному господарстві. Наведено класифікацію геліосистем, охарактеризовано геліотермальні та фотоелектричні модулі, а також оцінено ефективність водяних коллекторів.

Зазначено перспективність поєднання сонячних технологій з іншими альтернативними джерелами теплопостачання для підвищення енергоефективності підприємств. Застосування таких систем сприяє зниженню витрат та екологічній сталості комунальної сфери.

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСИСТЕМ

3.1. Витрати на сонячні колектори

Вартість впровадження сонячних колекторів для потреб комунальних підприємств, шкіл та дитячих садків складається з кількох основних складових. У першу чергу, це самі колектори, які можуть бути двох основних типів — плоскі або вакуумні. Плоскі дешевші, але менш ефективні в холодні сезони. Вакуумні дорожчі, зате краще працюють в умовах низьких температур і хмарності, що особливо актуально для українського клімату. Ціна одного колектора залежить від виробника, площі поглинаючої поверхні, матеріалів та комплектації. У середньому вакуумні системи обходяться дорожче, але їхній термін служби та ефективність можуть виправдати ці витрати.

Окрім самих колекторів, до витрат відносяться баки-накопичувачі гарячої води, теплообмінники, насосні групи, автоматика та кріплення. Установка системи також коштує грошей, оскільки потребує кваліфікованих спеціалістів. Якщо мова йде про монтаж на даху школи або садочка, можуть виникнути додаткові витрати на підсилення конструкцій даху або адаптацію існуючої системи гарячого водопостачання до нових джерел тепла. Сюди ж входять проєктні роботи, узгодження з відповідними службами та витрати на технічний нагляд.

Загальна вартість однієї сонячної системи для невеликої школи чи дитсадка може коливатися в межах від 150 до 300 тисяч гривень залежно від розміру об'єкта, обраного обладнання та складності монтажу. Для великих комунальних закладів, наприклад, лікарень або басейнів, сума буде значно вищою — до кількох мільйонів. Проте більшість витрат — це одноразові вкладення, які окупаються за кілька років за рахунок зменшення витрат на газ чи електроенергію для підігріву води.

Важливо розуміти, що хоч початкові витрати можуть здаватися високими, в довгостроковій перспективі сонячні колектори дозволяють значно зекономити. Наприклад, у літній період більшість таких систем може повністю забезпечувати

потреби в гарячій воді без жодних додаткових джерел енергії. Це особливо актуально для дитячих садків і шкіл, які мають великі денні витрати води, особливо у харчоблоках та пральнях.

Додатковим плюсом є те, що на ринку є чимало українських виробників, які пропонують цілком конкурентоспроможне обладнання за нижчими цінами, ніж імпортні аналоги. Це дозволяє зменшити загальну вартість проєкту без значної втрати якості. Також деякі місцеві бюджети чи міжнародні програми можуть частково покривати витрати на впровадження енергоефективних рішень у сфері освіти та комунального господарства.

Таким чином, витрати на встановлення сонячних колекторів залежать від багатьох факторів — від типу обладнання до особливостей об'єкта. Але якщо дивитися на це не як на витрати, а як на інвестицію, то вигода стає очевидною — менші рахунки за енергію, стабільне гаряче водопостачання, екологічність і незалежність від зростання тарифів.

Оцінюємо загальні витрати на встановлення геліосистеми, порівнюючи два варіанти: стандартний вакуумний колектор та модернізований варіант зі світловідбивачем, запропонований у цій роботі.

Комплект з двох звичайних вакуумних колекторів, кожен площею 2 м², разом із витратами на обслуговування обійдеться приблизно в 28 000 гривень.

Для порівняння, два вакуумні колектори тієї ж площі, але з додатковими світловідбивальними елементами, мають загальну вартість разом з експлуатаційними витратами близько 29 000 гривень.

Ціни на сонячні колектори залежать від типу та виробника. Наприклад, плоскі самозливні колектори Meibes FKF-200-V (рис. 3.1) з ККД 82% та площею 1,8 м² коштують близько 35 753 грн, а модель FKF-270-V з площею 2,5 м² — 47 623 грн. Вакуумні колектори, такі як Meibes MVK 001, мають нижчий ККД (61%) та потребують уточнення ціни у постачальника.

Готові геліосистеми "під ключ" для 5–6 осіб (250–300 л) з усім необхідним обладнанням, включаючи насосну групу, контролер, розширювальний бак та інші компоненти, коштують близько 103 824 грн .



Рис. 3.1

Оскільки геліосистема функціонує на базі відновлюваного джерела енергії, далі розглядатиметься річна економічна вигода від її використання.

На основі проведених у роботі розрахунків визначається обсяг теплової енергії (в кВт·год), яку система здатна виробити щомісяця для нагрівання води з температури +15°C до +45°C. Добова потреба у гарячій воді становить 250 літрів. У ті місяці, коли середньодобова продуктивність системи дорівнює або перевищує цю потребу, система повністю покриває необхідний обсяг водопостачання. На момент розрахунку вартість 1 кВт·год електроенергії, включно з ПДВ, складає 1,68 грн.

Обсяг теплової енергії, необхідної для забезпечення гарячого водопостачання:

$$Q = m \cdot t \cdot c.$$

де m – загальна кількість води для підігріву в місяць;

c – теплоємність води 1,163 Вт·год/м, оС;

t – різниця температури води.

Крім самих колекторів, для повноцінної сонячної системи гарячого водопостачання або опалення необхідні додаткові компоненти:

- Бак-акумулятор: Для зберігання нагрітої води потрібен теплоізольований бак. Його об'єм залежить від потреб споживачів. Ціна бака може починатися від 4 000 грн за невеликі об'єми (наприклад, 25 л розширювальний бак) і значно зростати для великих баків об'ємом 200-500 літрів, сягаючи 15 000 – 30 000 грн і вище.
- Контролер: Це "мозок" системи, що керує роботою насосів і клапанів, оптимізуючи збір сонячної енергії. Вартість контролера може становити від 700 грн за прості моделі до 5 000 – 8 000 грн за більш функціональні та програмовані пристрої.
- Циркуляційний насос: Забезпечує рух теплоносія по контуру колектора. Ціна на циркуляційний насос для сонячних систем варіюється від 2 000 грн до 5 000 грн, залежно від потужності та виробника.
- Труби та фітинги: Для з'єднання всіх елементів системи використовуються спеціальні труби (зазвичай з нержавіючої сталі або міді) та фітинги, стійкі до високих температур. Їхня вартість залежить від протяжності системи та складності конфігурації. Ціна за погонний метр труб може становити від 80 грн, а фітинги – від 40 грн за штуку, до кількох сотень гривень за складніші елементи. Загальна вартість труб та фітингів для середньої системи може сягати 5 000 – 15 000 грн.
- Розширювальний бак, запобіжні клапани, повітровідвідники та інші дрібні елементи: Ці компоненти є обов'язковими для безпечної та ефективної роботи системи. Їхня сукупна вартість може додати ще кілька тисяч гривень до загального кошторису.

3.2. Термін окупності витрат на геліосистеми

Термін окупності витрат на геліосистеми — це один з найважливіших показників, який дозволяє реально оцінити економічну доцільність встановлення

такої системи. Попри доволі суттєві початкові вкладення, геліосистеми мають одну ключову перевагу — після встановлення вони працюють практично безкоштовно, використовуючи енергію сонця. Саме це дозволяє поступово компенсувати витрати та з часом навіть зекономити.

Термін окупності:

$$T = \frac{K}{E}$$

де: T - термін окупності, років;

K - загальні витрати на встановлення геліосистеми, грн;

E - щорічна економія, грн.

Щоб зрозуміти, за скільки років система окупить себе, потрібно порівняти річні витрати на підігрів води до і після її встановлення. Наприклад, у звичайному дитячому садку або школі на підігрів 250 літрів води щодня витрачається чимало електроенергії або газу. Якщо цю потребу перекриває геліосистема, то щомісяця заклад економить сотні, а подекуди й тисячі гривень. Річна економія виходить ще суттєвішою, особливо в теплу пору року, коли сонячної енергії достатньо і система може працювати на повну.

При середній вартості комплекту геліосистеми в межах 100–130 тисяч гривень і щомісячній економії в 2–3 тисячі гривень, термін окупності становить приблизно 4–6 років. Якщо враховувати постійне зростання цін на енергоресурси, ця цифра може бути ще меншою. У південних регіонах, де кількість сонячних днів більша, ефективність системи вища, отже й повернення інвестицій відбувається швидше. Навіть у північних областях України, де інсоляція нижча, геліосистеми все одно показують достойні результати — просто термін окупності трохи зростає.

Окремо варто зазначити, що після того, як витрати повернулись, система продовжує працювати ще десятки років, приносячи чисту економію. Це означає не просто окупність, а реальний прибуток для закладу. Обслуговування

геліосистеми мінімальне, головне — періодично перевіряти справність контролера, насосу та чистоту колектора.

Ще одним аргументом на користь швидшої окупності є можливість залучення додаткового фінансування з боку місцевих бюджетів або екологічних програм. Якщо частину вартості системи компенсує держава або грантова програма, термін окупності зменшується ще більше, і вже через 2–3 роки система повністю себе виправдовує.

У сучасних умовах, коли ціни на газ і електроенергію зростають практично щороку, встановлення геліосистеми виглядає розумним і вигідним кроком. Навіть за консервативними підрахунками, вона окупається швидше, ніж більшість інших енергозберігаючих технологій. І що важливо — дає не тільки економічний, а й екологічний ефект, зменшуючи викиди в атмосферу та залежність від викопних ресурсів.

Щоб точно визначити термін окупності геліосистеми, потрібні конкретні розрахунки, що базуються на економії енергії та вартості обладнання. У цьому випадку використовується кілька базових формул, які дозволяють зробити реальну оцінку.

Розрахунок річної економії коштів:

$$E = Q_{\text{річна}} \cdot C$$

де: E - економія за рік, грн;

Q_{річна} - кількість заміщеної енергії за рік, кВт·год;

C - ціна за 1 кВт·год (1,68 грн).

Додатково можна розрахувати рентабельність установки системи:

$$T = \frac{E}{K} \cdot 100\%$$

де: R - річна рентабельність вкладення в систему, у відсотках.

3.3. Розрахунок потреби тепла в залежності від сезону

Розрахунок потреби в теплі в залежності від сезону — ключовий момент при плануванні будь-якої системи опалення, особливо коли мова йде про використання відновлюваних джерел енергії. У кожному регіоні, залежно від кліматичних умов, теплове навантаження на будинок змінюється впродовж року, і ці коливання мають велике значення під час визначення ефективності геліосистеми. Особливо важливо враховувати зміну температури зовнішнього повітря в опалювальний сезон, адже саме від неї залежить, скільки енергії потрібно буде витратити на підтримання комфортної температури всередині приміщення.

Для правильного розрахунку беруться до уваги середні багаторічні температури повітря за місяцями, рівень сонячного випромінювання, напрямок вітру та інші показники, які є типовими для кожного сезону. Чим нижча температура зовні, тим більшими будуть тепловтрати, і тим більше енергії доведеться витратити для обігріву. Найбільша потреба в теплі припадає на грудень, січень і лютий, коли денні температури можуть стабільно триматись нижче нуля. У міжсезоння, наприклад, у жовтні чи березні, витрати тепла зменшуються, адже різниця між температурою в приміщенні та надворі вже не така значна.

Особливо суттєвим фактором є об'єм будівлі, площа вікон, орієнтація фасаду до сонця та якість теплоізоляції. Приміщення з великими вікнами, що виходять на південь, може отримувати більше сонячного тепла вдень, і це знижує потребу в додатковому обігріві. Натомість будинки з неякісною теплоізоляцією або з вікнами на північ витратять більше енергії, незалежно від сезону.

Щоб перевести ці дані в конкретні цифри, застосовують стандартну формулу для визначення кількості теплоти, яка потрібна на обігрів: маса теплоносія множиться на питому теплоємність і на різницю температур. Якщо брати воду, то це нагрів на 1 градус одного літра води потребує близько 4,186 кДж

енергії. Але в реальних умовах потрібно враховувати не лише нагрівання води, а й тепловтрати через стіни, дах, вікна та вентиляцію.

Результати розрахунків дозволяють побачити, скільки саме тепла буде потрібно в конкретний період року, а отже — підібрати оптимальну потужність геліосистеми чи будь-якого іншого джерела енергії. Це важливо для того, щоб система не була ні занадто слабкою, ні занадто потужною, адже і в тому, і в іншому випадку це веде до фінансових втрат.

Ще один момент — це вплив сонячного випромінювання. Навіть у зимові місяці, коли дні короткі, геліосистема може давати непогану продуктивність, якщо враховано правильний кут нахилу колекторів і орієнтацію по горизонту. У літній сезон, навпаки, виробіток тепла може значно перевищувати потребу, тому виникає питання зберігання чи регулювання надлишків енергії.

Річний графік потреби в теплі дуже чітко ілюструє сезонність навантаження на систему. Це дозволяє не лише спроектувати ефективну геліосистему, але й зрозуміти, у які місяці можна очікувати реальну економію коштів, а коли доведеться підключати резервне джерело енергії. Такий підхід дає змогу поєднати екологічність, енергоефективність і економічну доцільність в одній системі.

Якщо взяти щоденне споживання гарячої води 250 літрів (тобто 250 кг), і температура нагріву — з $+15^{\circ}\text{C}$ до $+45^{\circ}\text{C}$, отримаємо:

$$Q = 4,186 \cdot 250 \cdot (45 - 15) = 31395 \text{ кДж} \approx 8,72 \text{ кВт/год на день.}$$

Наочне уявлення про зміну потреби в теплі протягом року дає такий графік:

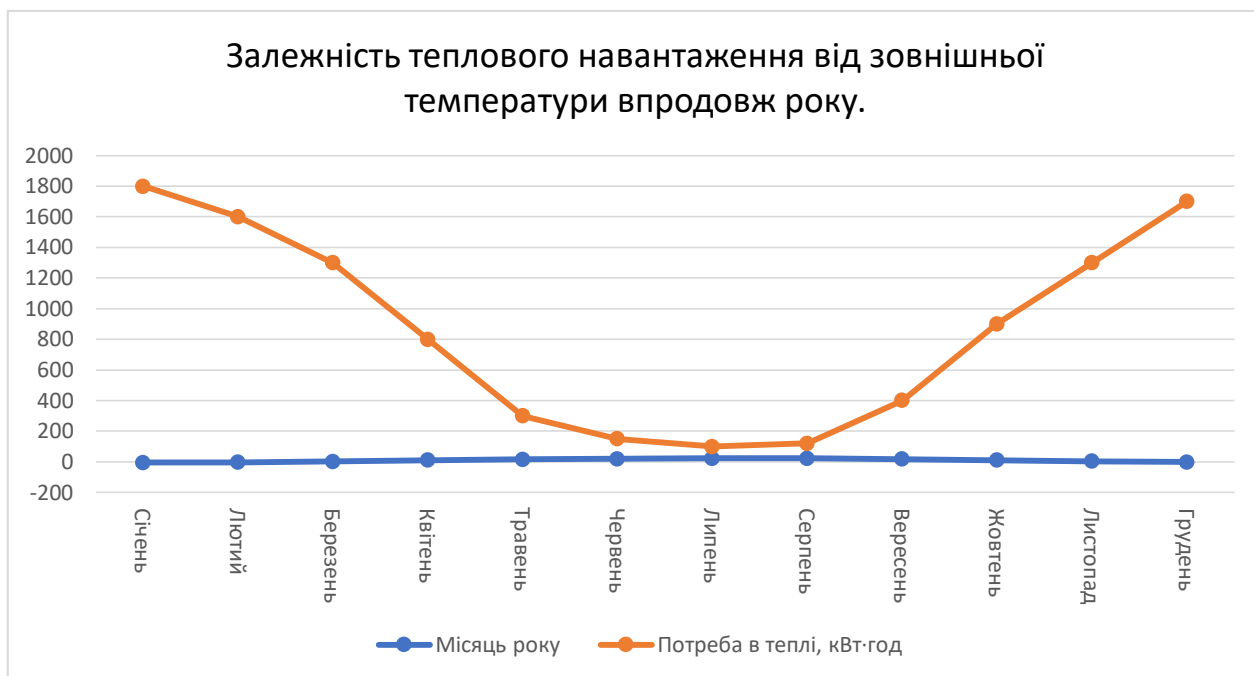


Рис. 3.2 - залежність теплового навантаження від зовнішньої температури впродовж року.

Це лише для водонагріву. Якщо говорити про повноцінне опалення, то важливо враховувати тепловтрати будинку в залежності від зовнішньої температури та теплоізоляції.

Порядок розрахунку сезонної потреби в тепловій енергії для опалення житлових будинків під час стандартного опалювального сезону в Україні визначається відповідно до будівельних норм, а саме ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель», ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» (з урахуванням змін), також ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Настанова з енергетичної сертифікації будівель».

Методика розрахунку базується на визначенні різниці між тепловтратами будівлі та кількістю тепла, що надходить до приміщення в процесі експлуатації. У врахування беруться такі параметри, як температура внутрішнього повітря, об'єм вентиляційного повітря, середньорічні температури зовнішнього середовища та рівень сонячного випромінювання.

Типовий опалювальний сезон розглядається на основі багаторічних середніх кліматичних умов регіону, включаючи середньомісячні та середньорічні температури зовнішнього повітря, а також повне сонячне випромінювання, яке потрапляє на фасади будівлі різної орієнтації. Один із основних показників — це питома теплова потреба, яка визначає співвідношення між загальною кількістю необхідного тепла й площею опалюваних приміщень.

Відповідно до сучасних вимог енергоефективності, в нових будівлях показник питомої теплової потреби повинен бути меншим за граничне значення, яке залежить від співвідношення площі зовнішніх огорожувальних конструкцій (A) до об'єму опалюваного простору (V).

Показник A включає всі поверхні, що контактують із зовнішнім середовищем: зовнішні стіни, вікна, балконні двері, покрівлі, підлоги на ґрунті, перекриття над неопалюваними підвалами або відкритими проїздами. Усі ці елементи обраховуються по зовнішньому периметру будівлі.

Показник V охоплює сумарний об'єм усіх опалюваних приміщень, включаючи технічні зони, які мають опалення, за винятком об'єктів, що не беруть участь у теплообміні (наприклад, шахти ліфтів, лоджії, відкриті галереї, сходові клітки тощо). Питома теплова потреба, розрахована з урахуванням цього співвідношення, є основним критерієм, за яким оцінюється енергоефективність будівлі в умовах українського клімату.

3.4. Модернізація об'єктів

Протягом тривалого часу розмови про енергоефективність у будівництві залишалися переважно на рівні обговорень, тоді як реальна ситуація була зумовлена низькою вартістю енергоносіїв. Через це інтерес до створення енергоощадних будівель залишався слабким. Лише енергетичні виклики, зокрема криза постачання та зростання тарифів, змусили багато країн, зокрема й Україну, шукати нові рішення в сфері енергоефективного будівництва.

Починаючи з 70-х років ХХ століття, у світі розпочався новий етап розвитку будівельних технологій. До кінця століття з'явилися так звані "пасивні будинки", здатні майже повністю обходитися без зовнішніх джерел енергії. В Україні ж активне впровадження подібних підходів почалося лише з 90-х років, і то переважно за ініціативи окремих громад чи іноземних проєктів. Проте і тоді деякі будівлі суттєво перевищували державні норми щодо теплозбереження, що дозволило досягти кращого рівня енерговитрат — близького до європейських стандартів.

Із розвитком сонячних технологій стали з'являтися будівлі, що виробляють більше енергії, ніж споживають. Такі об'єкти відомі як "енергопозитивні" або "будинки плюс", і вони вже поступово впроваджуються в пілотних проєктах модернізації комунальних закладів в Україні.

Цікавими прикладами енергоощадного будівництва поділились у своїх публікаціях закордонні автори, де одна частина присвячена реконструкції існуючих будівель, а інша — новим проєктам, одразу розрахованим на мінімальне енергоспоживання. У кожному випадку ідея одна — скоротити втрати енергії, але підходи різняться через специфіку старої забудови й сучасних технологій. Варто зазначити, що в багатьох старих будівлях в Україні термомодернізація може бути економічно недоцільною, особливо коли йдеться про глибокі конструктивні недоліки.



Рис. 3.3

Комфортні умови в приміщеннях залежать не лише від технічних характеристик будівлі, а й від індивідуального сприйняття температури, рівня фізичної активності та навіть одягу людини. Саме тому для ефективної модернізації важливо враховувати як технічні параметри об'єкта, так і реальні умови його експлуатації.

До основних заходів термомодернізації комунальних закладів, таких як школи, садочки та лікарні, належать:

- Утеплення фасадів і ліквідація містків холоду: Це дозволяє підвищити температуру внутрішніх поверхонь стін, уникнути утворення конденсату, розвитку грибка та пошкодження конструкцій.
- Модернізація вікон: Заміна старих конструкцій на енергоефективні дозволяє скоротити втрати тепла, підвищити рівень природного освітлення та зменшити витрати на штучне освітлення.
- Реконструкція або заміна даху: Цей захід не лише мінімізує теплові втрати через верхню частину будівлі, а й часто дозволяє облаштувати додаткові приміщення чи змінити конфігурацію будівлі.
- Сучасні системи опалення: Перехід на новітні енергоефективні системи з автоматизованим регулюванням температури дозволяє точно контролювати витрати енергії та адаптувати споживання під реальні потреби.
- Установка системи вентиляції з рекуперацією: Це забезпечує контрольований повітрообмін, зменшує тепловтрати та запобігає виникненню вогкості.
- Теплоізоляція підлоги: Зменшує втрати тепла в ґрунт, особливо у приміщеннях першого поверху, а також створює комфортні умови перебування за рахунок рівномірного розподілу температури.
- Інтеграція ВДЕ – зокрема, сонячних колекторів: Це дає змогу значно скоротити споживання теплової енергії з централізованих джерел — до 30% і більше, а також покрити індивідуальні потреби в теплі на 70–80%.

Комплексна термомодернізація комунальних об'єктів — це не лише шлях до економії бюджетних коштів, а й важливий крок до створення здорового мікроклімату для дітей, освітян, медичних працівників і всіх користувачів таких закладів.

В Україні впровадження термомодернізаційних заходів на об'єктах комунальної інфраструктури, зокрема у школах, дитячих садках, медичних закладах і будівлях державних установ, активно розвивається протягом останніх років. На початкових етапах, коли при виборі теплоізоляційних матеріалів орієнтувалися виключно на допустиме значення коефіцієнта теплопередачі (наприклад, до 1993 року він становив приблизно $0,55 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$), нерідко використовували пінопласт товщиною всього 4–5 см, що було явно недостатнім для досягнення енергоефективності.

Справжні зрушення відбулися лише з появою системного підходу, за якого енергетичні аудитори, підготовлені в рамках державних і регіональних програм, почали розробляти індивідуальні стратегії термомодернізації для кожної будівлі. Коли енергоефективні заходи, зокрема утеплення фасадів, покрівлі та підвалів, почали підлягати економічному аналізу з урахуванням терміну окупності, відійшли від застарілих рішень на кшталт «5 см вистачить для всіх».

Сьогодні при плануванні термомодернізації для комунальних будівель беруть до уваги такі чинники:

- технічний стан конструкцій і комунікацій до початку робіт;
- обрані матеріали та методи виконання;
- наявність інших супутніх заходів (ремонт або заміна вікон, покращення опалювальних і вентиляційних систем тощо).

За результатами енергоаудиту оптимальна товщина утеплювача для більшості комунальних об'єктів становить 8–15 см. У випадку подальшого зростання вартості енергоносіїв доцільно збільшувати цей показник до 20 см і більше, щоб знизити теплові втрати та скоротити витрати на опалення.



Рис. 3.4

В умовах українського клімату, особливо в північних, центральних та гірських регіонах, будівництво чи реконструкція дитячих садків або шкіл часто вимагає застосування теплоізоляції товщиною до 30 см. Однак реалізація таких рішень ускладнюється недостатньою поінформованістю органів місцевого самоврядування, відсутністю фахівців у малих громадах та обмеженим фінансуванням.

Окрему увагу слід приділити модернізації віконних систем. Старі дерев'яні рами з одинарним склом мають високий коефіцієнт теплопередачі, що призводить до суттєвих втрат тепла і появи конденсату. У сучасних проектах використовуються енергоощадні склопакети з низьким коефіцієнтом теплопередачі, які не лише забезпечують комфортний мікроклімат в приміщенні, а й запобігають утворенню вологи на внутрішній поверхні вікна в холодний період року.

Загалом термомодернізація комунальних закладів — це не лише шлях до зменшення енергоспоживання, а й спосіб створення комфортних, безпечних умов для дітей, педагогів, медичного персоналу та відвідувачів установ.

У літній період, коли основні витрати тепла пов'язані з підігрівом води для побутових потреб, особливо актуальним стає зберігання надлишкової енергії. Зокрема, сонячні колектори дозволяють накопичувати частину одержаного тепла для подальшого використання.

До пасивного використання сонячної енергії можна віднести архітектурні рішення, які забезпечують проникнення сонячного тепла всередину будівлі через великі засклені площини. Унаслідок цього прогріваються внутрішні конструкції та повітря, а отримана енергія частково акумулюється. Компетентне проектування простору здатне посилити цей ефект.

Одним із новітніх, хоча поки що досить дорогих рішень є використання прозорої теплоізоляції. Така система передбачає розміщення прозорого матеріалу на зовнішній частині стіни. Матеріал пропускає сонячні промені, водночас ефективно утримуючи тепло. Під ним розміщується абсорбер, який може нагріватися до 70 °С і передавати тепло масивній стіні. У холодний період, коли температура зовні значно нижча за внутрішню, тепло поступово надходить у приміщення, що відповідає принципу теплопередачі за рівнянням Фур'є. Висока теплоємність стін компенсує добові коливання температур, забезпечуючи сталий мікроклімат. Прозору ізоляцію зазвичай розміщують на південних або західних фасадах у вигляді вставок. У цих зонах вона функціонує як потужний радіатор із питомою тепловіддачею до 300 Вт/м².

Серед активних способів отримання тепла важливе значення мають віконні конструкції. Зменшити тепловтрати можна за рахунок багат шарових склопакетів з низьким коефіцієнтом теплопроникності. Водночас, вікна мають пропускати якомога більше природного світла, тому проектування потребує компромісу між теплоізоляцією та освітленістю. До того ж, частина тепловтрат припадає на рами, які часто виготовляють з матеріалів із низькими теплоізоляційними властивостями. Через це фактичний коефіцієнт теплопровідності всього вікна може бути на 15–60% вищим за аналогічний показник для скляної частини.

Для забезпечення потрібної температури теплоносія застосовуються різні типи сонячних колекторів:

- Абсорбційні – мають високу оптичну ефективність, але обмежену теплоізоляцію, тому найкраще підходять для підігріву води в басейнах;
- Плоскі колектори – здебільшого використовуються для забезпечення гарячого водопостачання, а також частково – для підтримки систем опалення;
- Вакуумні колектори – завдяки високій ефективності теплообміну при низьких температурах застосовуються там, де потрібно нагріти теплоносії до вищих температур.

При оцінюванні ефективності сонячних колекторів слід враховувати тепловтрати двох типів – оптичні та теплові. Оптична продуктивність (η_0) є сталою величиною для конкретного колектора й визначається як добуток прозорості верхнього шару (τ) на здатність абсорбера поглинати випромінювання.

Висновок: у цьому розділі здійснено техніко-економічний розрахунок енергосистем, що дозволило об'єктивно оцінити ефективність впровадження геліосистем. Проведено аналіз витрат на сонячні колектори та визначено термін окупності витрат, що підтверджує економічну доцільність проєкту. Також враховано сезонні коливання потреби в теплі, що є важливим чинником для оптимального проєктування систем. Питання модернізації об'єктів розглянуто як необхідний етап для підвищення енергоефективності та раціонального використання сонячної енергії.

4. ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ У КОМУНАЛЬНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ

4.1. Практичне застосування геліосистем для забезпечення гарячого водопостачання

Геліосистеми, або сонячні водонагрівальні установки, давно перестали бути рідкістю у світі. В умовах постійного зростання цін на енергоресурси та потреби у зменшенні шкідливих викидів в атмосферу, вони набувають все більшої актуальності. Особливо це стосується забезпечення гарячого водопостачання, яке вимагає значних енергетичних витрат у будь-якому типі будівлі – від житлових будинків до дитячих садків, лікарень, шкіл чи комунальних підприємств. Сонячна енергія, на відміну від газу чи електрики, доступна безкоштовно, а її використання не забруднює довкілля.

Геліосистеми працюють досить просто: сонячне випромінювання потрапляє на колектори, які перетворюють його на теплову енергію. Ця енергія нагріває теплоносій, який у свою чергу передає тепло воді, що зберігається у спеціальних баках. Завдяки накопичувачам гаряча вода доступна і вночі, і у похмурі дні. У теплий період року геліосистеми можуть повністю покрити потреби у гарячій воді, а взимку – значно знизити навантаження на традиційні джерела тепла. Це особливо важливо для закладів з постійним споживанням води, де економія помітна вже в перші місяці експлуатації.

Установки можуть бути різного типу – з вакуумними або плоскими колекторами. Кожен з них має свої переваги. Вакуумні краще працюють при низьких температурах, тому їх частіше використовують у північних регіонах. Плоскі колектори простіші у виробництві і дешевші, але менш ефективні взимку. Вибір системи залежить від клімату, обсягів споживання води та доступного бюджету. У південних регіонах України, де сонячних днів значно більше, геліосистеми працюють особливо ефективно. Вони стають не просто вигідною альтернативою, а цілком самостійним джерелом тепла.

У комунальному секторі сонячні водонагрівачі особливо доречні. Наприклад, у дитячих садках і школах гаряча вода потрібна щодня, а завдяки геліосистемам можна не лише заощаджувати кошти, а й забезпечити безпечне та стабільне постачання. Багато українських міст вже впровадили подібні проєкти. У деяких районах сонячні установки встановлено на дахах шкіл, лікарень, спортивних комплексів. Позитивний ефект помітний не тільки у зниженні витрат, а й у зміні ставлення людей до енергоефективності.

Подібний досвід спостерігається і в інших країнах. Наприклад, на Кіпрі понад 90% домогосподарств використовують сонячні водонагрівачі. Це дозволяє мешканцям практично повністю забезпечувати свої потреби у гарячій воді без додаткових витрат на електроенергію чи газ, що особливо актуально у літній період. У Франції індивідуальні сонячні системи (CESI) покривають до 80% річного споживання гарячої води в домогосподарствах, особливо при встановленні на добре орієнтованих дахах. У Німеччині активно поєднують геліосистеми з тепловими насосами, що дозволяє значно оптимізувати споживання енергії.

Сонячні водонагрівачі не потребують складного обслуговування. Достатньо кілька разів на рік перевіряти стан колекторів та циркуляційної системи, щоб вона працювала стабільно. Термін служби такої установки може сягати 20–25 років, а окупність зазвичай настає вже через 4–6 років, залежно від вартості енергоресурсів. Це робить геліосистеми привабливими як для великих будівель, так і для приватних домогосподарств.

У містечку Дрейк Лендінг у Канаді реалізовано унікальний проєкт — централізована сонячна система з сезонним зберіганням тепла, яка забезпечує до 90% теплових потреб мікрорайону. Це демонструє потенціал геліосистем не лише для побутового використання, а й для комунального та муніципального рівня. Подібні приклади з'являються також у США, зокрема в Каліфорнії, де комбінація теплових акумуляторів та сонячних колекторів допомагає скоротити рахунки на 20–30%.

У сучасних умовах використання геліосистем стає частиною комплексного підходу до енергозбереження. Вони можуть працювати самостійно або в комбінації з іншими джерелами тепла – газовими котлами, тепловими насосами. У багатьох випадках системи автоматизовані, і користувачу не потрібно постійно контролювати їхню роботу. Прості й надійні у використанні, вони дозволяють забути про перебої в подачі гарячої води, особливо влітку, коли сонячного світла достатньо.

Сонячна енергія — це ресурс, який не потребує доставки, зберігання чи спеціального дозволу. Вона доступна щодня, у будь-якому населеному пункті, де є дах або відкрита ділянка для монтажу колекторів. Геліосистеми можуть стати реальним кроком до енергетичної незалежності, особливо в умовах кризи або дефіциту газу та електроенергії. Їх установка в комунальних установах — це не просто економія, а й приклад для інших. Це демонстрація того, як можна ефективно використовувати природні ресурси на благо людей і довкілля.

Іспанський досвід показує, що геліосистеми добре поєднуються не лише з іншими ВДЕ, а й з термоактивними будівельними елементами та геотермальними тепловими насосами. Це особливо актуально для новобудов та реконструкцій, де від початку враховують енергоефективність у плануванні будівлі.

Таким чином, практичне застосування геліосистем для гарячого водопостачання — це сучасне, ефективне та екологічно чисте рішення. Воно дозволяє знизити витрати, підвищити комфорт і одночасно піклуватися про довкілля. Перехід на такі технології – це не лише вибір на користь майбутнього, а й цілком реальний інструмент покращення умов життя вже сьогодні.

4.2. Енергоефективні рішення для будівель комунального призначення

Будівлі комунального призначення – це школи, дитячі садки, лікарні, адміністративні установи, які споживають значну кількість енергії щодня. Часто ці будівлі старі, зношені й проєктувалися ще тоді, коли про економію енергії

майже не думали. Через неефективні системи опалення, погану теплоізоляцію, застаріле освітлення та вентиляцію втрачається не лише тепло, а й великі кошти. Саме тому впровадження енергоефективних рішень — один з найактуальніших напрямів у сфері модернізації громадської інфраструктури.

Один із перших кроків — це перевірка стану будівлі. Без енергоаудиту не вдасться точно визначити, де й скільки втрачається енергії. Це підтверджується як у європейських, так і українських джерелах. Наприклад, у публікації "8 Strategies to Make Offices and Buildings More Energy Efficient" чітко підкреслюється, що без діагностики всі інші заходи можуть виявитися марними або неефективними. У свою чергу, стаття на сайті deerpower.ua також говорить про потребу в аналізі енергоспоживання перед будь-якою модернізацією.

Сучасні реалії — зростання тарифів, перебої в електропостачанні та нестабільність енергосистеми — змушують українців серйозніше замислитися над питанням енергоощадності. Сьогодні це вже не примха, а необхідність. Це актуально не тільки для житлового сектора, але й для закладів соціальної інфраструктури — шкіл, садків, лікарень, адміністративних будівель. Енергоефективність у таких спорудах — це економія бюджетних коштів, стабільні умови для роботи персоналу й перебування відвідувачів, а також реальний внесок у зменшення навантаження на енергосистему країни.

Найбільші втрати тепла відбуваються через зовнішні огорожувальні конструкції. У середньому це до 40% всієї теплової енергії. Одним із найефективніших рішень є утеплення фасаду мінераловатними плитами, наприклад Rockwool Frontrock Max E товщиною 150 мм, які мають високу паропроникність і негорючість (клас A1). Поверх утеплювача наносять армувальний шар на базі клею та склосітки щільністю 160 г/м², а потім декоративну штукатурку типу Baumit SilikonTop.

У місті Жешув (Польща) після утеплення школи №17 саме за такою технологією витрати на опалення знизились на 42%, а температура в класах стабілізувалася навіть у найхолодніші дні без потреби в додатковому обігріві.

Дах утеплювали плитами URSA XPS N-III товщиною 120 мм, з укладкою пароізоляційного шару з плівки типу Strotex Q. Це дозволило зменшити втрати тепла через покрівлю на 25%.

Підвал — критичне місце для втрат у старих будівлях, де цоколь не опалюється. У школі в Чернівцях утеплили цокольну частину зовні пінополістиролом Penoboard EPS 100 товщиною 100 мм, що запобігло промерзанню підлоги перших поверхів.



Рис. 4.1

Старі дерев'яні вікна не тримають тепло. Втрати — до 20% тепла тільки через щілини. Металопластикові або дерев'яні вікна з двокамерним склопакетом і низькоемісійним покриттям (Low-E скло) значно ефективніші. Вони мають коефіцієнт теплопередачі близько $0,9\text{--}1,1 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, що відповідає сучасним будівельним нормам. Наприклад, у дитсадку в місті Кошице (Словаччина) після повної заміни вікон температура в приміщеннях зросла на $2\text{--}3^\circ\text{C}$ навіть без зміни системи опалення.

Приклад опалення з регулюванням можна розглянути на основі школи у Львові. До модернізації система опалення базувалася на старих чавунних радіаторах без можливості індивідуального контролю температури. Радіатори

працювали постійно на максимальній потужності, незалежно від присутності людей чи погодних умов.

Після встановлення термостатичних головок Danfoss RA-N на кожен радіатор з'явилася можливість встановлювати потрібну температуру для кожного класу окремо. Наприклад, у класах, які використовуються лише кілька годин на день, температура підтримувалася на рівні $+16^{\circ}\text{C}$ у неробочий час, а перед початком занять терморегулятори підвищували її до комфортних $+21^{\circ}\text{C}$. Це дозволило суттєво зекономити тепло та знизити витрати енергії.

Крім того, у тепловому пункті школи було встановлено погодозалежний регулятор Siemens RVD. Ця система зчитує температуру зовнішнього повітря і автоматично коригує роботу котла, знижуючи температуру теплоносія при теплішій погоді. В результаті загальне споживання тепла знизилося на 25–30%, що підтверджено даними лічильників тепла.



Рис. 4.2

Особливу увагу варто приділити тепловим насосам. У закладах, де немає доступу до централізованого теплопостачання, вони можуть стати основним джерелом опалення. Повітряно-водняні системи типу Panasonic Aquarea або Daikin Altherma ефективно працюють навіть узимку. У школі на 250 учнів тепловий насос потужністю 35 кВт повністю забезпечив тепло, зменшивши витрати на енергію на понад 40%.

Застосування теплових насосів у будівлях комунального призначення можна розглянути на прикладі дитячого садка у Вільнюсі (Литва). Там замінили стару систему газового опалення на повітряно-водяний тепловий насос Daikin Altherma потужністю 30 кВт. Цей насос здатний ефективно працювати при температурі повітря до -15°C , що важливо для кліматичних умов регіону.

Система включає буферну ємність об'ємом 500 літрів, що дозволяє акумулювати тепло й підтримувати стабільну температуру в опалювальному контурі навіть при пікових навантаженнях. Теплоносій циркулює по системі радіаторів та теплої підлоги, забезпечуючи рівномірне прогрівання приміщень.

Протягом року після монтажу теплового насоса витрати на опалення скоротилися майже на 40%, а рівень комфортної температури у приміщеннях залишився стабільним без коливань. Крім того, повністю відмовилися від використання газу, що зменшило викиди CO₂ та підвищило екологічність закладу.

Ідеальне доповнення. Панелі (наприклад, Canadian Solar CS3L-375MS) виробляють електроенергію, яку можна використовувати для освітлення, живлення насосів чи вентиляції. Колектори (наприклад, вакуумні Solvacuum SV-Tube) гріють воду для душових, кухонь, пралень. У дитсадку із власною пральною та кухнею вакуумні сонячні колектори забезпечують 70% річної потреби в гарячій воді.

Заміна застарілих освітлювальних приладів на сучасні LED-лампи вже сама по собі приносить значну економію електроенергії, сягаючи до 80%. Це вже є відчутним внеском у бюджет, але справжній потенціал ефективності та комфорту розкривається тоді, коли LED-освітлення інтегрується з автоматизованими системами. Таке "розумне" освітлення реагує на реальні потреби простору, використовуючи датчики руху, освітленості та програмовані таймери, щоб забезпечити світло саме там і тоді, коли це необхідно.



Рис. 4.3

Розгляньмо, як це працює на конкретних прикладах, які наочно демонструють переваги автоматизації.

У шкільних коридорах, де світло часто горить безперервно протягом усього навчального дня, автоматизовані LED-системи забезпечують значну економію. Завдяки вбудованим датчикам руху або присутності, освітлення активується лише тоді, коли хтось проходить коридором. Після того, як рух припиняється і коридор порожніє протягом певного, попередньо налаштованого часу, світло автоматично вимикається або зменшується до мінімально необхідного рівня для безпеки. Це дозволяє уникнути безглузлого спалювання електроенергії у порожніх приміщеннях. Подібний принцип застосовується і в шкільних спортзалах та санвузлах. У спортзалі світло вмикається, коли починаються заняття, і автоматично вимикається через деякий час після їх завершення, якщо рух більше не виявляється. У санвузлах освітлення вмикається при вході людини і вимикається після її виходу, що є надзвичайно ефективним, адже ці приміщення використовуються періодично.

Вентиляційна система з рекуперацією здатна повертати до 90% тепла з витяжного повітря назад у приміщення. Вентиляційний блок має теплообмінник, у якому припливне повітря нагрівається за рахунок витяжного, але без

змішування. Це особливо важливо для дитсадків, лікарень і закладів із великим повітрообміном. У Чехії після встановлення рекуператора в школі зменшили витрати на опалення на третину, при цьому якість повітря покращилась.

Принцип роботи досить простий, але ефективний: всередині вентиляційного блоку розташований спеціальний теплообмінник. Через нього проходять два потоки повітря – тепле, забруднене повітря, що витягується з приміщення, і холодне, свіже повітря, що надходить ззовні. Ці два потоки рухаються поруч, але без змішування. Передача тепла від витяжного до припливного повітря відбувається через стінки теплообмінника, в результаті чого свіже повітря вже надходить у приміщення попередньо нагрітим, а не холодним. Це значно знижує навантаження на систему опалення взимку та кондиціонування влітку, адже немає потреби гріти або охолоджувати повітря "з нуля".

Особливо актуальною і навіть критично важливою рекуперація повітря стає для закладів, де постійно перебуває велика кількість людей, і де якість повітря має першочергове значення.

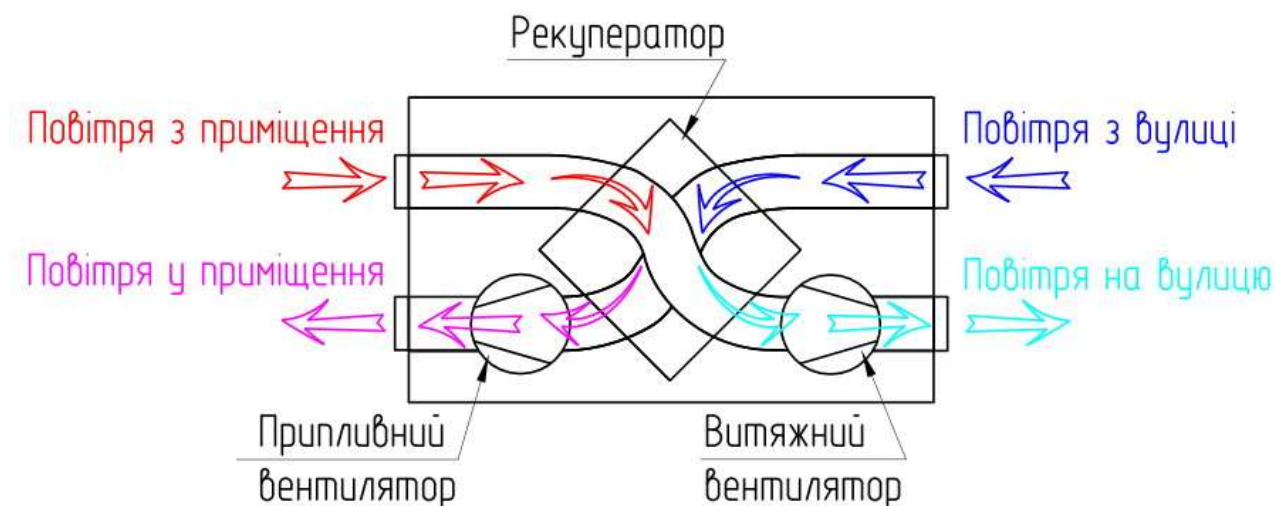


Рис 4.4

У дитсадках та лікарнях забезпечення чистого повітря – це не просто комфорт, а життєва необхідність. У цих закладах важливо не допустити змішування чистого та забрудненого повітря, а також уникнути протягів і різких перепадів температури, які можуть бути небезпечними для здоров'я дітей та

пацієнтів. Система рекуперації гарантує, що свіже повітря надходить постійно, але воно вже підігріте, що запобігає дискомфорту та ризику застуд. Одночасно з цим, витяжне повітря видаляє вуглекислий газ, бактерії та неприємні запахи, не випускаючи при цьому дороге тепло.

Інтелектуальні системи керування будівлею, або Building Management Systems (BMS), це не просто набір окремих пристроїв, а справжній "мозок" сучасної споруди. Вони є централізованою цифровою платформою, яка об'єднує та координує роботу практично всього інженерного обладнання та систем у будівлі. Це включає в себе опалення, вентиляцію, кондиціонування повітря (HVAC), освітлення, системи безпеки (відеоспостереження, контроль доступу), пожежну сигналізацію, ліфти, водопостачання, а також управління енергоспоживанням. Метою BMS є оптимізація функціонування будівлі, підвищення її ефективності, комфорту, безпеки та зниження експлуатаційних витрат.

Опалення, вентиляція та кондиціонування (HVAC): Це одна з найважливіших функцій BMS. Система може автоматично регулювати температуру в різних зонах будівлі залежно від часу доби, дня тижня, зовнішньої температури, а також присутності людей. Наприклад, у вихідні або в неробочий час, коли офісні приміщення порожні, система може автоматично знижувати температуру опалення або обмежувати роботу кондиціонера, щоб економити енергію. Черговий інженер, перебуваючи вдома, може легко змінити температурний графік на вихідні дні через смартфон, якщо виникла необхідність, наприклад, для проведення позапланових робіт. Завдяки інтеграції з датчиками присутності, BMS може забезпечувати максимальний комфорт у зайнятих приміщеннях і мінімальне споживання енергії у порожніх.

Питання фінансування та державної підтримки є ключовим у масштабному впровадженні енергоефективних заходів у будівлях, особливо у громадському секторі, такому як школи, лікарні та адміністративні установи. Досвід європейських країн наочно демонструє, що без цілеспрямованих програм та

фінансових стимулів, темпи термомодернізації були б значно повільнішими. Це свідчить про глибоке розуміння урядами цих країн не лише економічних, а й соціальних та екологічних переваг, які приносить підвищення енергоефективності. В Україні подібні програми, які активно підтримують енергоефективність у громадському секторі, тільки починають працювати і набирають обертів. Після повномасштабного вторгнення Росії, питання енергоефективності набуло ще більшої актуальності, оскільки пошкодження інфраструктури та потреба у швидкому відновленні підкреслили вразливість енергетичної системи. Розвиток таких програм є критично важливим для України з кількох причин:

- Зниження залежності від імпорту енергоносіїв: Зменшення споживання газу та електроенергії знижує енергетичну залежність країни.
- Економія бюджетних коштів: Кошти, що економляться на комунальних платежах для бюджетних установ, можуть бути перенаправлені на інші соціальні потреби.
- Відновлення та відбудова: Енергоефективність має бути інтегрована в процеси відбудови, щоб створювати не просто нові, а й сучасні, енергоефективні будівлі.
- Підвищення комфорту та якості послуг: Утеплені школи, лікарні та дитсадки з сучасною вентиляцією забезпечують кращі умови для навчання, лікування та роботи.
- Екологічні переваги: Зниження споживання енергії веде до зменшення викидів парникових газів.

Усі ці заходи технічно реальні, перевірені практикою і вже сьогодні можуть бути впроваджені в українських комунальних будівлях. Питання тільки в бажанні, плануванні та системному підході.

4.3. Реалізовані проекти встановлення сонячних систем на дахах шкіл і дитсадків

Реалізовані проекти встановлення сонячних систем на дахах шкіл і дитсадків в Україні — це приклади того, як нові технології поступово входять у повсякденне життя. Здається, ще вчора сонячні панелі здавалися чимось далеким і футуристичним, а сьогодні вони вже стоять на дахах звичайних українських шкіл і дитсадків — не тільки в містах, але й у невеликих громадах.

Після початку війни зросла потреба в енергонезалежності. Це стало додатковим поштовхом до розвитку відновлюваної енергетики, особливо в бюджетній сфері. Школи й дитячі садки, як об'єкти соціальної інфраструктури, опинилися в центрі уваги багатьох ініціатив. Встановлення сонячних електростанцій дає змогу освітнім установам значно скоротити витрати на електроенергію, зменшити залежність від централізованих джерел живлення та підвищити стабільність їхнього функціонування.

Незважаючи на звернення міністра енергетики Германа Галущенка до громадян із закликом запасатися генераторами та павербанками, чимало українських територіальних громад обрали інший, довгостроковий підхід — розвиток сонячної енергетики. Такий крок спрямований на вирішення питань енергетичної безпеки об'єктів критичної інфраструктури, зокрема медичних закладів, підприємств водопостачання та очисних споруд, аби мінімізувати ризики відключення електроенергії.

Цю ініціативу підтримують і екологічні організації, зокрема рівненський «Екоклуб», який активно реалізовує проекти зі встановлення сонячних електростанцій (СЕС) на закладах охорони здоров'я, дошкільної освіти та інших важливих об'єктах по всій Україні. Однією з головних цілей організації є енергетична безпека громад шляхом забезпечення незалежного джерела енергії.

Станом на 1 жовтня у різних регіонах України було реалізовано або запущено 15 проєктів у сфері сонячної енергетики. До цього переліку входять такі міста, як Суми, Житомир, Звягель, Броди, Кременчук, Рівне, Дубно, Ніжин, Миколаїв, Кодима, Чорноморськ, Бровари та Хотин.

Зокрема, у Звягелі (Житомирська область) системи на відновлюваних джерелах енергії почали забезпечувати функціонування низки важливих об'єктів, серед яких лікарня, водоканал та дитячий садок.

У грудні 2022 року центральна лікарня Звягеля отримала сонячну електростанцію потужністю 32,4 кВт. Вона покриває енергопотреби 11 апаратів штучної вентиляції легень, забезпечуючи стабільне живлення навіть у разі перебоїв із мережею. Проєкт було реалізовано за підтримки ініціативи «Sustainability4Ukraine» від CSR.Ukraine та платформи Dobro.UA. У межах цієї ініціативи ГО «Екоклуб» зібрала 840 тисяч гривень на встановлення обладнання.

Протягом перших восьми місяців експлуатації сонячна електростанція дала змогу лікарні заощадити 154 тисячі гривень. Зекономлені кошти планують використати для придбання нового медичного обладнання або проведення ремонту в одному з відділень.

У березні 2023 року міська рада ухвалила рішення про виділення 6 мільйонів гривень на облаштування сонячної електростанції для місцевого водоканалу. Очікується, що встановлена СЕС скоротить щорічне споживання електроенергії на 164 тисячі кіловат-годин, що дозволить підприємству зменшити витрати майже на 921 тисячу гривень на рік.



Рис. 4.5

У червні 2023 року було прийнято рішення про встановлення сонячної електростанції на території дитячого центру «Дельфін». Цю ініціативу підтримали депутати міської ради, кожна з яких спрямувала по 500 тисяч гривень із власного депутатського фонду. Завдяки проєкту з'явилася можливість забезпечити цілорічну роботу басейну у дошкільному закладі.

Міська влада також розглядає перспективу встановлення сонячних електростанцій у дитячому садку №1 та гімназії №1, що дозволить розширити мережу об'єктів із власним енергозабезпеченням.

У Сумах улітку 2023 року завершили проєкт зі встановлення сонячної електростанції потужністю 60 кВт на території центральної міської лікарні. Фінансування було змішаним: міжнародні партнери з Польщі, Чехії та Німеччини надали 27 500 євро, ще 18 600 євро збрала місцева громада.

Цей багатопрофільний медичний заклад щоденно обслуговує до 400 пацієнтів, проводить десятки хірургічних втручань та понад 100 рентгенологічних обстежень. Сонячна станція працює в парі з генератором, що дозволяє зменшити споживання пального та дає можливість економити до 457,5 тисяч гривень на рік.

Наступним етапом розвитку стало планування встановлення СЕС на базі Дитячої клінічної лікарні імені Святої Зінаїди.



Рис. 4.6

У 2023 році на даху міської лікарні в Дубні встановили сонячну електростанцію потужністю 43,6 кВт. Вона забезпечує близько 30% енергоспоживання медичного закладу. Загальна вартість проєкту перевищила 1,4 мільйона гривень. Основну частину коштів надало фінансування від уряду Німеччини через громадську організацію «Екоклуб», а решту внесла місцева громада.

Після осінніх вимкнень електроенергії у 2022 році Житомир активізував пошук сталих енергетичних рішень. У червні 2023 року на одній з міських лікарень було запущено сонячну електростанцію потужністю 48 кВт — першу такого типу в місті. Вона дозволить закладу щороку економити до 307 тисяч гривень. Цей проєкт став частиною плану Житомира щодо переходу на відновлювану енергетику до 2050 року.



Рис. 4.7

У стоматологічній поліклініці міста Рівне було встановлено сонячну електростанцію потужністю 40 кВт, яку ввели в експлуатацію 1 жовтня 2023 року. Запланований річний обсяг виробництва електроенергії становить понад 42 тисяч кіловат-годин, що дозволяє забезпечити приблизно 36% енергетичних потреб медичного закладу. Реалізація цього екологічного проєкту потребувала інвестицій у розмірі 3,4 мільйона гривень, причому фінансування здійснювалося

як за рахунок коштів Посольства Німеччини в Україні, так і за участі місцевої бюджетної програми.

Цей об'єкт демонструє ефективне поєднання міжнародної підтримки та місцевих ініціатив у розвитку відновлюваної енергетики.



Рис. 4.8

В Броварах до кінця 2023 року планується встановити сонячну електростанцію на дитячому відділенні багатoproфільної лікарні. Її потужність становитиме 60 кВт. Щороку цей медичний заклад приймає понад 25 тисяч маленьких пацієнтів. Проєкт фінансується за рахунок 10 тисяч євро з міського бюджету та 30 тисяч євро, наданих благодійною організацією Alba Care.

У Ніжині до завершення року мають запрацювати дві нові сонячні електростанції. Одна з них – для місцевого водоканалу – матиме потужність 130 кВт і фінансуватиметься за підтримки німецької організації GIZ. Друга СЕС, у межах ініціативи «Жовто-блакитна сила», покриватиме до 40% потреб пологового будинку в електроенергії.

В місті Броди водоканал на початку року отримав дизельний генератор, а згодом із міського бюджету було виділено 3,6 мільйона гривень на встановлення сонячної електростанції. Вона забезпечуватиме понад 13% річного енергоспоживання підприємства, що дорівнює приблизно 106,6 тисячі кВт·год.

В Кременчуці, де інфраструктура значно постраждала від війни, лікарня певний час працювала на генераторах. У вересні 2023 року там запустили СЕС потужністю 60 кВт, яка покриватиме близько 8% річного споживання електроенергії (понад 516 тисяч кВт·год). Це дозволить щороку економити близько 230 тисяч гривень. Проєкт профінансований коштом WECF, Elektrizitätswerke Schönau, а також міського бюджету. Крім того, у місті вже функціонує ще одна сонячна станція – на будівлі школи, що забезпечує економію електроенергії на суму 229 тисяч гривень на рік.



Рис. 4.9

У місті Вознесенськ на об'єктах місцевого водоканалу впроваджено прогресивний підхід до енергозабезпечення. Перший етап модернізації розпочався ще у 2020 році за сприяння громадської організації «Екоклуб» та за фінансової підтримки норвезького дипломатичного представництва – тоді ввели в дію сонячну електростанцію потужністю 50 кВт.

Розвиток проєкту продовжився через три роки: у 2023-му міська влада ініціювала будівництво другої черги потужністю 150 кВт. В результаті комбінації цих двох об'єктів відновлювана енергія тепер забезпечує майже половину (45%) енергоспоживання насосної станції. Це особливо важливо в умовах перебоїв з

електропостачанням – система дозволяє безперебійно подавати воду мешканцям міста навіть під час аварійних ситуацій в енергомережах.

У цьому контексті ключовою ідеєю є залучення громадян до процесу енергетичного переходу. Йдеться не просто про зміну домінуючих енергетичних компаній, а про створення чіткої дорожньої карти, яка забезпечить енергетичну незалежність і безпеку саме для людей. Такий підхід робить перехід на нові енергетичні моделі соціально значущим і більш справедливим.

Висновок: у розділі висвітлено практичне впровадження сонячних систем у комунальну інфраструктуру. Розглянуто застосування геліосистем для гарячого водопостачання, що дозволяє зменшити енергоспоживання та витрати на обслуговування. Наведено приклади енергоефективних рішень для будівель комунального призначення, які демонструють високу ефективність у реальних умовах. Особливу увагу приділено реалізованим проектам встановлення сонячних систем на дахах шкіл і дитсадків, які підтверджують перспективність і доцільність широкого використання відновлюваних джерел енергії у соціальній сфері.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Розміщення обладнання. Вимоги безпеки при встановленні та експлуатації СЕС та сонячних колекторів

Ефективність сонячної енергосистеми (сонячних електростанцій – СЕС) та сонячних колекторів наряду залежить від розміщення компонентів, а саме сонячних колекторів, фотоелектричних панелей, інверторів та акумуляторних батарей.

Будівництво високоефективної системи ґрунтується на точному виконанні та дотриманні стандартів безпеки, щоб досягти високої ефективності та зменшити ризики для працівників.

Всі роботи з монтажу, налагодження та технічного обслуговування мають виконуватись кваліфікованими спеціалістами з відповідною групою допуску з електробезпеки. В іншому випадку можливі нещасні випадки або травми на робочому місці.

При виборі місця для встановлення сонячних колекторів та фотоелементів основними критеріями є:

- освітленість впродовж дня. Відсутність сторонніх об'єктів які будуть зменшувати ефективність роботи обладнання (затінення від дерев, інших будівель);

- можливість монтажу на даху або на відкритій місцевості. Також ключовий елемент в сонячній енергосистемі є акумуляторні батареї, вони потребують окремого підходу в їхньому розміщенні для кращої роботи та забезпечення безпеки оточуючих.

Додатково необхідно враховувати можливе накопичення снігу, обмерзання, вплив граду, пилу. Це вимагає підбору відповідних моделей панелей/колекторів із захисним склом, антикорозійним покриттям, високим класом герметичності.

В приміщенні де будуть знаходитись акумулятори, а також додаткове електричне устаткування потрібно що підтримувались необхідні умови:

- приміщення з акумуляторними батареями повинно завжди бути замкненим, а працівникам яка працюють в цих приміщеннях видають ключі виключно на період робіт або огляду.

Згідно вимогам роботу пов'язану з кислотою, лугами та свинцем виконують виключно працівники які допущені до виконання таких робіт.

В приміщеннях з акумуляторними батареями які оснащені витяжною вентиляцією, останню слід вмикати перед початком зарядки для того щоб з приміщення видаляти гази які виникають під час хімічної реакції.

Температурний режим. Оптимальна температура для свинцево кислотних або літєвих акумуляторів – від +10 °C до +25 °C.

Обслуговування та робота з акумуляторними батареями може проводитись тільки працівниками з групою III.

Вимоги безпеки при встановленні та обслуговуванні сонячної енергосистеми:

Використання сонячних енергетичних установок супроводжується суворим дотриманням вимог безпеки. Їх монтаж і подальша робота підпадають під дію спеціальних нормативів, які охоплюють три ключові аспекти: захист від електротравм, запобігання пожежам та забезпечення безпечних умов праці персоналу:

- технічні роботи проводяться відповідно регламенту (1 раз на квартал, півроку або раз на рік в залежності від елементів);
- обов'язково ведеться журнал технічного обслуговування де фіксуються всі перевірки або несправності обладнання;
- при виявленні несправності або вихід з ладу певного обладнання, в негайному порядку обладнання виводиться з експлуатації для подальшого ремонту або заміни.

Роботи повинні виконуватись відповідно до ПУЕ – правил улаштування електроустановок та ПБЕЕС – правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Обов'язковою вимогою є заземлення металевих частин обладнання та використання захисних автоматів. Всі елементи СЕС повинні бути інтегровані у

систему захисту об'єкта від блискавки згідно з ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки.

Монтажні роботи які проводяться на висоті під час встановлення панелей або колекторів обов'язково повинні проводитись із застосуванням страхівки та в участі не менше двох осіб.

Обслуговування електротехнічного обладнання виконується відповідальними спеціалістами з наданою групою для роботи з установкою, а також оперативними працівниками за якими закріплена ця електроустановка.

5.2. Робота з електротехнічним та тепловим обладнанням

Робота з сонячними електростанціями (СЕС) та сонячними колекторами потребує суворого дотримання вимог з безпеки через наявні загрози для здоров'я та безпеки: ураження електрострумом, вплив високотемпературного середовища, ультрафіолетове випромінювання, хімічні речовини та високий тиск в теплоносіях.

Під час використання електротехнічного та теплового обладнання можливе виникнення небезпечних умов, зокрема підвищеного рівня напруги в електричному колі. У таких випадках існує ризик того, що струм може пройти через тіло людини внаслідок короткого замикання.

Одна з основних причин ураження струмом є контакт з оголеними, відкритими частинами обладнання яке в ході зовнішніх чинників втратило свої ізоляційні властивості.

Вимоги техніки безпеки в роботі з СЕС:

- персонал повинен мати не нижче III групи допуску з електробезпеки;
- перед початком роботи потрібно провести візуальний аналіз обладнання на наявність несправності (цілісність ізоляції, стан місць контактів, заземлення);
- під час обслуговування СЕС або ремонту забороняється виконувати роботу під напругою, якщо це не передбачено інструкцією та застосовуються засоби захисту;
- всі роботи без виключення проводяться із дотриманням ЗІЗ.

Основні вимоги техніки безпеки в роботі з сонячними колекторами:

- сонячні колектори це джерело високої температури (до 150 °С у вакуумних моделях) що створює ризик термічних опіків;
- роботи з монтажу та обслуговування колекторів проводиться при вимкненій циркуляції теплоносія;
- Обслуговування трубопроводів і теплообмінників виконується після охолодження системи;
- при роботі з теплоносіями (пропіленгліколь) дотримуватися заходів хімічного захисту — рукавиці, респіратор, окуляри.

Всі працівники які приймаються на роботу пов'язану в тому чи іншому випадку з обслуговуванням електроустановок обов'язково повинні мати дозвіл, та кваліфікацію. Відповідно до трудового законодавства, роботодавець несе повну відповідальність за організацію медичного обстеження персоналу. Це передбачає обов'язковий попередній медичний огляд при оформленні на роботу, а також регулярні періодичні огляди протягом усього строку трудової діяльності працівника. Такі заходи спрямовані на контроль стану здоров'я персоналу та запобігання професійним захворюванням.

Таблиця 5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при експлуатації СЕС і сонячних колекторів

№	Небезпечний /шкідливий фактор	Джерело виникнення	Потенційна небезпека	Заходи захисту
1	Ураження електричним струмом	Сонячні панелі, інвертори, АКБ	Електротравма, опіки, летальний випадок	ЗІЗ (діелектричні рукавиці, інструмент з ізоляцією)
2	Термічні опіки	Сонячні колектори, теплоносії	Опіки І–ІІІ ступеня	Термостійкі рукавиці
3	Падіння з висоти	Монтаж/обслуговування на дахах	Травми, переломи, летальний випадок	Страховальні пояси, огороження

4	Вплив ультрафіолетового випромінювання	Робота на відкритій місцевості з панелями	Опіки шкіри, ушкодження очей	Окуляри з UV-захистом, головні убори, захисний одяг
5	Виділення вибухонебезпечного газу (водень)	Акумуляторні батареї	Вибух, пожежа	Примусова вентиляція, газоаналізатори, вибухозахищене обладнання
6	Хімічний опік або отруєння	Електроліт (H ₂ SO ₄), пропіленгліколь	Ураження шкіри, дихальних шляхів	Кислотостійкі рукавиці, окуляри, фартухи
7	Надмірний рівень шуму під час обслуговування систем	Обслуговування систем вентиляції, перетворювачів	Погіршення слуху	Використання навушників або вкладишів проти шуму
8	Пожежа або коротке замикання	Несправне обладнання, замикання в АКБ	Опіки, задимлення, матеріальні збитки	Системи пожежогасіння, вогнегасники
9	Важкі фізичні навантаження під час монтажу	Підняття панелей, переміщення конструкцій	М'язові травми, перевантаження	Використання вантажопідіймальних механізмів
10	Слизька поверхня на дахах під час обслуговування	Дощ, іній, роси	Падіння, травмування	Протиковзне взуття, робота лише в суху погоду

5.3. Захист персоналу та заходи з охорони праці

Забезпечення безпеки працівників та збереження їхнього здоров'я ґрунтується на впровадженні комплексу технічних і організаційних заходів. До них належать використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), систематичне навчання з питань охорони праці, а також підготовка чітких інструкцій і дій у разі аварій чи позаштатних ситуацій.

Відповідно до статті 8 Закону України «Про охорону праці», працівникам, які виконують роботу в умовах підвищеної небезпеки або шкідливого впливу, надаються спеціальні засоби захисту: одяг, взуття та інші ЗІЗ. Їх видача здійснюється згідно з діючими нормативами.

Обов'язок щодо забезпечення працівників засобами захисту покладається на роботодавця. Він зобов'язаний власним коштом надавати необхідне обладнання та ЗІЗ кожному працівнику. У випадку зношення чи втрати захисних засобів, роботодавець повинен замінити їх на нові без додаткових витрат з боку працівника.

Процедура видачі спеціального одягу, взуття та інших ЗІЗ регламентується нормативним документом НПАОП 45.2-3.01-04 — «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам, зайнятим у будівельному виробництві», затвердженим Державним комітетом України з охорони праці 17 травня 2004 року.

Робота із сонячними енергосистемами — такими як сонячні електростанції (СЕС) та колектори — пов'язана з використанням електротехнічного й теплового обладнання. Це передбачає певні професійні ризики, тому для мінімізації небезпеки запроваджуються не лише засоби індивідуального захисту, а й цілий комплекс технічних і організаційних рішень.

Одним із ключових елементів системи безпеки є періодичне підтвердження знань із питань охорони праці. Ця вимога поширюється як на постійних працівників, так і на тимчасовий персонал або підрядників, які залучаються до робіт.

Медичні огляди. Працівники, які працюють з акумуляторними батареями (особливо кислотними), повинні проходити обов'язкові медичні огляди, зокрема перевірку стану органів дихання, шкіри, зору.

На кожному об'єкті повинні бути розроблені та затверджені інструкції щодо безпечного обслуговування обладнання та порядок дій у разі аварії або пожежі.

Усі ЗІЗ повинні регулярно перевірятись на придатність та зберігатись у спеціально визначених місцях. Використання несправних засобів заборонено.

Персонал, який виконує монтаж, обслуговування та ремонт СЕС та сонячних колекторів, повинен бути забезпечений ЗІЗ (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Перелік засобів індивідуального захисту для персоналу

№	Назва ЗІЗ	Призначення	Особливості використання
1	Діелектричні рукавички	Захист від ураження електричним струмом	Перевіряти на пробій перед кожним використанням
2	Діелектричні калоші	Ізоляція від струмопровідних поверхонь	Обов'язкові при роботі в вологих умовах
3	Індивідуальні засоби захисту очей	Захисні засоби для очей від попадання електроліту	Зберігати в індивідуальному футлярі
4	Хімічностійкий спецодяг, фартух	Захист шкіри від кислот та лугів	Прати окремо від звичайного одягу
5	Респіратор (тип FFP2 або вище)	Захист від парів кислот та аерозолів	Замінювати фільтри відповідно до інструкції
6	Ізольовані інструменти	Робота з АКБ та електричними з'єднаннями	Має бути маркування: «До 1000 В»

Технічні заходи з охорони праці. Огородження і знаки безпеки:

- установки повинні мати огороження та захист від випадкового доступу;
- на обладнанні розміщуються попереджувальні знаки: "Обережно! Висока напруга", "Гаряча поверхня" тощо.

Заземлення та блискавкозахист:

- Усі електроустановки повинні бути заземлені згідно з ПУЕ;
- Передбачено захист від перенапруг (грозозахист, SPD-пристрої).

Вентиляція:

- Приміщення для АКБ обладнуються природною або примусовою вентиляцією для відведення вибухонебезпечних газів (водню).

Пожежна безпека:

- Забезпечення об'єкта вогнегасниками (CO₂, порошкові);
- Наявність пожежних щитів, сигналізації та шляхів евакуації.

Дії персоналу в аварійних ситуаціях. Основні можливі аварійні ситуації:

- Витік або розлив електроліту;

- Коротке замикання в електроланцюзі;
- Перегрів чи загоряння акумуляторів;
- Вибух газів у приміщенні з недостатньою вентиляцією.

У табл. 5.3 наведено перелік можливих аварій та зазначено дії персоналу.

Таблиця 5.3 Перелік можливих аварій та дії персоналу

Ситуація	Дії персоналу
Витік електроліту	<ol style="list-style-type: none"> 1. Одягнути ЗІЗ 2. Локалізувати розлив 3. Нейтралізувати содовим розчином
Коротке замикання	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вимкнути живлення 2. Повідомити керівника 3. Обмежити доступ
Загоряння АКБ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Використати порошковий або вуглекислотний вогнегасник 2. Викликати пожежну службу
Підозра на вибухонебезпечне середовище	<ol style="list-style-type: none"> 1. Евакуювати персонал 2. Вимкнути систему 3. Провітрити приміщення

Висновок: Компетентне планування та дотримання вимог безпеки при розміщенні сонячних електростанцій і колекторів забезпечує не лише ефективність виробництва енергії, але й безпечні умови праці для персоналу, що обслуговує обладнання. В цьому розділі проводиться аналіз всіх небезпечних та шкідливих факторів в роботі з геліосистемами та сонячними електростанціями, та проводимо ознайомлення з правилами експлуатації установок.

Список використаної літератури

1. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 29.12.2021 № 1685.
Законодавство України.
2. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV. *Законодавство України.* [Доступно за посиланням](#)
3. ДСТУ ISO 9806:2020. Сонячна енергетика. Сонячні колектори. Методи випробувань.
4. Бойко В.М., Стеценко В.С. Сонячна енергетика: навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2021. – 288 с.
5. Кудря С.О. Відновлювана енергетика: стан та перспективи розвитку в Україні // Відновлювана енергетика. – 2022. – № 2(18). – С. 5–14.
6. Жежерин А.Є., Шелест В.А. Сонячні електростанції: проектування, монтаж, експлуатація. – Харків: Факт, 2020. – 220 с.
7. Сучасні технології енергозбереження у житлово-комунальному господарстві: монографія / За ред. І.В. Д'яків. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 180 с.
8. International Energy Agency. Solar Energy – Tracking Report 2023. [Доступно за посиланням](#)
9. SolarPower Europe. EU Market Outlook for Solar Power 2023–2027.
[Доступно за посиланням](#)
10. Заходи безпеки під час роботи із сонячними панелями та батареями.
Vinur. [Доступно за посиланням](#)
11. Безпека під час роботи з акумуляторами: як запобігти аваріям і псуванню обладнання. *Vinur.* [Доступно за посиланням](#)

12. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: Наказ МНС № 256 від 30.05.2007. *Законодавство України*. [Доступно за посиланням](#)
13. Забезпечення та використання ЗІЗ – Охорона праці. *Охорона праці*.
Доступно за посиланням
14. Енергія сонця. *Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України*. [Доступно за посиланням](#)
15. Національний план дій з енергоефективності до 2030 року.
Держенергоефективності. [Доступно за посиланням](#)
16. Перспективи використання сонячних електростанцій в Україні до 2030 року. *PRAVDA.IF.UA*. [Доступно за посиланням](#)
17. Екологічні переваги видобутку сонячної енергії. *EcoEnergy*. [Доступно за посиланням](#)
18. Переваги та недоліки сонячної енергії. *Друкарня*. [Доступно за посиланням](#)
19. Економічна вигода від встановлення сонячних панелей в Україні у 2024.
SolarInvest. [Доступно за посиланням](#)
20. Сонячна енергетика України: технології, економіка та перспективи 2025.
AgroDream. [Доступно за посиланням](#)
21. Сонячні панелі - купити сонячні батареї в Україні. *Solar Invest Group*.
[Доступно за посиланням](#)
22. Сонячна установка. Поради інвестору. *Погляд інженера*. [Доступно за посиланням](#)
23. Енергетична безпека: чому українські громади все частіше обирають ВДЕ. *Енергетичний перехід в Україні*. [Доступно за посиланням](#)
24. Система опалення приватного будинку з природною циркуляцією.
TermoUnion. [Доступно за посиланням](#)

25. Традиційні системи опалення з природною та примусовою циркуляцією теплоносія. Частина 2. *TermoUnion*. [Доступно за посиланням](#)
26. Системи опалення з природною і примусовою циркуляцією. *Speedinfo*.
[Доступно за посиланням](#)
27. Що таке тепловий насос? *Musond*. [Доступно за посиланням](#)
28. Монтаж сонячних колекторів на дах. *Energysun*. [Доступно за посиланням](#)
29. Геліосистеми для ГВС і систем опалення. *Ватерстор*. [Доступно за посиланням](#)
30. Геліосистеми - купити в Україні геліосистему для водопостачання та опалення. *SolarUkraine*. [Доступно за посиланням](#)
31. Thermal modernization.pdf – Термомодернізація будівель: технічні аспекти.
32. Термомодернізація індивідуальних одноквартирних будинків у сільській місцевості. *Ecoenergy.gov.ua*. [Доступно за посиланням](#)
33. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 148 с.
34. Виссарионов В.И., Белкина С.В., Дерюгина Г.В. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 448 с.
35. Лукутин Б.В., Муравлев А.В. Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. – М.: МЭИ, 2013. – 132 с.
36. Калинчик В.П., Кокоріна М.Т. Планування енергозабезпечення регіонів України на основі відновлюваних джерел енергії // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2013. – № 3(80). – С. 60–65.
37. Рожко А.О. Сталый розвиток України в контексті використання відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії. [Доступно за посиланням](#)