

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Оптимізація системи забезпечення теплових режимів

(назва кваліфікаційної роботи згідно з наказом ЗВО)

фотоелектротеплового (PV-T) колектора сонячної енергії

Здобувача (ки) Притико С.В.
(прізвище, ініціали)
2 курсу ЕЕ-464 групи

Керівник проф. Косой Б.В.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти доц. Бошков Л.З.
(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту
Рішення кафедри від 09 червня 2023 р., протокол № 11.

Завідувач кафедри ЕТ та ПЕ Юрій СЕМЕНЮК
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ нафти, газу та екології
Кафедра _____ екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології
Ступінь вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма _____ «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри Юрій СЕМЕНЮК

« 28 » лютого 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Притико Сергій Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація системи забезпечення теплових режимів фотоелектротеплового (PV-T) колектора сонячної енергії

затверджена наказом ЗВО від 04.10.2021 року № 833-03

2. Термін здачі здобувачем (здобувачкою) закінченої роботи 08.06.2023 р.

3. Вихідні дані роботи Сучасні фотоелектричні панелі трьох видів на основі монокристалічного (ККД до 21,5%), полікристалічного (ККД 14-17%) та аморфного кремнію (ККД 5-8%). Нова серія сонячних фотоелектротеплових модулів (PV-T) голландської компанії Triple Solar.

4. Перелік питань, які потрібно розробити 1. ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ФОТОЕЛЕКТРОТЕПЛОГО КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. 3. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОВИХ СИСТЕМ. 4. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ПРОФЕСІЙНА ЕТИКА. 6. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБІТІ З СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ ТА БАТАРЕЯМИ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
5.1. Науково-технічна презентація MS Power Point з 24 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Бошков Л.З., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.03.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.	31.03.2023 р.	
2	ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ФОТОЕЛЕКТРОТЕПЛООВОГО КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.	25.04.2023 р.	
3	АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОВИХ СИСТЕМ.	15.05.2023 р.	
4	РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.	25.05.2023 р.	
5	ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ПРОФЕСІЙНА ЕТИКА.	30.05.2023 р.	
6	ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБІТІ З СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ ТА БАТАРЕЯМИ.	30.05.2023 р.	
7	Підготування пояснювальної записки відповідно вимогам НК.	05.06.2023 р.	
8	Розробка наукової презентації MS Power Point	05.06.2023 р.	

Здобувач

_____ **Притико С.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Косой Б.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник

_____ **Притико С.В.** _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з: 96 сторінок тексту, 25 рисунків, 13 таблиць, 48 посилань на літературні джерела.

Метою роботи є оптимізація системи забезпечення теплових режимів фотоелектротеплового (PV-T) колектора сонячної енергії. Вивчені фізико-технічні основи фотоелектричної сонячної енергетики, досліджені умови оптимізації теплових режимів фотоелектротеплового колектора сонячної енергії. Проведений тепловий аналіз фотоелектричного теплового модуля в програмному комплексі ANSYS. Здійснений аналіз експериментальних досліджень фотоелектричних теплових систем. Проведений розрахунок техніко-економічних показників системи електропостачання на основі сонячної енергетики. Розглянуті заходи до охорони праці, техніки безпеки та професійної етики, а також заходи безпеки при роботі з сонячними панелями та батареями.

Ключові слова: фотоелектричні теплові системи, фотоелектричний ефект, параметри ФЕТ модулів, експериментальні дослідження, техніко-економічні показники.

Abstract

The diploma project consists of: 96 pages of text, 25 figures, 13 tables, 48 references to literary sources.

The aim of the work is to optimize the system for ensuring the thermal modes of the solar energy collector. The physical and technical foundations of photovoltaic solar energy were studied, the conditions for optimizing the thermal regimes of the solar energy photoelectric thermal collector were studied. Conducted thermal analysis of the photovoltaic thermal module in the ANSYS software complex. The analysis of experimental studies of photovoltaic thermal systems was carried out. The calculation of technical and economic indicators of the power supply system based on solar energy was carried out. Considered occupational health and safety, safety techniques and professional ethics, as well as safety measures when working with solar panels and batteries.

Key words: photovoltaic thermal systems, photovoltaic effect, FET module parameters, experimental studies, technical and economic indicators..

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	8
1.1. Сонячне випромінювання	8
1.2 Фотоелектричні технології, що дозволяють безпосередньо перетворювати сонячне випромінювання на електрику	9
1.3 Фотоелектричний ефект	13
1.4 Типи сонячних елементів	20
1.5 Сонячні панелі	22
1.6 Номінальна потужність сонячної панелі	23
1.7 Термін служби сонячних панелей	28
1.8 Концентраторні сонячні фотоелектричні модулі	30
2 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ФОТОЕЛЕКТРОТЕПЛОВОГО КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	38
2.1 Актуальність розвитку фотоелектротеплових колекторів сонячної енергії	38
2.2 Проведення теплового аналізу фотоелектричного теплового модуля, що моделюється в програмному комплексі ANSYS	40
3 АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОВИХ СИСТЕМ	50
3.1 Системи накопичення енергії фотоелектричними тепловими модулями	50
3.2 Визначення проблеми та шляхи вирішення	54

					<i>КРМ.ЕТтаПЕ.1.833-03.1.2</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>	<i>Притико</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Косой</i>				5	5	96
<i>Затв.</i>	<i>Семенюк</i>				<i>Розрахунково– пояснювальна записка</i>		
					<i>ОНТУ група ЕЕ-464</i>		

3.3 Фотоелектрична модель із батареєю	58
3.4 Проектування системи	58
3.5 Аналіз представлених у літературі джерел про отримані результати оцінки параметрів ФЕТ модулів	59
4 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	73
4.1 Розрахунок капітальних інвестицій	73
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	75
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	75
4.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати	76
4.2.3 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт	77
4.2.4 Розрахунок вартості електроенергії	77
4.3 Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування	77
4.4 Розрахунок економічної ефективності та терміну окупності	78
5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ПРОФЕСІЙНА ЕТИКА	81
5.1 Основні принципи у сфері охорони праці	81
5.2 Аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих виробничих факторів	82
5.3 Вплив системи електропостачання за допомогою фотоперетворювальних систем на довкілля	83
6 ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБІТІ З СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ ТА БАТАРЕЯМИ	86
ВИСНОВКИ	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

ВСТУП

Останні десятиліття світова сонячна енергетика розвивається високими темпами, сонячні електростанції стають частиною енергетичної інфраструктури багатьох країн. Розвиток сонячних технологій істотно впливає на економіку. Очікується, що в найближчі десятиліття сонячна енергетика стане стимулом для економічного розвитку країн та регіонів, які мають максимальний «сонячний» ресурс. Фотоелектричні теплові модулі (ФЕМ) є перетворювачами сонячної енергії. Область їх застосування досить широка і охоплює практично всі галузі промисловості, починаючи від сільського господарства та закінчуючи ракетно-космічною технікою. Використання таких джерел має такі переваги: енергія, що використовується, постійно відновлюється і ресурси її не обмежені, виявляється незначний вплив на навколишнє середовище, внаслідок відсутності шкідливих викидів і відходів, характеризуються доступністю для населення. Однак відновлювані джерела мають значні недоліки, які не дозволяють використовувати їх для генерації високих потужностей. Головними недоліками цих джерел є низький ККД та залежність від географічних та кліматичних умов, а також рівня інсоляції (для фотоелектричних модулів).

Метою роботи є оптимізація системи забезпечення теплових режимів фотоелектротеплового (PV-T) колектора сонячної енергії.

1. Вивчити фізико-технічні основи фотоелектричної сонячної енергетики.
2. Дослідити умови оптимізації теплових режимів фотоелектротеплового колектора сонячної енергії.
3. Провести тепловий аналіз фотоелектричного теплового модуля, в програмному комплексі ANSYS.
4. Здійснити аналіз експериментальних досліджень фотоелектричних теплових систем.
5. Провести розрахунок техніко-економічних показників системи електропостачання на основі сонячної енергетики.

1 ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Сонячне випромінювання

Кількість енергії, що потрапляє на земну поверхню від Сонця, величезна. Так, наприклад, потужність потоку сонячної радіації, що надходить на площу 10 км^2 , у безхмарний день сягає 7–9 мільйонів кВт [1]. Сонячні енергетичні технології перетворюють електромагнітне випромінювання Сонця на форми тепла та електроенергії. Існують три основні технології використання сонячної енергії:

- сонячні колектори для нагрівання рідкого або газоподібного теплоносія;
- технологія концентрованої сонячної енергії, в якій сонячне тепло використовується для одержання пари, за допомогою якої турбіни виробляють електроенергію (рис. 1.1).



Рисунок 1.1. Встановлення концентрованої сонячної енергії

1.2 Фотоелектричні технології, що дозволяють безпосередньо перетворювати сонячне випромінювання на електрику

Сьогодні сонячна електрика широко використовується в віддалених районах, де немає централізованого електропостачання, або для електропостачання будинків, офісів та інших будівель у місцях, де є централізована мережа електропостачання. Останніми роками саме це застосування забезпечує близько 90% ринку сонячних панелей. У переважній більшості випадків сонячні панелі працюють паралельно з мережею та генерують екологічно чисту електрику для мереж централізованого електропостачання. У багатьох країнах існують спеціальні механізми підтримки сонячної енергетики, наприклад, спеціальні підвищені тарифи на постачання електроенергії від сонячних панелей до мережі, податкові пільги, пільги при отриманні кредитів для придбання устаткування тощо. На етапі становлення фотоенергетики такі механізми діяли в Європі, США, Японії, Китаї, Індії та інших країнах. На жаль, Україна щодо цього відстала, і реально діючих механізмів підтримки відновлюваної енергетики немає. В даний час сонячна енергетика забезпечує трохи більше 1% генерації електрики у світі. Однак, у низці європейських країн ця частка істотно вища. Приміром, у Німеччині ця цифра становить близько 6% [2].

Інтенсивність сонячного світла, що досягає Землі, змінюється залежно від часу доби, року, місця розташування та погодних умов. Загальна кількість енергії, підрахована за день або за рік, називається іррадіацією (або «приходом сонячної радіації») і показує, наскільки потужним було сонячне випромінювання. Іррадіація вимірюється в $[Вт \cdot ч/м^2]$ на день або за інший період.

Інтенсивність сонячного випромінювання у вільному просторі на віддаленні, що дорівнює середній відстані між Землею та Сонцем, називається сонячною постійною. Її величина становить $1353 \text{ Вт}/м^2$ [3]. При проходженні через атмосферу сонячне світло послаблюється, в основному, через поглинання

інфрачервоного випромінювання парами води, ультрафіолетового – озоном, та розсіювання випромінювання частинками атмосферного пилу та аерозолями. Показник атмосферного впливу на інтенсивність сонячного випромінювання, що сягає земної поверхні, називається «повітряною масою» (AM). На рис. 1.2 показано спектральне розподілення інтенсивності сонячного випромінювання в різних умовах. Верхня крива (AM0) відповідає сонячному спектру за межами земної атмосфери (наприклад, на борту космічного корабля), тобто за нульової повітряної маси. Вона апроксимується розподілом інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі 5800 К. Криві AM₁ та AM₂ ілюструють спектральний розподіл сонячного випромінювання на поверхні Землі, коли Сонце в зеніті, та при вугіллі між Сонцем та зенітом 60° відповідно. При цьому повна потужність випромінювання становить близько 925 та 691 Вт/м². Середня інтенсивність випромінювання Землі приблизно збігається з інтенсивністю випромінювання при AM1.5 (Сонце перебуває під кутом 45° до горизонту) [3].

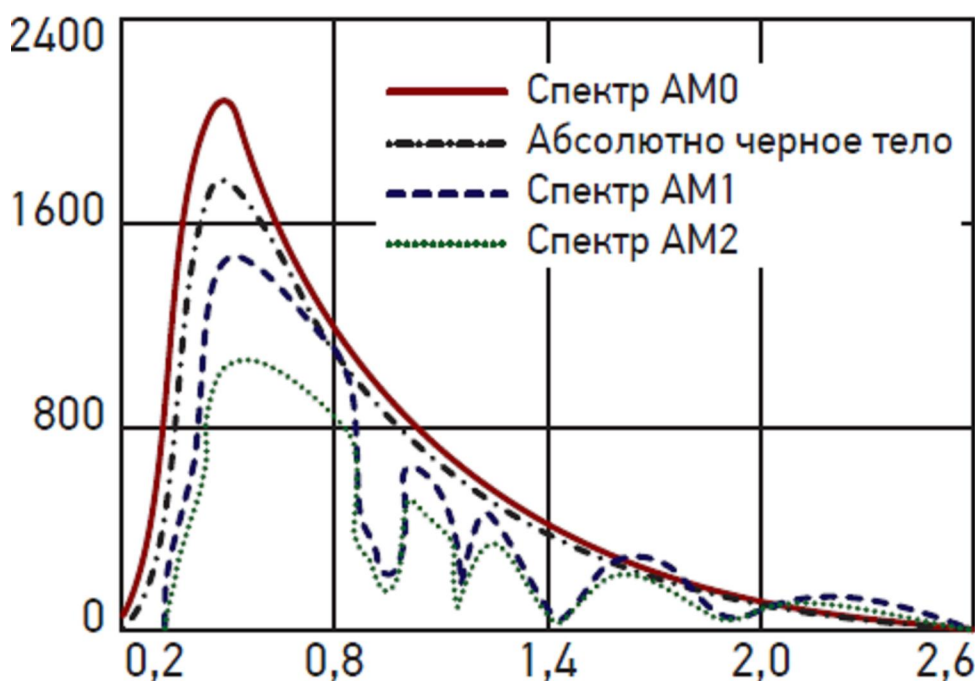


Рисунок 1.2. Спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання у різних умовах

1.3 Фотоелектричний ефект

Фотоелектричний ефект (фотоефект) було відкрито французьким ученим А.Е. Беккерелем в 1839 році і заснований на здатності струмопровідних матеріалів випускати електрони під дією електромагнітного випромінювання, в тому числі світла. Три основні закони фотоефекту можна сформулювати так [3]:

1) Сила фотоструму прямо пропорційна щільності електромагнітного випромінювання.

2) Максимальна кінетична енергія електронів, що вириваються світлом, лінійно зростає з частотою електромагнітного випромінювання і не залежить від його інтенсивності.

3) Для кожної речовини при певному стані її поверхні існує гранична частота електромагнітного випромінювання, нижче якої фотоефект не спостерігається.

Ця частота та відповідна довжина хвилі називаються червоною межею фотоефекту. Фотоефект проявляється у фотоелектричній системі, що безпосередньо перетворює сонячну енергію в електрику. Для роботи фотоелектричної системи потрібне денне світло. Найпростіша конструкція фотоелектричного або сонячного елемента (СЕ) – приладу для перетворення енергії сонячного випромінювання – на основі монокристалічного кремнію показано на рис. 1.4. На малій глибині від поверхні кремнієвої пластини р-типу сформований р-п-перехід з тонким металевим контактом. Фотоелектричні системи не повинні обов'язково перебувати під прямим сонячним промінням, так що навіть у похмурі дні фотоелектричні панелі можуть виробляти деяку кількість електроенергії.

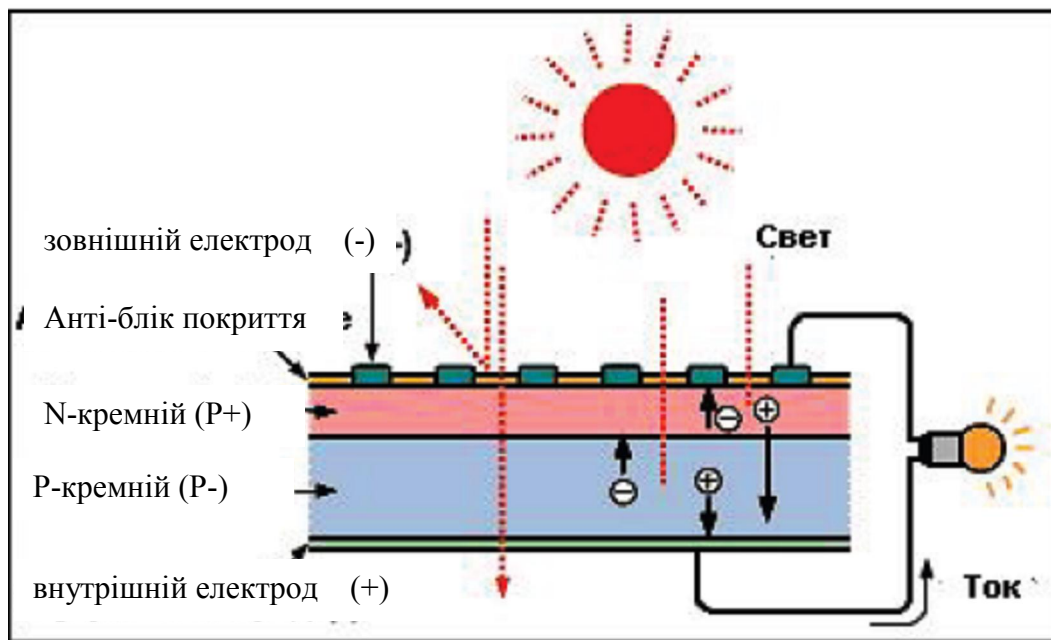


Рисунок 1.4. Конструкція фотоелектричного елемента

Нехай р–п-перехід розташований поблизу освітлюваної поверхні напівпровідника. При використанні сонячного елемента як джерело електроенергії до його висновків повинен бути приєднаний опір навантаження $R_{н}$. Розглянемо спочатку два крайні випадки: $R_{н}=0$ (режим короткого замикання) і $R_{н} = \infty$ (режим холостого ходу). Зонні діаграми цих режимів зображені на рис. 1.5а, б [3]. У першому випадку зонна діаграма освітленого р–п-переходу не відрізняється від зонної діаграми при термодинамічній рівновазі (без освітлення і без прикладеної напруги усунення), оскільки зовнішнє закорочення забезпечує нульову різницю потенціалів між n- та р-областями. Однак через р–п-перехід та зовнішній провідник тече струм, викликаний фотогенерацією електронно-діркових пар у р-області.

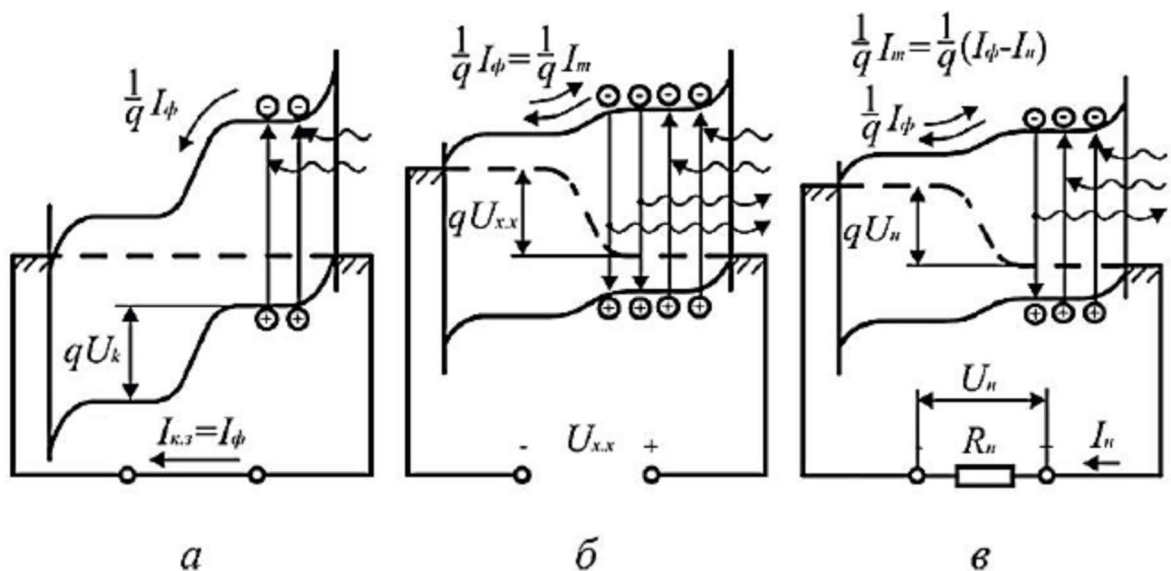


Рисунок 1.5. Зонні енергетичні діаграми р–п-переходу при освітленні у різних режимах: а – короткого замикання; б – холостого ходу; в – включення на опір навантаження

Інші електрони дифундують до р–п-переходу, намагаючись заповнити їх спад, і в результаті також потрапляють у п-область. У п-області виникає спрямоване рух електронів до тильного металевому контакту, перетікання у зовнішній ланцюг і контакт з р-областю. На межі контакту з р-областю відбувається рекомбінація електронів, що підійшли сюди, з фотогенерованими дірками. При розімкнутому зовнішньому ланцюзі р–п-переходу (рис. 1.5б) фотоелектрони, потрапляючи у п-область, накопичуються у ній і заряджають її негативно. Надлишкові дірки, що залишилися в р-області, заряджають р-область позитивно. Різниця потенціалів, що виникає таким чином, є напругою холостого ходу (U_{xx}), полярність якого відповідає прямому зміщенню р–п-переходу. Потік генерованих світлом носіїв утворює фотострум (I_{ϕ}). Величина його дорівнює числу фотогенерованих носіїв, що пройшли через р-п-перехід в одиницю часу. При нульових внутрішніх омичних втратах у сонячному елементі режим короткого замикання (рис. 1.5а) еквівалентний нульовому напрузі зміщення р-п-переходу, тому струм короткого замикання ($I_{кз}$) дорівнює фотоструму (I_{ϕ}). У режимі холостого ходу (рис. 1.5б) фотострум врівноважується «темновим»

струмом (I_t) – прямим струмом через р–n-перехід, що виникає при напрузі зміщення (U_{xx}). «Темновий» струм супроводжується рекомбінацією неосновних носіїв струму (у разі електронів в р-області). При рекомбінаціях потенційна енергія електронно-діркових пар виділяється або випромінюванням фотонів з $h\nu \approx E_g$, або витрачається на нагрівання кристалічних ґрат (рис. 1.5б). Таким чином, режим холостого ходу сонячного елемента еквівалентний режиму роботи світлодіодів, а також випрямних діодів у пропускнуому напрямку. Якщо до р–n-переходу підключити опір навантаження, що варіюється (рис. 1.5в), то напрям струму в ній завжди збігається з напрямком фотоструму (I_ϕ), а сам струм навантаження (I_n) дорівнює результуючого струму через р–n-перехід. Навантажувальну вольтамперну характеристику (ВАХ) освітленого р-n-переходу (рис. 1.6) можна записати як [3]:

$$U_n = \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left(\frac{I_\phi - I_n}{I_0} + 1 \right), \quad (1.1)$$

де U_n - напруга на навантаженні, рівне напрузі на р-n-переходи, В; I_n – струм навантаження, А; I_0 - Струм насичення, А; I_ϕ - фотострум, А; k – стала Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T - абсолютна температура, К; q – величина заряду електрона. Максимальна потужність відбирається у разі, коли сонячний елемент перебуває у режимі, позначеному точкою на рис. 1.6

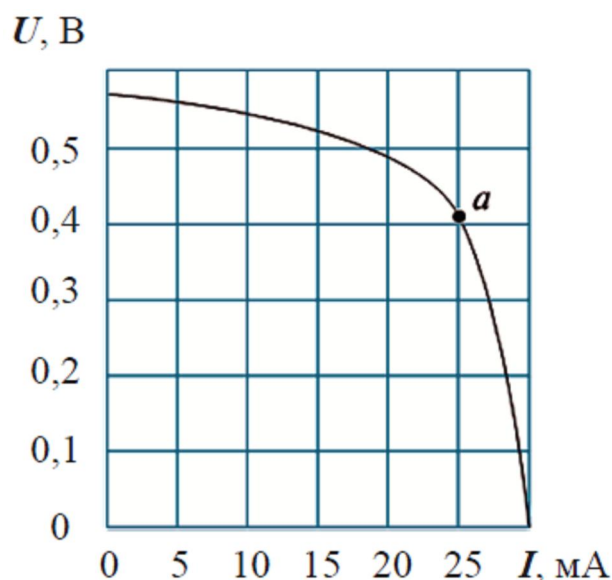


Рисунок 1.6. Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

Максимальна потужність, що знімається з одиниці площі сонячного елемента, обчислюється за формулою [3]:

$$P_{\max} = U_{TMM} \cdot I_{TMM} = FF \cdot I_{кз} \cdot U_{хх}, \quad (1.2)$$

де U_{TMM} - напруга в точці максимальної потужності (точка а, рис. 1.6), В; I_{TMM} - струм у точці максимальної потужності (точка а, рис. 1.6), А; $I_{кз}$ - струм короткого замикання, А; $U_{хх}$ - напруга холостого ходу, В. Напруга холостого ходу - це максимальна напруга, що створюється сонячним елементом, що виникає при нульовому струмі (рис. 1.7). Воно дорівнює прямому зміщенню, що відповідає зміні напруги р-п-переходу при появі світлового струму. Напруга холостого ходу зазвичай позначається $U_{хх}$. Напруга холостого ходу монокристалічних сонячних елементів високої якості сягає 730 мВ за умови АМ 1.5. У комерційних пристроях воно зазвичай становить 600 мВ.

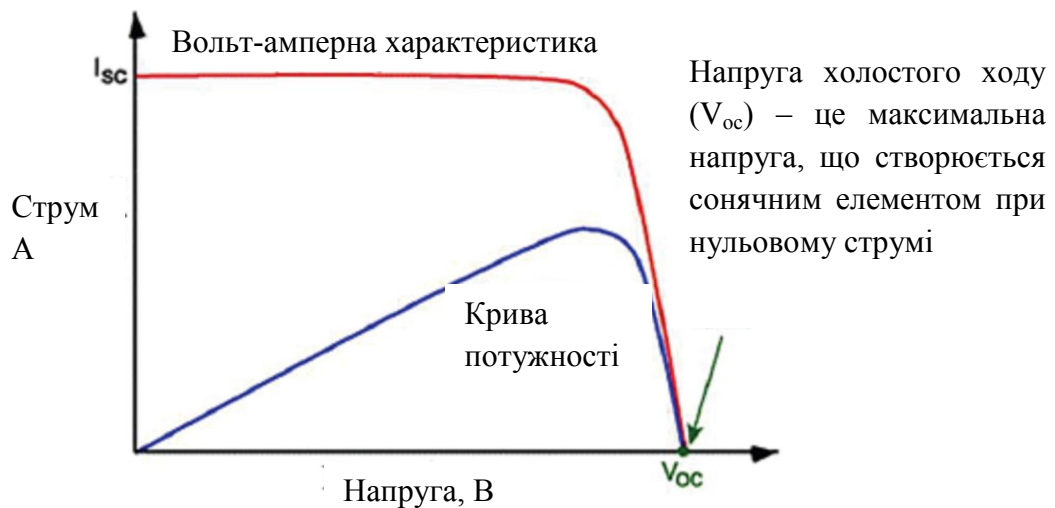


Рисунок 1.7. Вольт-амперна характеристика сонячного елемента та напруга холостого ходу

Струм короткого замикання – це струм, що протікає через сонячний елемент, коли напруга дорівнює нулю (тобто коли сонячний елемент замкнений на короткий час) (рис. 1.8). Струм короткого замикання зазвичай позначається $I_{кз}$ або I_{ss} . Він виникає в результаті генерації та поділу згенерованих світлом носіїв. В ідеальному сонячному елементі за умови помірних резистивних втрат він дорівнює світловому струму. Тому струм короткого замикання можна вважати максимальним струмом, здатним створити сонячний елемент. З іншого боку, він прямо пропорційно залежить від інтенсивності світла.

На практиці сонячний елемент працює при комбінації струму та напруги, коли виробляється достатня потужність. Найкраще їх поєднання називається точкою максимальної потужності (ТММ), відповідні напруга та струм позначаються $U_{ТММ}$ та $I_{ТММ}$.

Коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики (ВАХ) сонячного елемента (fill factor, FF). Струм короткого замикання та напруга холостого ходу – це максимальні струм та напруга, які можна отримати від сонячного елемента. Однак, при нарузі холостого ходу та струму короткого замикання потужність сонячного елемента дорівнює 0.

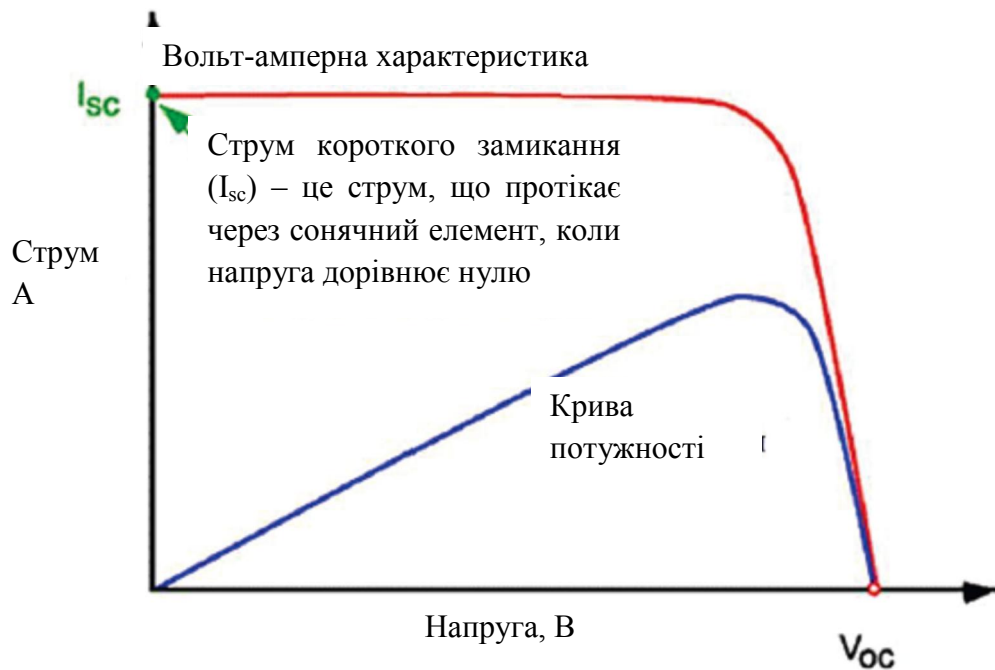


Рисунок 1.8. Вольт-амперна характеристика сонячного елемента та струм короткого замикання

Коефіцієнт заповнення – параметр, який у поєднанні з напругою холостого ходу та струмом короткого замикання визначає максимальну потужність сонячного елемента. Він обчислюється, як відношення максимальної потужності сонячного елемента до напруги холостого ходу і струму короткого замикання:

$$FF = \frac{U_{TMM} \cdot I_{TMM}}{I_{кз} \cdot U_{xx}}, \quad (1.3)$$

де U_{TMM} - напруга в точці максимальної потужності (T_{MM}), В; I_{TMM} - струм у T_{MM} , А; U_{xx} - напруга холостого ходу, В; $I_{кз}$ - струм короткого замикання, А. Графічно коефіцієнт заповнення є мірою квадратичності сонячного елемента і дорівнює максимальній площі прямокутника, який можна вписати в вольт-амперну криву (рис. 1.9).

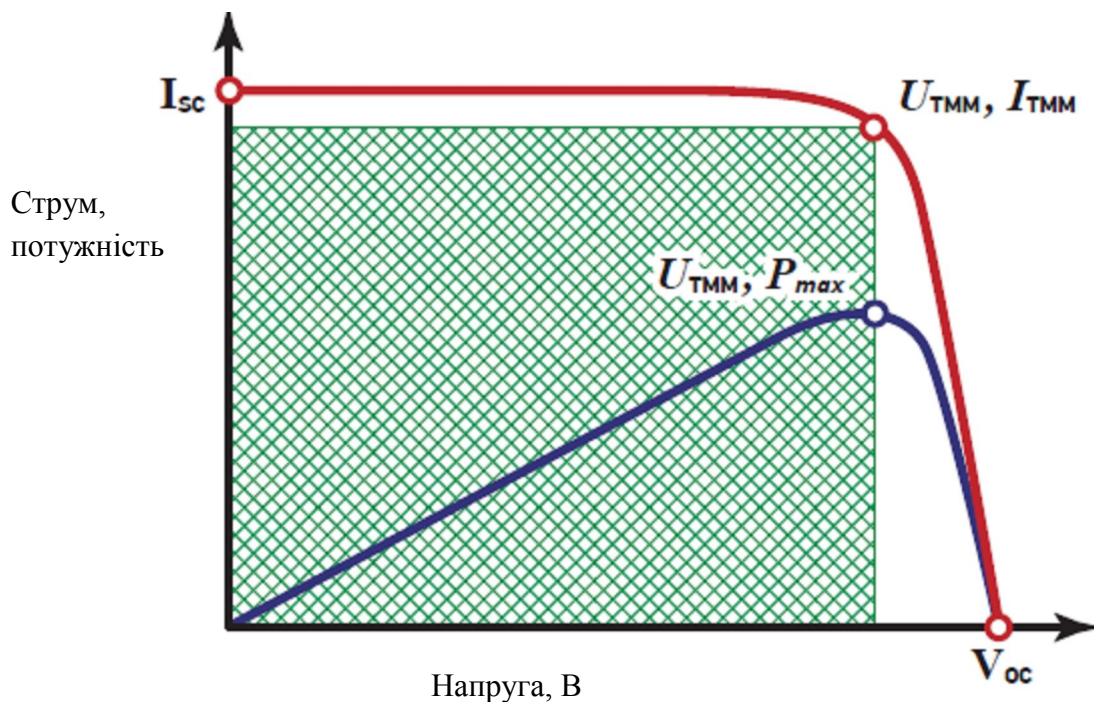


Рисунок 1.9. Графічне подання коефіцієнта заповнення вольт-амперної характеристики (ВАХ) сонячного елемента

Так як коефіцієнт заповнення є мірою квадратичності вольт-амперної кривої, сонячний елемент з більш високою напругою матиме і вищий можливий коефіцієнт заповнення, оскільки закруглена частина кривої займає менше місця. Коефіцієнт заповнення ВАХ є одним з основних параметрів, яким можна судити про якість фотоелектричного перетворювача. Типові якісні сонячні елементи, що серійно випускаються, мають коефіцієнт заповнення ВАХ більше 0,7. Браковані елементи мають коефіцієнт заповнення ВАХ від 0,4 до 0,65. У аморфних елементах та інших тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачів коефіцієнт заповнення ВАХ 0,4-0,7. Чим більший коефіцієнт заповнення ВАХ, тим менші втрати в елементі через внутрішній опір. Графік рис. 1.10 ілюструє ВАХ елементів з різним коефіцієнтом заповнення. Як видно, обидві криві мають однакові значення струму короткого замикання та напруги холостого ходу, проте елемент з меншим коефіцієнтом заповнення ВАХ (нижній графік) виробляє менше потужності T_{MM} .

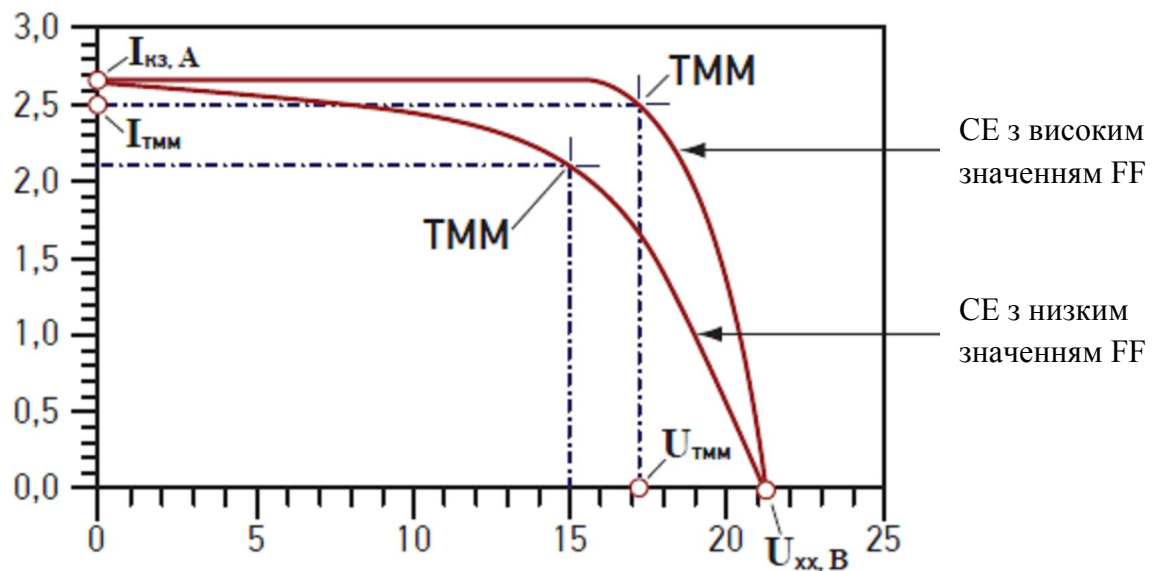


Рисунок 1.10. Вольт-амперна характеристика (ВАХ) сонячних елементів з різним коефіцієнтом заповнення

При виготовленні кожен сонячний елемент тестується і вимірюється його ВАХ і коефіцієнт заповнення. Якщо останній менший за 0,7, то елемент класифікується як Grade B і продається виробникам супердешевих панелей, які повинні повідомляти покупців про низьку якість елементів.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) є найпоширенішим параметром, за яким можна порівняти продуктивність двох сонячних елементів. Він визначається як відношення потужності, що виробляється сонячним елементом, до потужності падаючого сонячного випромінювання. Крім власне продуктивності сонячного елемента, ККД також залежить від спектру та інтенсивності падаючого сонячного випромінювання та температури сонячного елемента. Тому для порівняння двох сонячних елементів потрібно ретельно виконувати прийняті стандартні умови.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{пад}}} \cdot 100\%, \quad (1.4)$$

де P_{\max} - максимальна потужність сонячного елемента, Вт (формула (1.2));
 $P_{\text{пад}}$ - потужність падаючого сонячного випромінювання, Вт.

1.4 Типи сонячних елементів

Найбільшого поширення у фотоелектричних установках набули кремнієві елементи трьох видів на основі монокристалічного (ККД до 21,5%), полікристалічного (ККД 14-17%) та аморфного кремнію (ККД 5-8%) (рис. 1.11) [6]. Відмінність між цими видами полягає в тому, як організовані атоми кремнію в кристалі (рис. 1.11) .

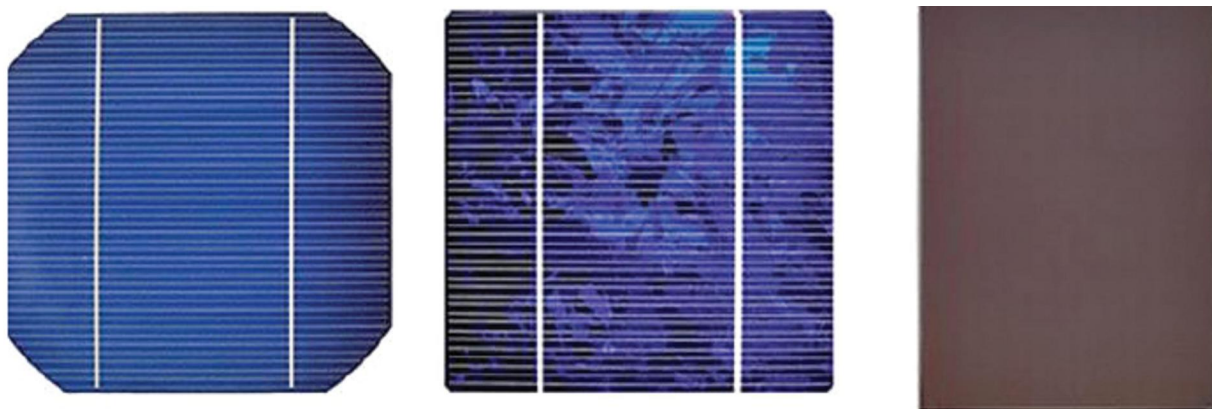


Рисунок 1.11. Монокристалічні, полікристалічні та аморфні сонячні елементи

У фотоелектричних елементах є задній контакт і 2 шари кремнію різної провідності, зверху сітка з металевих контактів та покриття антивідблиску, що дає сонячному елементу характерний синій відтінок.

У сонячній енергетиці одним із перспективних матеріалів для створення високоефективних фотоелектричних елементів є арсенід галію (GaAs). Такі елементи мають високий ККД (для одноперехідних елементів близько 28% [6]). Окремо можна виділити елементи, які використовують органічні матеріали. Фотоелектричні елементи на основі діоксиду титану (TiO_2), покриті органічним барвником, мають ККД близько 11% [6]. Принцип роботи елемента заснований

на фотозбудження барвника та швидкої інжекції електрона в зону провідності TiO_2 . В останні роки розроблено нові типи матеріалів для тонкоплівкових фотоелектричних елементів, наприклад, медіндій-диселенід і телурид кадмію (CdTe). Такі сонячні елементи останнім часом широко використовуються. Технології їх виробництва постійно розвиваються, за останнє десятиліття ККД тонкоплівкових елементів зріс приблизно вдвічі. Останні технології використовують гібридні методи. Так з'явилися елементи, які мають як кристалічний перехід, так і тонкий аморфний напівпрозорий, розташований над кристалічним. Так як кристали і аморфний кремній найбільш ефективно перетворюють лише частину спектра світла і ці спектри трохи відрізняються, застосування таких гібридних елементів дозволяє підвищити загальний ККД сонячного елемента. У лабораторіях вже отримано ККД близько 45% [6]. Звичайно, до масового використання такі технології дійдуть ще не скоро, але робота з удешевлення виготовлення сонячних елементів ведеться постійно в усьому світі.

1.5 Сонячні панелі

Сонячні панелі (фотоелектричні або сонячні модулі) складаються з сонячних елементів. Оскільки один сонячний елемент не виробляє достатньої кількості електроенергії, кілька таких елементів збирають у сонячні панелі, щоб виробляти більше електрики (рис. 1.12).

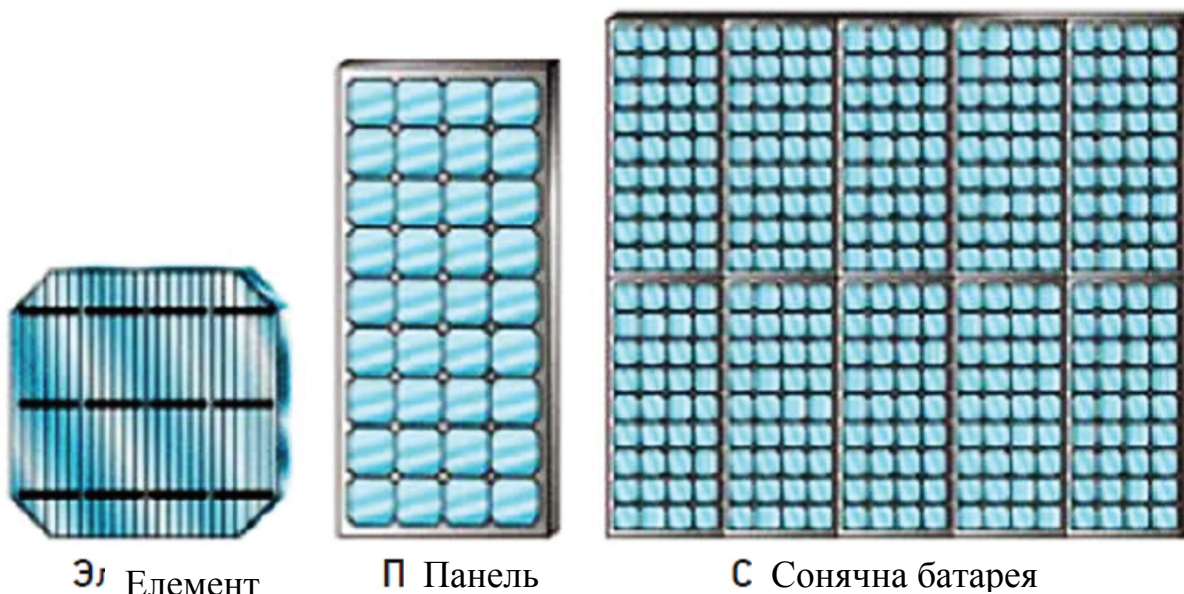


Рисунок 1.12. Сонячний елемент, сонячна панель (фотоелектричний модуль), сонячна батарея

Панель являє собою фотоелектричний генератор, що складається зі скляної плити, з тильного боку якої між двома шарами плівки, що герметизує, розміщені сонячні елементи, електрично з'єднані між собою металевими шинами. Нижній шар плівки, що герметизує, захищений від зовнішніх впливів захисним шаром. До внутрішньої сторони корпусу панелі прикріплено блок терміналів, під кришкою якого розміщені електричні контакти для підключення (рис. 1.13). Герметизуючий матеріал необхідний, щоб забезпечити повну герметичність сонячних елементів під час роботи на відкритому повітрі цілий рік. При попаданні повітря або вологи всередину сонячної панелі відбувається окислення та руйнування контактів сонячних елементів, що призводить до виходу з ладу. Як герметизуючі зазвичай застосовується етиленвінілацетатна (EVA) плівка. На жаль, вона ж і є одним із факторів старіння фотоелектричних панелей, оскільки згодом втрачає свою прозорість. Зараз у всьому світі ведуться роботи із заміни EVA-плівки на інші матеріали, але поки що, в основному, застосовується саме цей матеріал.

ККД панелей коливається від 5 до 20% [6], тобто така кількість сонячної енергії буде трансформована в електрику.

1.6 Номінальна потужність сонячної панелі

Сонячний елемент (СЕ) виробляє електрику, коли освітлюється світлом. Залежно від інтенсивності світла сонячний елемент виробляє більше або менше електрики: яскраве сонячне світло краще, ніж тінь, і тінь краща, ніж електричне світло. Для порівняння СЕ та панелей необхідно знати так звану номінальну потужність елемента чи панелі. Номінальна потужність, виражена у Вт пікової потужності ($W_{\text{пик}}$), це міра того, скільки електроенергії може виробити сонячна панель за оптимальних умов.

Щоб можна було порівняти панелі між собою, виробники домовилися випробовувати їх за певних умов. Спочатку були введені Standard Test Conditions (STC), тобто так звані стандартні тестові умови. Параметри STC відображають роботу сонячної панелі в ідеальних умовах, які зазвичай досягаються при короткочасному спалаху тестера сонячних панелей у заводських або лабораторних умовах. При цьому освітленість повинна бути 1000 Вт/м^2 , температура сонячної панелі $25 \text{ }^\circ\text{C}$, спектр випромінювання повинен відповідати масі повітря AM1.5, а швидкість вітру повинна дорівнювати нулю [7, 8]. Саме параметри при STC позначені на шильдику всіх сонячних панелей (рис. 1.13). Вони є обов'язковими всім виробників. Якщо мова йде про потужність сонячної батареї, то вказується потужність при STC.


 InEcoEnergo.com	
Model Type	G200M-36
Rated Max Power (Pmax)	200W
Current at Pmax (Imp)	5.82A
Voltage at Pmax (Vmp)	34.4V
Short-Circuit Current (Isc)	6.31A
Open-Circuit Voltage (Voc)	43.2V
Normal Operating Cell Temp (Tnoct)	45°C
Weight	14.00kg
Max System Voltage	1000V DC
All technical data at standard test conditions AM=1.5 E=1000W/m² Tc=25°C	

Рисунок 1.13. Інформація на шильдику сонячної панелі

Однак умови STC рідко трапляються при реальній експлуатації сонячних панелей. Якщо ви встановили на своєму даху панель номінальною потужністю 250 Вт, це зовсім не означає, що ви отримаєте від неї потужність 250 Вт за будь-яких умов. STC не відображає ефективність та продуктивність сонячної панелі в реальних умовах. Тому робляться спроби визначити умови, за яких параметри панелі ближчі до тих, що мають місце насправді. Останнім часом все більше виробників вказують параметри панелі в нормальних умовах (NOCT), тобто при температурі панелі 40-45 ° C і освітленості 800 Вт/м². Тим не менш, NOCT також не відображає реальну потужність панелі, так як під час роботи сонячної батареї освітленість може бути навіть вищою за 1000 Вт/м², а температура істотно нижче 45 ° C [7,8]. Все частіше для порівняння панелей замість STC застосовуються тестові умови PVUSA (Photovoltaics for Utility Systems

Applications) Test Conditions (PTC), які є більш реалістичними. Однак, далеко не всі виробники вказують параметри при PTC. Зазвичай PTC вказується панелей, вироблених для американського ринку. Параметри тестів PTC показують результати тестів сонячних панелей в умовах, більш наближених до реальних, ніж STC. PTC також мають на увазі освітленість в 1000 Вт/м^2 , але температура нормується не самого сонячного елемента, як в STC, а навколишнього повітря. Панелі повинні бути на висоті 10 м над рівнем землі, температура повітря повинна бути $20 \text{ }^\circ\text{C}$, а швидкість вітру повинна бути 1 м/с [7,8]. Параметри PTC менші на 10-15%, ніж STC, що відбиває вплив реальних умов експлуатації сонячних панелей.

Проте ні PTC, ні STC не відбивають всіх чинників, які впливають на зміну потужності панелей у реальних умовах. Потрібно враховувати й інші фактори, що впливають на продуктивність сонячної електростанції, наприклад, втрати у проводах, інверторі, контролері тощо. Також це може бути нормальна деградація сонячних панелей з часом, зниження потужності за рахунок пилу, бруду, надмірного нагрівання панелей або їх затінення, різниця потужності панелей у послідовних ланцюжках тощо. Вплив цих факторів може змінюватись в залежності від сезону, географічного положення, способу монтажу, азимуту та нахилу панелей. Так що в реальних умовах сонячна панель вироблятиме близько 75-85% від її пікової потужності (зазначеної на шильдику). Тобто сонячна панель потужністю 100 Вт, розташована під оптимальним кутом і орієнтована на південь, видаватиме влітку в середньому 75-85 Вт, залежно від методу установки. Звичайно, будуть дні, коли ви отримаєте повну пікову потужність від сонячної панелі або навіть більше від неї. Це потрібно враховувати під час проектування сонячної електростанції. Потужність сонячної панелі змінюється залежно від освітленості майже прямо пропорційно (рис. 1.14). При певному значенні освітленості панель може припинити вироблення. Наприклад, для кристалічних панелей це, приблизно, $150\text{-}200 \text{ Вт/м}^2$, а аморфних – близько 100 Вт/м^2 [8]. Також потужність сонячної панелі залежить від її температури і падає

при її підвищенні (рис. 1.15). Типовий температурний коефіцієнт для кристалічних панелей становить $-0,45\ \%/K$ (тобто за підвищення температури панелі за кожен градус її вироблення зменшується на $0,45\%$) [8].

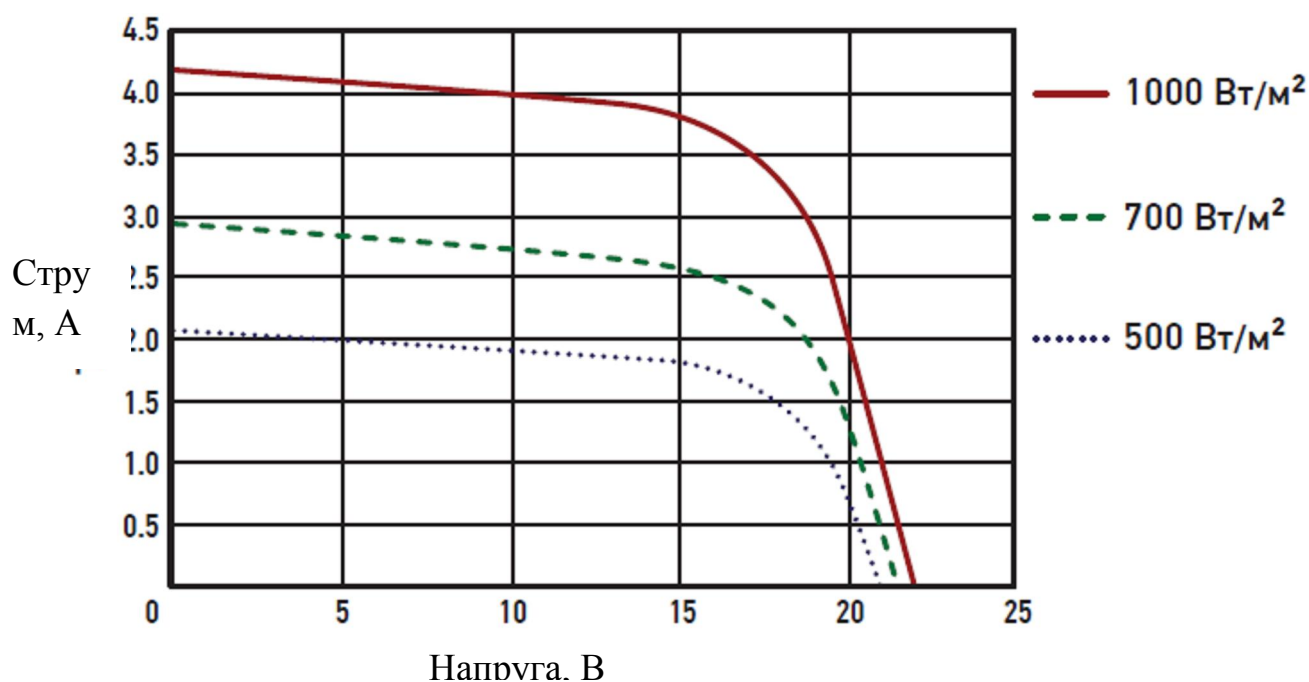


Рисунок 1.14. Вольт-амперна характеристика сонячної панелі в залежності від освітленості

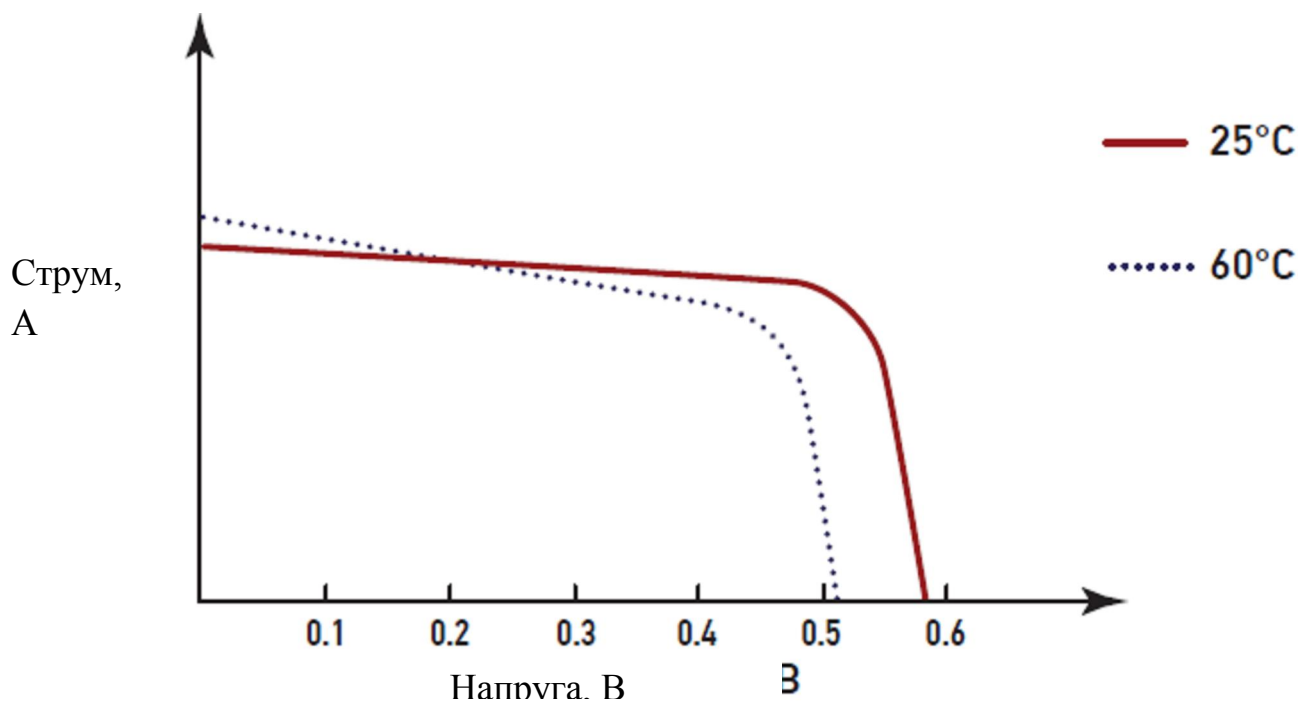


Рисунок 1.15. Вольт-амперна характеристика сонячної панелі в залежності від температури панелі

Сонячна панель під впливом світла виробляє як електроенергію, а й тепло. У звичайній сонячній панелі в точці максимальної потужності тільки 10-15% падаючої на неї сонячної енергії перетворюється на електрику, решта перетворюється на тепло [8]. Чинниками, що впливають на нагрівання сонячної панелі, є:

- Відображення від лицьової поверхні. Світло, відбите від лицьової поверхні сонячної панелі, не бере участі у виробництві електроенергії. Таке світло вважається джерелом втрат, які необхідно мінімізувати. Він також не нагріває панель. Тому максимальне нагрівання панелі розраховується як потужність падаючого сонячного випромінювання, помножена на коефіцієнт відображення. Для звичайної сонячної панелі зі скляною лицьовою поверхнею коефіцієнт відбиття становить близько 4%.

- Робоча точка та ККД панелі. Робоча точка та ефективність панелі визначають, яка частина світла, поглиненого панеллю, буде перетворена на електрику. Якщо сонячний елемент працює у режимі короткого замикання чи холостого ходу, він не виробляє електроенергії, і тому вся поглинена енергія перетворюється на тепло.

- Поглинання світла на панелі. Світло, яке поглинається в панелі не сонячним елементом, також братиме участь у її нагріванні. Кількість поглиненого та відбитого світла визначається кольором та матеріалом заднього шару панелі.

- Поглинання інфрачервоного світла. Світло з енергією менше енергії забороненої зони сонячного елемента не впливає на електричну потужність, але якщо він поглинеться в сонячному елементі або панелі, він сприятиме їх нагріванню. Інфрачервоне світло добре поглинається алюмінієм на задній поверхні сонячного елемента. В елементах, які не мають алюмінію на задній поверхні, інфрачервоне світло не поглинається і може пройти через панель наскрізь.

- Рівень заповнення панелі сонячними елементами. Сонячні елементи створюються спеціально для ефективного поглинання сонячного випромінювання. Вони будуть виробляти значну кількість тепла, зазвичай більше за інші частини панелі. Тому вищий рівень заповнення панелі сонячними елементами підвищує кількість тепла, виробленого на одиницю поверхні.

1.7 Термін служби сонячних панелей

Сонячні панелі були випробувані у польових умовах на багатьох установках. Практика показала, що термін служби сонячних панелей перевищує 20 років. Фотоелектричні станції, що працюють у Європі та США близько 25 років, показали зниження потужності панелей приблизно на 10%. Таким чином можна говорити про реальний термін служби сонячних монокристалічних панелей 30 і більше років. Полікристалічні панелі зазвичай працюють 20 і більше років. Панелі з аморфного кремнію (тонкоплівкові або гнучкі) мають термін служби від 7 (перше покоління тонкоплівкових технологій) до 20 (друге покоління тонкоплівкових технологій) років. Більш того, тонкоплівкові панелі зазвичай втрачають від 10% до 40% потужності у перші два роки експлуатації. Тому близько 90% ринку сонячних панелей нині становлять кристалічні кремнієві панелі [7,8]. Проблеми та погіршення параметрів сонячних панелей можуть бути спричинені такими причинами.

1) Якість сонячного елемента. Ефективність залежить від безлічі параметрів сонячного елемента: шунтового та послідовного опорів, шумових струмів, зворотного опору та інших параметрів. Багато залежить від якості виробництва сонячного елемента і матеріалів і обладнання, що застосовуються при його виготовленні. Відомі проблеми практично на кожному етапі виробництва елемента, що стосуються, зокрема, якості кремнію, що застосовуються, контактних паст і припою. Багато залежить від якості виробництва сонячного елемента і матеріалів і обладнання, що застосовуються

при його виготовленні. Відомі проблеми практично на кожному етапі виробництва елемента, що стосуються, зокрема, якості кремнію, що застосовуються, контактних паст і припою. Багато залежить від якості виробництва сонячного елемента і матеріалів і обладнання, що застосовуються при його виготовленні. Відомі проблеми практично на кожному етапі виробництва елемента, що стосуються, зокрема, якості кремнію, що застосовуються, контактних паст і припою.

2) Якість паяння сонячних елементів. При неякісному паянні можливий локальний перегрів контакту та його прогорання. Краще вибирати панелі, в яких елементи спаяні роботом – у них розкид якості паяння буде мінімальним. 3) Якість етиленвінілацетатної (EVA) плівки, яка розташована між елементами та склом. Старіння кристалічних сонячних панелей, переважно, пов'язані з зносом і помутнінням цієї плівки. Неякісна плівка може почати каламутніти і руйнуватися вже за кілька років. Хороша плівка служитиме 30 і більше років, при цьому її помутніння (отже, втрата потужності панеллю) не перевищуватиме 25-30%. 4) Якість герметизації панелі та якість задньої захисної плівки. Задня плівка захищає панель від попадання вологи. У будь-якій панелі відбувається дифузія вологи через плівку. Якщо якість плівки хороша, то вся волога, яка потрапляє всередину панелі, при нагріванні на сонці виводиться назовні. Якщо плівка неякісна, то вологи потрапляє більше, ніж може вийти при нагріванні, і залишкова волога накопичується всередині панелі, руйнує контакти та контактну сітку елементів. Це призводить до передчасного виходу з ладу панелі. 5) Якість алюмінієвої рами. Неякісне анодування може призводити до окислення рами та її корозії. На щастя, цей дефект є більш візуальним і навряд чи призведе до передчасного виходу панелі з ладу. Хоча в деяких випадках (наприклад, при установці панелей на щоглах, де можливі сильні вітрові навантаження або там, де агресивне середовище) прискорена корозія металу може призвести до руйнування. Інші компоненти системи мають різні терміни служби: акумулятори від 2 до 15 років, а силова електроніка – від 5 до 20 років.

1.8 Концентраторні сонячні фотоелектричні модулі

На даний час велику популярність приймають фотоелектротеплові (PV-T) колектори сонячної енергії. В даному підрозділі наведені приклади розробок фотоелектротеплових колекторів.

1. Винахід [11] відноситься до галузі сонячної енергетики. Фотоелектричний модуль (1) (рис. 1.11) містить бічні стінки (2), фронтальну панель (3) з лінзами Френеля (4) на її внутрішній стороні, світлопрозору тильну панель (5), сонячні фотоелементи (6) з байпасними діодами, планки (11), виконані з діелектричного матеріалу з двостороннім металевим покриттям (12), (13), та металеві плати (9) з регулярно розташованими поглибленнями (8) для сонячних фотоелементів (6) та паралельними канавками (10) для планок (11). Металеві плати (9) прикріплені до світлопрозорої тильної панелі (5), сонячні фотоелементи (6) встановлені в центрах поглиблень (8) металевих плат (9), службовців нижнім контактом сонячних фотоелементів (6) та нижніх металевих покриттів (12) планок (11). Винахід забезпечує збільшений термін експлуатації за збереження ефективності перетворення сонячного випромінювання.

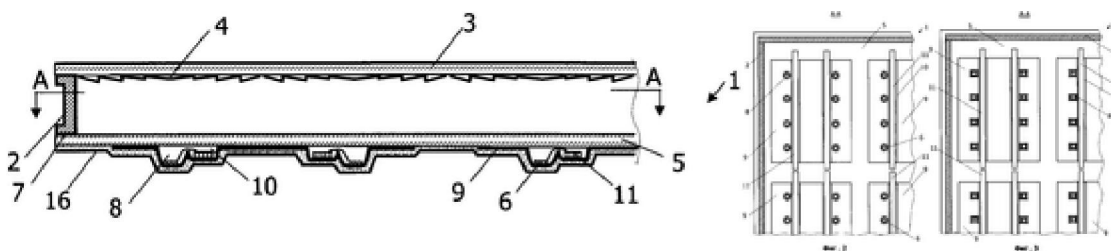


Рисунок 1.16. Концентраторний сонячний фотоелектричний модуль

Завданням винаходу є розробка фотоелектричного модуля, який мав збільшений термін експлуатації при збереженні ефективності перетворення сонячного випромінювання.

Поставлене завдання вирішується тим, що фотоелектричний модуль містить бічні стінки, фронтальну панель з лінзами Френеля на її внутрішній

стороні, світлопрозору тильну панель, сонячні фотоелементи з байпасними діодами, планки, виконані з діелектричного матеріалу з двостороннім металевим покриттям, і металеві плати з регулярно розташованими глибинами. для сонячних фотоелементів та канавками для планок. Металеві плати прикріплені до світлопрозорої тильної панелі, сонячні фотоелементи встановлені в центрах заглиблень у металевих платах, що є нижнім контактом сонячних фотоелементів і нижніх металевих покриттів планок. Верхні контакти сонячних фотоелементів та байпасних діодів з'єднані з верхнім металевим покриттям планок. Відстань між центрами сусідніх заглиблень у металевих платах дорівнює відстані між центрами сусідніх лінз Френеля фронтальної панелі. Металеві плати встановлені паралельно один одному у двох взаємно перпендикулярних напрямках так, що відстані між центрами крайніх поглиблень сусідніх металевих плат у двох взаємно перпендикулярних напрямках дорівнюють відстані між центрами сусідніх лінз Френеля. Фронтальна панель і тильна панель прикріплені до бокових стінок так, що центр фотоприймального майданчика кожного сонячного фотоелемента лежить на одній осі з відповідним центром лінзи Френеля і збігається з фокусом цієї лінзи. що відстані між центрами крайніх поглиблень сусідніх металевих плат у двох взаємно перпендикулярних напрямках дорівнюють відстані між центрами сусідніх лінз Френеля. Фронтальна панель і тильна панель прикріплені до бокових стінок так, що центр фотоприймального майданчика кожного сонячного фотоелемента лежить на одній осі з відповідним центром лінзи Френеля і збігається з фокусом цієї лінзи. що відстані між центрами крайніх поглиблень сусідніх металевих плат у двох взаємно перпендикулярних напрямках дорівнюють відстані між центрами сусідніх лінз Френеля. Фронтальна панель і тильна панель прикріплені до бокових стінок так, що центр фотоприймального майданчика кожного сонячного фотоелемента лежить на одній осі з відповідним центром лінзи Френеля і збігається з фокусом цієї лінзи.

Новими в цьому фотоелектричному модулі є металеві плати з регулярно розташованими поглибленнями для сонячних фотоелементів і канавками для планок, що служать нижнім контактом сонячних фотоелементів, при цьому відстані між центрами сусідніх заглиблень у металевих платах рівні відстані між центрами сусідніх лінз Френеля паралельно один одному у двох взаємно перпендикулярних напрямках так, що відстані між центрами крайніх поглиблень сусідніх металевих плат у двох взаємно перпендикулярних напрямках дорівнюють відстані між центрами сусідніх лінз Френеля. Монтаж сонячних елементів у поглибленнях на металевих платах дозволяє збільшити термін служби концентраторного модуля, так як у цьому пристрої виключається вигорання елементів конструкції при випадковій розорієнтації фотоелектричного модуля. Використання металевих плат з регулярно розташованими улубленнями для монтажу сонячних елементів і встановлення металевих плат на тильній панелі паралельно один одному так, що відстані між центрами крайніх поглиблень сусідніх металевих плат у двох взаємно перпендикулярних напрямках рівні відстані між центрами сусідніх лінз Френеля, дозволяє підвищити точність елементів, що збільшує ефективність перетворення сонячного випромінювання та спростити складання конструкції фотоелектричного модуля. При складанні конструкції необхідно лише встановити відповідним чином фронтальну та тильну панелі, прикріпивши їх до торців бічних стінок. Таким чином,

У цьому фотоелектричному модулі фронтальна та тильна панелі можуть бути виконані із силікатного скла, а металеві плати можуть бути виконані з листової сталі.

Діаметри дна заглиблень для сонячних фотоелементів у металевих платах можуть перевищувати найбільший розмір сонячного фотоелементу не більше ніж на 0,15 мм, що забезпечує без додаткового центрування при монтажі точність позиціонування сонячних фотоелементів, достатню для максимальної ефективності перетворення сонячного випромінювання.

Бічні стінки поглиблень для сонячних фотоелементів можуть мати поліровану внутрішню поверхню, форма бічної поверхні може виглядати перекинутого конуса або перевернутої усіченої піраміди. Така форма бічної поверхні поглиблень служить для додаткового фокусування сонячного випромінювання на фотоприймальні майданчики сонячних фотоелементів, підвищуючи ефективність перетворення випромінювання та покращує розорієнтаційні характеристики концентраторних модулів.

На металеві плати можуть бути нанесені покриття Zn, або Sn, або Ni, що служать для збільшення корозійної стійкості металевих плат і поліпшення умов паяння сонячних фотоелементів.

На дно та бічні стінки поглиблень для сонячних фотоелементів може бути нанесене покриття з Au, що збільшує коефіцієнт відбиття світла від бічних поверхонь при додатковому фокусуванні та покращує умови паяння сонячних фотоелементів.

Планки в поперечному перерізі можуть мати форму рівнобедреної трапеції, меншою основою зверненою до металевої плати. При цьому металеве покриття на широкій верхній основі захищає торці планки від попадання сфокусованого сонячного випромінювання і перешкоджає їх вигоранню при випадковому розфокусуванні модуля.

Сонячні фотоелементи можуть бути прикріплені до дна заглиблень у металевих платах за допомогою паяння.

Планки можуть бути прикріплені до металевих плат за допомогою паяння.

Сусідні металеві плати можуть бути послідовно з'єднані електричними провідниками, а перша і остання плати підключені до висновків фотоелектричного модуля. Металеві плати можуть бути прикріплені до фронтальної або тильної сторони світлопрозорої тильної панелі. Металеві плати можуть бути прикріплені до тильного світлопрозорого панелі силіконом або адгезивом.

Фотоелектричний модуль 1 працює наступним чином: фотоелектричний модуль 1 встановлюють систему стеження за сонцем і орієнтують у просторі так, щоб площа фронтальної панелі 3 була перпендикулярна світловому потоку сонячного випромінювання. При цьому лінзи 4 Френеля фронтальної панелі 3 фокусують сонячне випромінювання на фотоприймальні майданчики фотоелементів 6, встановлених на дні поглиблень 8 в металевих платах 9, які закріплені на світлопрозорій тильній панелі 5. Бічні стінки 15 поглиблень 8 в металевих платах 9 сонячних елементів, здійснюючи додатковий напрямок світла на фотоприймальні майданчики сонячних елементів 6. При підключенні до зовнішніх контактів фотоелектричного модуля 1 електричного навантаження, в ланцюзі навантаження протікатиме електричний струм, генерується фотоелементами 6 під впливом сонячного випромінювання. Коефіцієнт корисної дії фотоелектричного модуля досягає 32-34%. Частина сонячної енергії, не перетворена на електричну, перетворюється на тепло, яке передається від фотоелементів 6 до металевих плат 9 і світлопрозорої тильної панелі 5 і розсіюється в навколишньому просторі. Для поліпшення розсіювання тепла на зовнішню поверхню металевих плат 9 нанесено тепловипромінювальне покриття 16. При інтенсивності сонячного потоку, що падає, дорівнює 1000 Вт/м^2 , величина перегріву фотоелементів 6 щодо температури навколишнього повітря не перевищує $23\text{-}25^\circ\text{C}$. При випадковій розорієнтації фотоелектричного модуля сфокусоване сонячне випромінювання потрапляє на поверхню металевих плат 9 і відбивається або поглинається ними,

У цій конструкції фотоелектричного модуля виключається можливість вигорання елементів конструкції при зміщенні сфокусованого сонячного випромінювання щодо сонячних елементів і відсутнє забруднення фотоприймальних майданчиків при тривалій експлуатації приладу. Напайка кількох сонячних елементів на одну металеву плату збільшує сумарну питому площу плоского тепловідведення та знижує нагрівання сонячних елементів. За рахунок цього ця конструкція фотоелектричного модуля має збільшений термін

експлуатації при збереженні ефективності перетворення сонячного випромінювання.

PV-T сонячні панелі Triple Solar.

На даний час голландська компанія Triple Solar представила нову серію сонячних тепло-електричних модулів (PV-T). Пристрої цього типу, які також називаються гібридними, поєднують функції фотопанелей та сонячних колекторів. Тобто вони не тільки генерують електрику, а й збирають тепло, яке зазвичай за допомогою теплових насосів передається до системи опалення чи гарячого водопостачання будинку.

Пристрій розміщується на дахах будівель, паливна система яких оснащена рідинними тепловими насосами. Дане рішення дозволяє постачати будинок не тільки електрикою, але також теплом для опалення та гарячого водопостачання 24 години на добу. При виробленні надмірної енергії вона віддаватиметься у загальну мережу за встановленими тарифами.

Виробник повідомляє, що покупка сонячної панелі Triple Solar разом з теплообмінником коштуватиме 1000 євро (у вартість враховано встановлення пристрою). Зазначається, що конструкція площею 16 м² вже протягом року забезпечить власнику значну економію коштів на опалення та освітлення – близько 2 тис. євро. До того ж таке сучасне рішення є відмінною альтернативою менш продуктивним водяним та повітряним тепловим насосам, а також набагато дорожчим геотермальним системам.

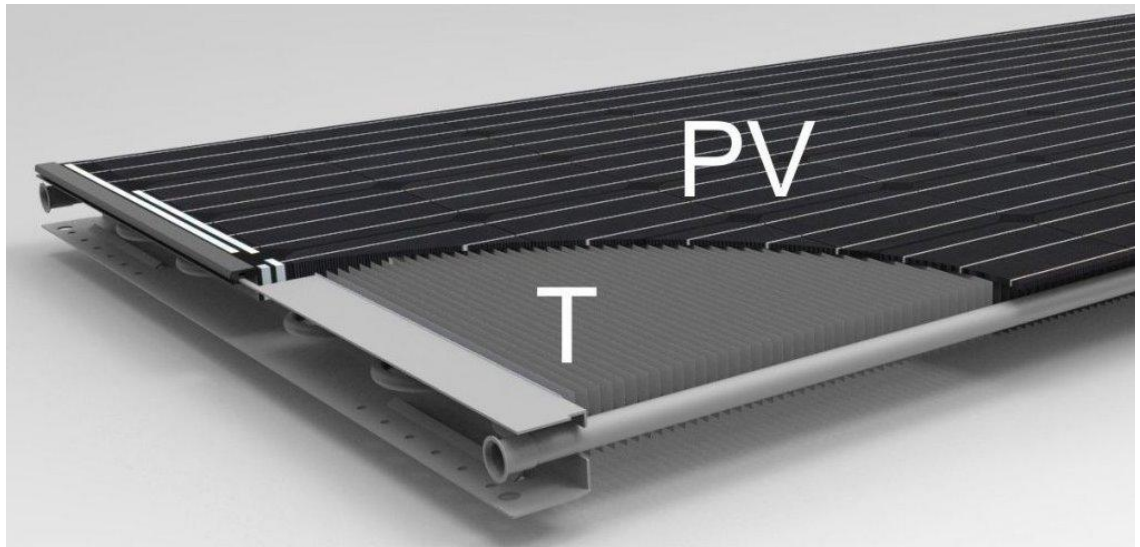


Рисунок 1. Фото-теплові сонячні модулі Triple Solar

Такі тепло-фотоелектричні панелі суттєво відрізняються від стандартних фотомодулів. Вони не мають ізоляції на зворотному боці, що дозволяє їм витягувати тепло з навколишнього середовища навіть у холодну пору року та у темну пору доби. Можуть використовуватися для роботи як у приватних, так і в комунальних домогосподарствах спільно з насосами, що працюють на розчинах з низькою температурою теплоносія.

За розрахунками виробника, для безперебійної роботи котла потужністю 6 кВт буде потрібна конструкція, що складається з кількох тепло-фотоелектричних панелей площею не менше 16 кв. м. Вони об'єднуються з опалювальною системою спеціальними гнучкими роз'ємами (також надаються виробником) та виставляються на даху аналогічно стандартним фотомодулям – на південній стороні з кутом нахилу 30-45 градусів.

Розміри панелей аналогічні параметрам монокристалічних фотоелектричних модулів виробництва компанії Bisol (Словенія) та представлені у двох різновидах: потужністю 380 Вт та 315 Вт.

Гібридний модуль Triple Solar M3 доступний у двох версіях. Перша розміром 2131×1055×65 мм має вихідну потужність 450 Вт, друга при габаритах 1791×1055×65 мм здатна видавати до 375 Вт. У панелях використовують половинчасті фотоелементи від словенської компанії Bisol. Triple Solar

стверджує, що вони на 10% більші і на 15% продуктивніші, ніж ті, що застосовувалися в її моделях раніше. Крім того, фірма розробила нові монтажні рейки з встановленими кріпленнями, яка дозволяє швидше кріпити фотоелектричну систему.



Рисунок 1.17. Конструкція гібридного модуля Triple Solar M3, встановлена на даху

Кожні 2,7 м² площі установки, складеної з модулів M3, генерують достатньо теплової енергії для забезпечення 1 кВт вихідної потужності теплового насоса. Відповідно, для влаштування на 6 кВт потрібно не менше 7 панелей, що займають сумарно близько 16 м². Виробник передбачає можливість використання розробки разом із тепловими насосами потужністю до 50 кВт.

У той час як Triple Solar пропонує нерозбірні фотоелектричні теплові сонячні колектори, інша голландська компанія UseAllEnergy має намір випускати теплообмінники, що дозволяють перетворювати на гібридні модулі будь-які сонячні батареї, в тому числі вже експлуатовані.

2 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ФОТОЕЛЕКТРОТЕПЛОВОГО КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Актуальність розвитку фотоелектротеплових колекторів сонячної енергії

Фотоелектричні теплові модулі (ФЕМ) є перетворювачами сонячної енергії. Область їх застосування досить широка і охоплює практично всі галузі промисловості, починаючи від сільського господарства та закінчуючи ракетно-космічною технікою. Використання таких джерел має такі переваги: енергія, що використовується, постійно відновлюється і ресурси її не обмежені, виявляється незначний вплив на навколишнє середовище, внаслідок відсутності шкідливих викидів і відходів, характеризуються доступністю для населення. Однак, відновлювані джерела мають значні недоліки, які не дозволяють використовувати їх для генерації високих потужностей. Головними недоліками цих джерел є низький ККД та залежність від географічних та кліматичних умов, а також рівня інсоляції (для фотоелектричних модулів). Нині у багатьох країнах світу розвиваються технології, які дозволяють підвищити ККД цих джерел та збільшити їхню потужність. Дослідження йдуть у напрямку вдосконалення конструкції джерел, а також матеріалів, що входять до їхнього складу. Ці вимоги обумовлені необхідністю отримання більшої потужності від фотоелектричного теплового модуля за меншої вартості. У ході дослідження було проведено оцінку параметрів, що впливають на ефективність сонячного колектора, проаналізовано вплив теплоізоляції різних видів на ефективність сонячного колектора, а також було виконано моделювання теплового потоку в стінці корпусу абсорбенту.

Фотоелектричний модуль дозволяє виробити тільки 14 - 19% від всієї сонячної енергії, що приходить на нього. Решта енергії розсіюється в навколишній модуль простір у вигляді теплоти [12]. Для підвищення ефективності використання енергії, що приходить на модуль, групують

фотоелектричну панель (частіше кілька панелей) і сонячний колектор. Таким чином, виходить установка, яка називається ФЕТМ. ФЕТМ здійснює перетворення енергії, яка падає на поверхню модуля за допомогою сонячних променів, в електричну та теплову енергії.

У роботі [12] досліджено теплові характеристики теплофотоелектричного модуля з параболоциліндричним концентратором сонячного випромінювання (СІ). Можливість отримання як фотоелектричної енергії, так і теплової енергії дозволяє підняти загальний ККД перетворення сонячної енергії та знизити собівартість енергії, що виробляється. Теоретичне моделювання ґрунтувалося на балансі потоків (сонячної), що надходить, розсіюється і утилізується енергії, а також на числах (критеріях) подоби (Нуссельта, Прандтля, Рейнольдса). Експериментальні характеристики, вивчені при натурному сонячному випромінюванні, цілком узгоджуються з параметрами модуля, розрахованими за балансом енергопотоків, і з точністю до 10% з розрахунками за числами подібності. Розроблений та виготовлений сонячний модуль показав в експерименті максимальну теплову потужність 205 Вт при температурі 40 °С та коефіцієнт корисного використання (КПІ) СІ 60 %; при температурі нагрівання води до 60 °С модуль забезпечує максимальну потужність 167 Вт з КПІ 47 %

2.2 Проведення теплового аналізу фотоелектричного теплового модуля, що моделюється в програмному комплексі ANSYS

У загальному вигляді схема відбору тепла від сонячного колектора наведена на рис. 2.1 [13].

Як видно із рис. 2.1, теплоносій із сонячного колектора надходить у бойлер, де відбувається нагрівання води. Теплоносій сонячного колектора укладено між ФЕМ та корпусом сонячної панелі. Чим вище температура теплоносія, що виходить із сонячного колектора, тим вище температура води, що нагрівається, а, отже, і його ефективність [14]. Розглянемо параметри, що

впливають ефективність сонячного колектора. В даний час виділено три основні параметри:

1) оптичні втрати. Вони обумовлені віддзеркаленням від скла, яке покриває сонячний колектор. Їхня величина може бути прийнята постійною, оскільки вона не залежить ні від температури самого сонячного колектора, ні від умов навколишнього середовища;

2) конвекційні втрати. Під дією сонячних променів, які абсорбуються на поверхню колектора, нагріваючи її, відбувається і відведення їх у навколишнє середовище. Ці втрати також називаються лінійними (лінеарні);

3) втрати випромінювання. Так як температура поверхні колектора завжди вища, ніж температура навколишнього середовища, то з його поверхні відбувається постійне відведення теплової енергії за допомогою випромінювання. Цей вид тепловтрат залежить від різниці температур нагрітого колектора та навколишнього середовища.

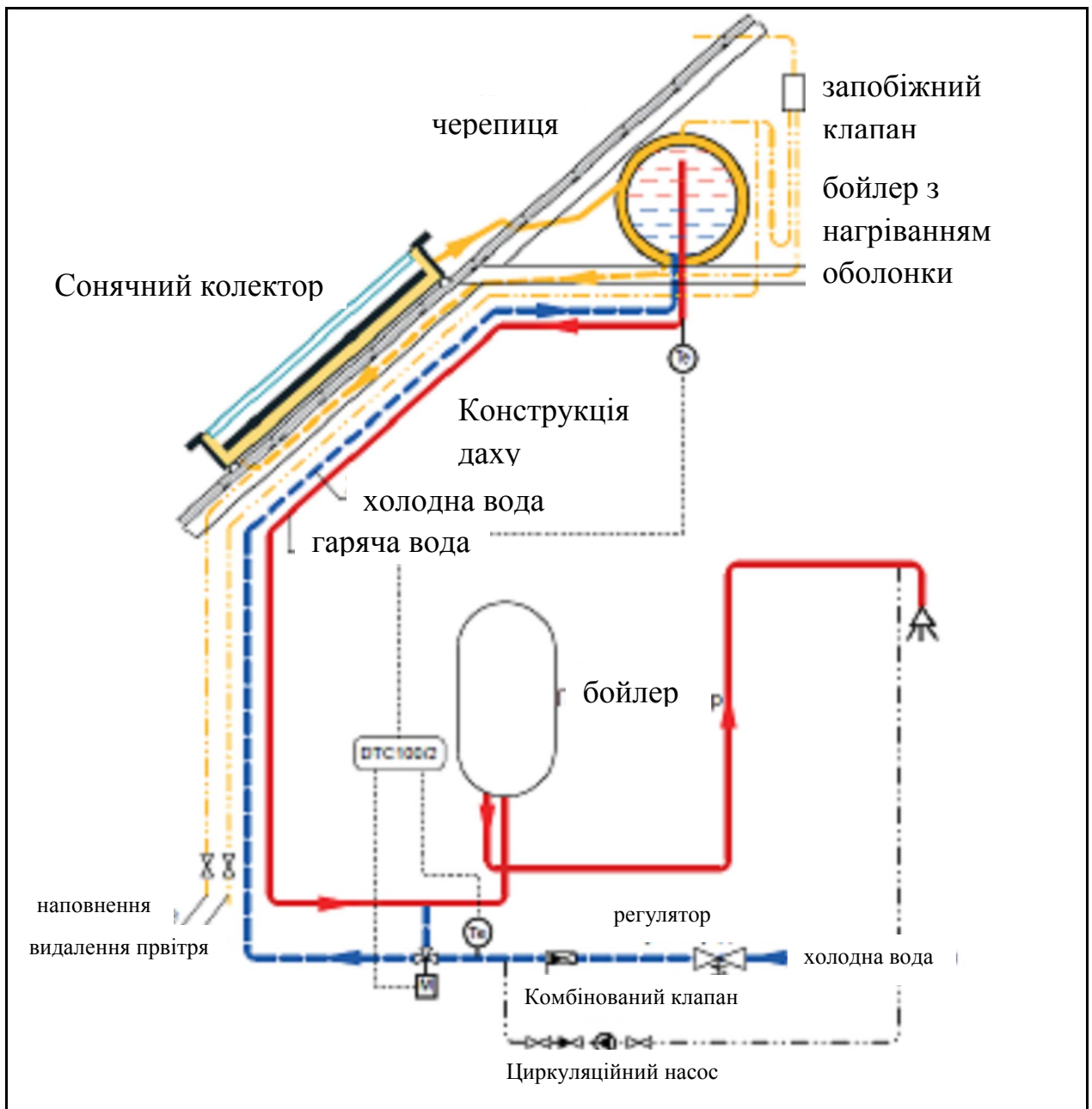


Рисунок 2.1. Схема нагрівання теплоносія із застосуванням абсорбера

На рис. 2.2 та рис. 2.3 наведено графіки описаних вище теплових втрат ефективності різних типів сонячних колекторів.

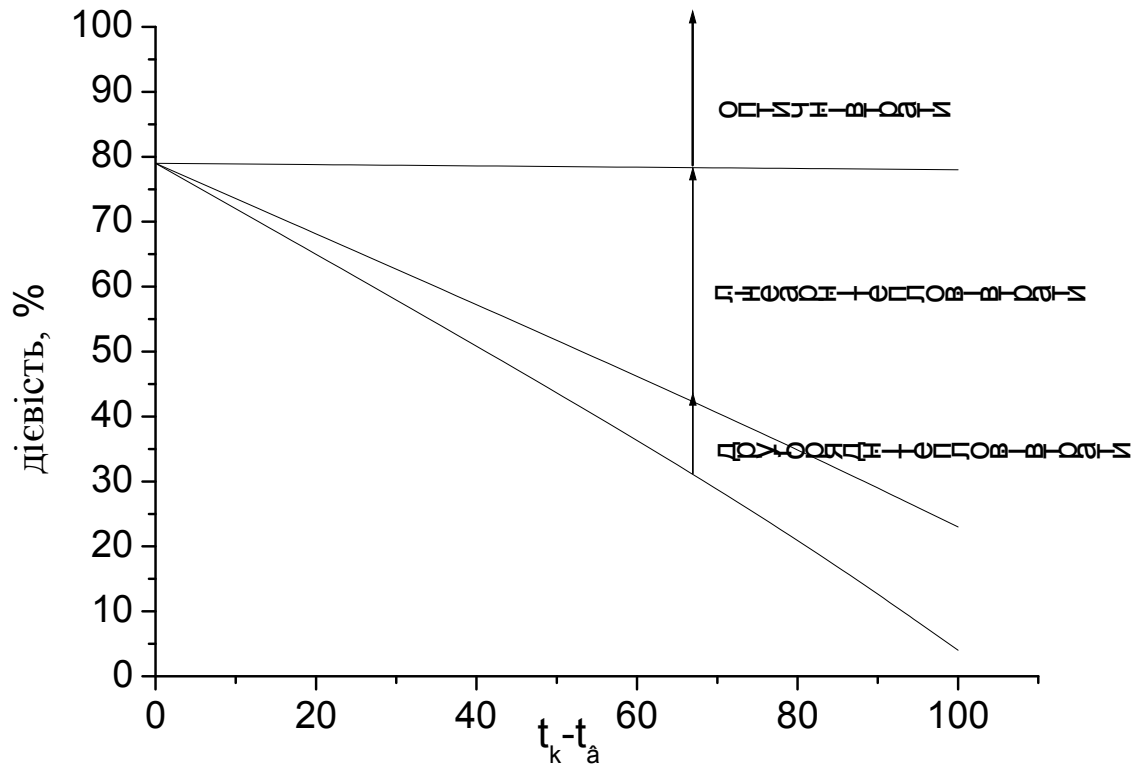


Рисунок 2.2. Графіки теплових втрат сонячного колектора від різниці температур колектора та навколишнього середовища

На рис. 2.3 величина X являє собою наступне співвідношення:

$$X = \frac{(T_{m1} - T_e)}{E},$$

де T_{m1} – температура теплоносія на вході у сонячний колектор;

T_e – температура оточуючого повітря,

E – інтенсивність сонячного випромінювання.

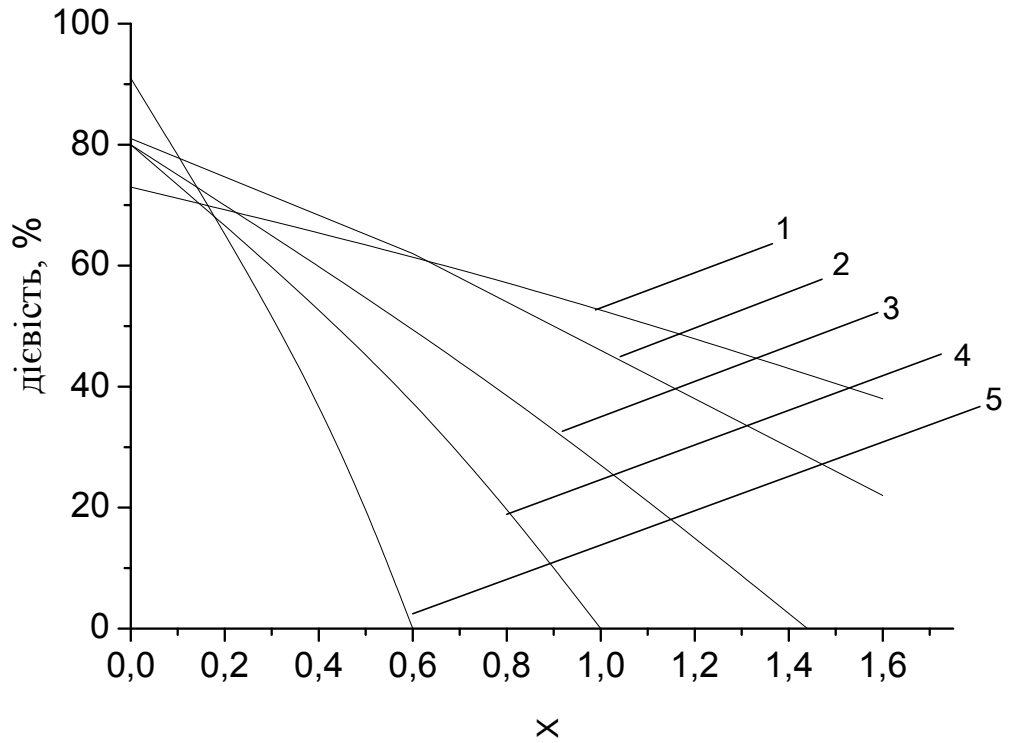


Рисунок 2.3. Графіки ефективності різних типів сонячних колекторів
 1 – плоский колектор з вакуумними трубками; 2 – вакуумний плоский колектор; 3 – неселективний плоский колектор; 4 – плоский колектор зі склом; 5 – плоский колектор без скла.

Як видно з наведених вище графіків, найбільшою ефективністю є сонячний колектор з вакуумною трубкою, конструкція якої дозволяє знизити теплові втрати за рахунок поганої теплопровідності вакууму [15].

Загалом теплова потужність сонячного колектора може бути описана наступною залежністю:

$$Q_k = A \cdot [I_k \cdot \eta_o' - K_k' \cdot (T_{m1} - T_e)], \quad (2.14)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловтрат над поверхнею абсорбера;
 α_2 – Коефіцієнт теплових втрат через теплоізоляцію під абсорбером.

A – площа поверхні;

I_k – площа потоку сонячної радіації, що надходить поверхню колектора;

η_0' – ефективний оптичний ККД сонячного колектора;

K_k' – загальний коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора;

T_{m1} – температура теплоносія на вході у сонячний колектор;

T_e – Температура оточуючого повітря.

Загальний коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора може бути виражений, як:

$$K_k' = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot (T_{m1} - T_e), \quad (2.15)$$

Тепловий потік, який проходить через плоску стінку корпусу абсорбера дорівнюватиме:

$$q = \lambda \cdot \delta \cdot (T_{m1} - T_e), \quad (2.16)$$

де λ – Коефіцієнт теплопровідності корпусу абсорбера;

δ – товщина стінки корпусу абсорбера.

Якщо стінка є багатошаровою, то тепловий потік дорівнюватиме:

$$q = \frac{(T_{m1} - T_e)}{\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\delta_i}}, \quad (2.17)$$

Визначимо тепловий потік, який передається в довкілля через корпус абсорбера (плоську стінку) для трьох випадків:

- 1) Корпус абсорбера виконаний із полімеру – варіант №1;
- 2) Корпус абсорбера виконаний із сталі – варіант №2;
- 3) Корпус абсорбера виконаний з полімеру та теплоізоляції з пінополіуретану – варіант №3;

4) Корпус абсорбера виконаний із сталі та теплоізоляції з пінополіуретану – варіант №4;

5) Корпус абсорбера виконаний з полімеру та теплоізоляції зі сферопластиків – варіант №5;

6) Корпус абсорбера виконаний із сталі та теплоізоляції зі сферопластиків – варіант №6.

Як відомо, теплоізоляція перешкоджає тепловому потоку, через низький коефіцієнт теплопровідності. Її використовують із збереження теплової енергії тіла. В даний час розроблено багато різних видів теплоізоляції [16]. Найбільш ефективною нині є теплоізоляція на основі сферопластиків. Сферопластика – це різновид полімерної композиції, в якій як її наповнювач застосовуються скляні та/або полімерні мікросфери, що мають діаметр 0,5 – 200 мкм. До складу сферопластиків можуть входити кварц, оксид цинку, діоксид титану, вода, полімери із вмістом акрилу [18].

Основними перевагами сферопластиків є:

- низька теплопровідність у порівнянні з аналогами;
- високі характеристики міцності;
- низька щільність, що зумовлює низьку вагу оброблених конструкцій;
- експлуатація у широкому діапазоні робочих температур;
- Збереження високих механічних властивостей конструкцій [19].

У таблиці 2.1 наведено основні розрахункові параметри, прийняті на дослідження теплового потоку від корпусу абсорбера. Як видно з таблиці 2.5, основними розрахунковими величинами є товщина стінки матеріалу та коефіцієнт його теплопровідності, що входять до формули (2.17).

Таблиця 2.1. Розрахункові дані

Значення	Варіант	Варіант	Варіант	Варіант	Варіант
	1	2	3	4	5
Тепропровідність сталі, Вт/м·К	-	50	-	50	-
Тепропровідність полімеру, Вт/м·К	0,168	-	0,168	-	0,168
Тепропровідність пінополіуретану, Вт/м·К	-	-	0,028	0,028	-
Тепропровідність сферопластика, Вт/м·К	-	-	-	-	0,001
Товщина стінки полімеру (ПВХ), мм	6,0	-	6,0	-	6,0
Товщина стінки пінополіуретану (ПВХ), мм	-	-	1,0	1,0	-
Товщина стінки сферопластику (ПВХ), мм	-	-	-	-	1,0
Температура теплоносія в абсорбері, °С	+55	+55	+55	+55	+55
Температура повітря, °С	+20	+20	+20	+20	+20

Для варіанту №3:

$$q = \left(\frac{0,168}{6 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,028}{1 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot (328 - 293) = 490 \text{ Вт/м}^2$$

Для варіанту №5:

$$q = \left(\frac{0,168}{6 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,001}{1 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot (328 - 293) = 33,79 \text{ Вт/м}^2$$

У таблиці 2.6 наведено розрахунок теплового потоку для всіх 5 варіантів, вихідні дані для яких представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.2. Значення теплового потоку через стінку абсорбера корпусу

Значення	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Тепловий потік, Вт/м ²	980	291666	490	977	33,79

Як показують результати розрахунків, найменше значення теплового потоку, що віддається в довкілля через корпус абсорбера, в якому знаходиться теплоносій, властиво варіанту №5, в якому корпус виконаний з полівінілхлориду, а стінки його покриті теплоізоляцією на основі сферопластику (наприклад, покриття Thermal Coat). На рис. 2.4 наведено залежність теплового потоку від температури навколишнього середовища для 4 варіантів. Варіант №2 не показаний, як свідомо непридатний [20].

У таблиці 2.3 представлено зміну теплового потоку в залежності від температури навколишнього середовища для зазначених вище 5 варіантів.

Таблиця 2.3. Залежності теплового потоку від температури навколишнього середовища для зазначених вище 5 варіантів.

Значення	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Тепловий потік, Вт/м ² при температурі навколишнього середовища, С					
+15	1120	333333	560	1116	38,65
+10	1260	375000	630	1256	43,44
+5	1400	416666	700	1395	48,27
0	1540	458333	770	1535	54,99

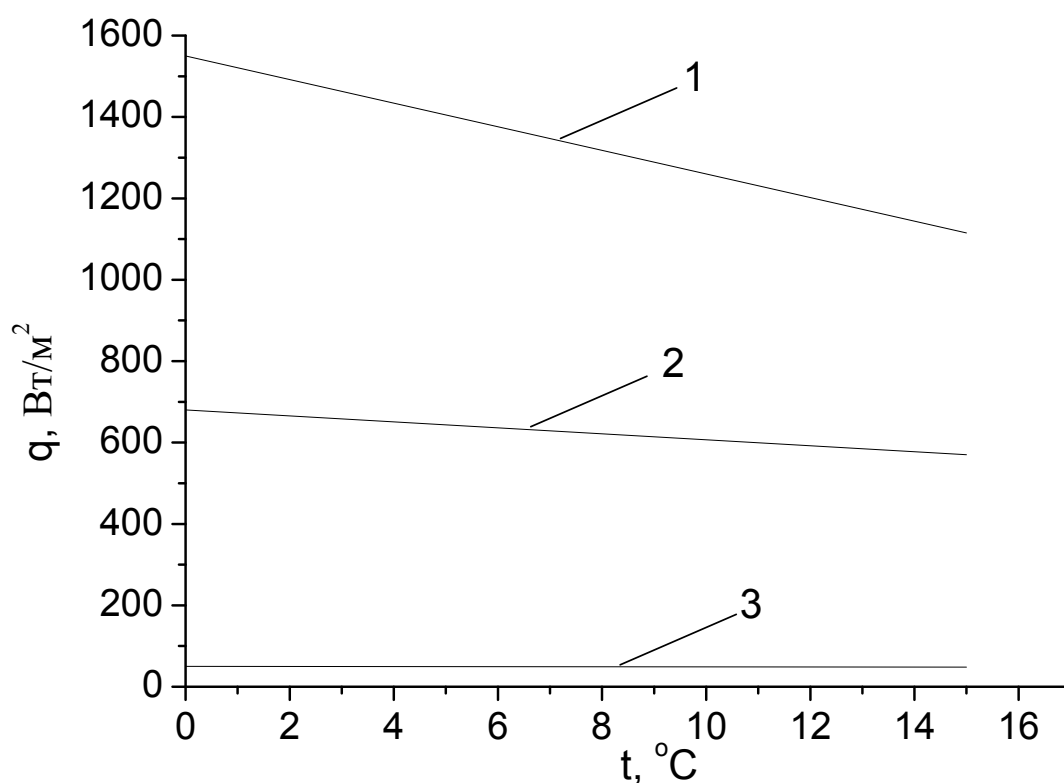


Рисунок 2.4. Зміна теплового потоку залежно від температури навколишнього середовища

У програмному комплексі ANSYS Fluent було змодельовано поширення теплового потоку в стінці корпусу абсорбера з використанням корпусу з ПВХ, а також із застосуванням теплоізоляції з пінополіуретану, нанесеної на корпус із ПВХ та із застосуванням теплоізоляції на основі сферопластиків, також нанесену на корпус із ПВХ. Результати моделювання наведено на рис. 2.16 [21].

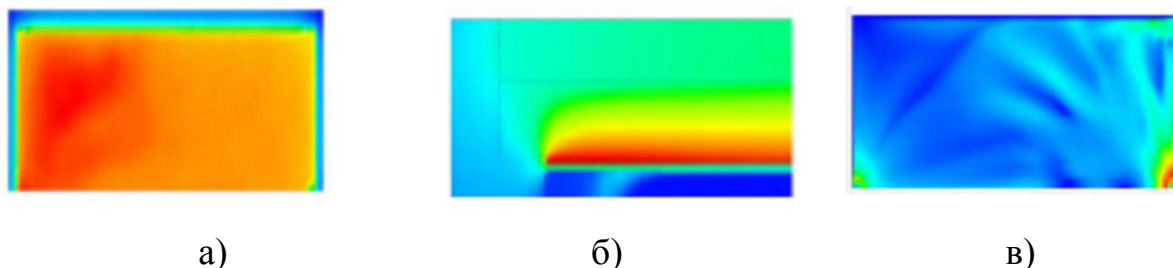


Рисунок 5 – Розподіл теплового потоку стінці та поверхні корпусу абсорбера.

а) варіант №1; б) варіант №3; в) варіант №5.

Відповідно до проведеного дослідження, можна зробити висновок, що в даний час фотоелектричні модулі, призначені для виробництва електричної та теплової енергії, дуже популярні у всьому світі. Однак, великим недоліком фотоелектричних модулів є їх низький ККД і великі втрати тепла при передачі теплоносія і далі контуру гарячого водопостачання [23].

Як показують проведені дослідження, для зниження теплових втрат через корпус абсорбера рекомендується виконувати його із застосуванням теплоізоляції, як доцільне використання нового виду – на основі сферопластиків.

Незважаючи на великі відмінності в теплопровідності сталі та полівінілхлориду, тепловий потік практично дорівнює один одному при нанесенні на ці матеріали сферопластику завтовшки 1,0 мм.

Отже, при неможливості застосування сталі для корпусу абсорбера через її високу теплопровідність, вона стає практично ідентичною ПВХ за умови застосування теплоізоляції зі сферопластиків. Таким чином, сферопластику можна рекомендувати для застосування як теплоізоляцію фотоелектричних модулів[24].

3 АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОВИХ СИСТЕМ

3.1 Системи накопичення енергії фотоелектричними тепловими модулями

Розглядається система, яка має різні конфігурації, в яких плинним середовищем є повітря/вода або поперечний переріз модуля. Скління має шар скла, який захищає нижчий шар від пилу та зовнішніх умов, проте це зменшує випромінювання, що досягає фотоелектричного шару, і, отже, знижує електричну потужність, але при цьому виходить більш висока теплова потужність. Неглазуровані конфігурації не мають скляного шару і розглядаються, коли потрібна більш висока електрична потужність та нижча теплова потужність. Різні типи поперечних перерізів модуля впливають на вихідний відгук і ефективність системи. Деякі конфігурації показані нижче

Стандартні умови випробувань для сонячного елемента та сонячних колекторів вже визначені Американським товариством інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря. З того часу було запропоновано безліч методів дослідження для моделювання підрозділу; однак стандартизований метод ще не був узагальнений через його незнайому концепцію. Немає стандартного методу тестування для тестування як цілого модуля.

Оскільки фотоелектричні елементи мають електричну та теплову потужність, необхідно враховувати обидва типи накопичувачів.

Електричні накопичувачі.

Розглядається дизайн для дрібномасштабного або побутового плану, тому розглядається літій-іонний акумулятор/суперконденсатор, що має високу питому енергію та ефективність. Нікель-металогідрид також може бути ретельно перевірений на предмет зберігання, що є звичайним для фотоелектричних сховищ, проте при підвищенні температури навколишнього середовища виникають проблеми з перегріванням.

Теплові накопичувачі.

Різні типи термоакумулявання.

Тепло є найпоширенішою формою акумулявання тепла, проте його низька щільність енергії компенсується його розміром. Менш розвинений термохімічний сорбційний накопичувач має дуже високу щільність енергії та ємність зберігання. Прихована та сорбційна технологія використовує менший об'єм для накопичення тепла та має більш високу щільність енергії, тому енергетичні дослідження мають проводитись у цьому напрямку. Однак необхідні матеріали коштують дорого, але прогнозується, що оскільки ціни на викопне паливо зростають через брак, ця система стане життєздатною заміною і, отже, окупить її первісну вартість у майбутньому.

Теплова та електрична ефективність та коефіцієнти теплопередачі з системами зберігання потім можуть бути проаналізовані та детально вивчені відповідно до розглянутих параметрів, щоб виявити відхилення залежно від зміни сонячної радіації, температури, ємності та часу зберігання з точки зору експериментальних та імітаційних моделей. Це може бути використане для визначення ефективних змінних, які можна регулювати задля досягнення оптимізованої моделі системи.

Система акумулявання тепла була ключовою темою протягом останніх двох десятиліть, оскільки вона забезпечує надійну відповідність при затримці пропозиції чи попиту, а безперервне постачання може бути досягнуто за наявності теплового захисту та інерції.

Літій-іонний акумулятор є дуже ефективною системою з точки зору вартості та ефективності, оскільки він дешевий і має високу щільність енергії. Точне моделювання поведінки батареї утруднене через її внутрішні реакції. Однак він був спрощений до еквівалентних схем, де його вихідна потужність визначається рівняннями, що описують стан заряду, вихідний струм і час зарядки і підзарядки. Еквівалентна схема батареї може бути описана простим ланцюгом опору з джерелом напруги, проте вона не включає стан заряду, і

передбачається, що енергія батареї не обмежена. Це не відповідає потребам, якщо коливання напруги оцінюються в залежності від рівня заряду акумулятора. Тому розглядається наступна схема, оскільки зміни враховуються за допомогою змінного резистора

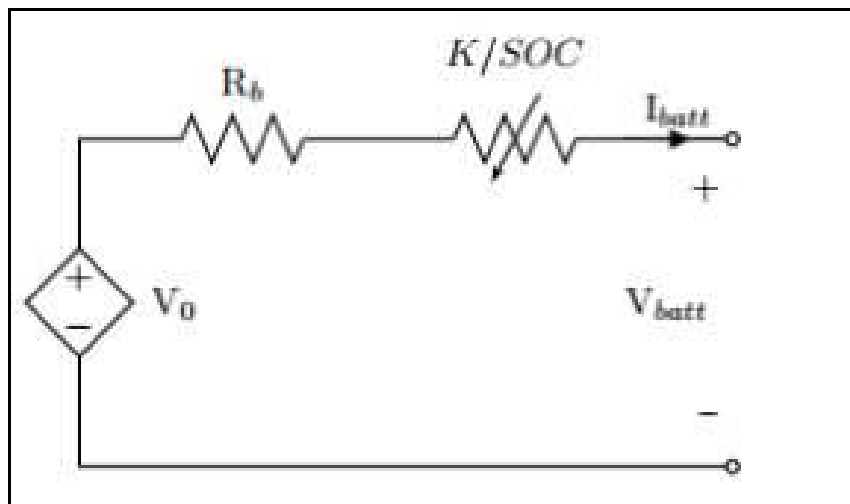


Рисунок 3.1. Спрощена схема акумулятора

Теплова енергія може накопичуватися розумно, за допомогою зміни температури, або вона може накопичуватися приховано, як зміна фази матеріалу - наприклад, твердої фази в рідку фазу. Процеси фазового переходу характеризуються великими змінами ентальпії за постійних або майже постійних температур. Системи зберігання прихованої енергії з фазовим переходом зберігають енергію з більшою щільністю і в меншому діапазоні температур, ніж розумні системи зберігання енергії, такі як звичайні резервуари для охолодженої води. Наприклад, енергія, необхідна для танення льоду при 0° , приблизно дорівнює енергії, необхідної для нагрівання тієї ж кількості води майже до 80° (334 кДж/кг при майже постійній 0° проти $4,2 \text{ кДж/(кг K)}$).

При зміні агрегатного стану велика кількість енергії, так зване приховане тепло, може накопичуватися або виділятися за майже постійної температури. Таким чином, невелика різниця в температурі може бути використана для накопичення енергії та вивільнення накопиченої енергії. Теплоакumuлююча здатність не корелює з розміром сховища.

У системах зберігання капсул теплоносіїв використовується для передачі теплової енергії від сонячного колектора до капсул (зарядка) та від капсул до системи подачі (розрядка). Під час відведення теплової енергії від рідких ПКМ на стінці капсули утворюється твердий шар ПКМ. Тепловий опір цього шару збільшується із збільшенням товщини, що призводить до зниження швидкості теплопередачі. Аналогічно, під час зарядки на стінці капсули утворюється рідкий шар, який має більш низьку теплопровідність, ніж у твердого. Таким чином, цей рідкий шар матиме більш високий опір теплопередачі за рахунок теплопровідності. Але в реальному випадку це збільшення теплового опору запобігається початку конвективного руху рідини. Спостерігається, що відбувається значно більше плавлення областей, прилеглих до верхньої частини нагрівача, ніж областей, що прилягають до нижньої частини. Дослідження показали, що це пов'язано з наявністю природних конвекційних потоків у розплавленому ПКМ. Через деякий час природна конвекція посилюється і це впливає на положення фронту плавлення і, отже, призводить до несиметричного плавлення навколо осі циліндрів.

Характеристики, необхідні ефективного та передбачуваного зберігання теплової енергії, виключають використання великої кількості матеріалів. На наступному малюнку показано, що гідрати парафіну та солі є корисними ПХМ для домашніх господарств. Солі та цукрові спирти використовуються для більш високих температурних діапазонів. Приклад використання високотемпературного зберігання енергії є встановлення концентрованої сонячної енергії, яка використовує сіль для зберігання енергії для подальшого використання. Це частково усуває проблему непостійності сонячної енергії.

У більшості випадків панелі необхідно буде інтегрувати в існуючі системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря в будівельному фонді. Для цього необхідно правильно налаштувати елементи керування системою, щоб правильно оптимізувати роботу термоелектричних частин.

3.2 Визначення проблеми та шляхи вирішення

Існує необхідність або пропуск у знаннях про системи, оскільки вони були нещодавно представлені на комерційному ринку. Однак у ньому немає значного зростання, як у загальній системі чи загальній системі. Вони повинні бути досліджені, та необхідно визначити оптимальну конструкцію та прогнозуючі фактори управління, які визначають продуктивність системи.

Для чисельного моделювання для конкретної системи необхідно перерахувати та завершити збір даних, таких як структура споживання енергії будинком/будинком, річне сонячне випромінювання, температури та погодні умови. Моделі, змодельовані з використанням погодних умов, повинні показувати закономірності відмінностей, і ці відмінності можуть бути ідентифіковані для пошуку загальних параметрів для отримання інформації про параметри, що оптимізуються, при цьому прогнозується найбільш ефективна нова модель для даної системи, а також такі фактори, як швидкість потоку і температура на вході чи виході, які необхідно контролювати для підвищення продуктивності системи.

У виробництві сонячних елементів фотоелементи на основі монокристалічного кремнію становлять приблизно 80% виробництва фотоелементів. Їхня ефективність може досягати 28%, але для більшості комерційних монокристалічних елементів ефективність, як правило, становить від 15% до 17%. Основними факторами, що впливають на ефективність фотоелементів, є інтенсивність сонячного випромінювання, якість напівпровідника, що використовується, і робоча температура фотоелемента. З цих факторів контроль температури фотоелемента є найпрактичнішим методом підвищення ефективності елемента. Загальноприйнятий взаємозв'язок між температурою та ефективністю фотоелемента з монокристалічного кремнію вказує на те, що вироблення електроенергії знижується приблизно на 0,4–0,5%/К

Енергетичний аналіз заснований на рівняннях енергетичного балансу і не дає повних даних, необхідних вивчення моделі . Ексергетичний аналіз дає користувачеві оцінку якості виробленої електричної та теплової енергії.

Хендрі розробив теоретичну модель для плоских сонячних колекторів та за допомогою моделі провів дослідження теплових та електричних характеристик повітряного та рідинного сонячних колекторів / . Він дійшов висновку, що коли фотоелектричні модулі не працюють, колектори на повітряній та рідинній основі можуть досягати максимальної теплової ефективності 42,5% та 40% відповідно. Однак, коли фотоелектричні модулі працювали, блоки на повітряній та рідинній основі отримували дещо нижчу теплову ефективність, яка становить 40,4% та 32,9% відповідно. Вимірний піковий електричний ККД цих пристроїв становив 6,8%.

Аналіз продуктивності показав, що двопрохідний фотоелектричний тепловий сонячний колектор забезпечує кращу продуктивність, ніж однопрохідний модуль при нормальному робочому діапазоні масової витрати. Крім того, тепла та комбінована тепла та електрична ефективності збільшувалися, коли коефіцієнт ущільнення (визначається як відношення площі фотоелемента до площі поглинача) зменшувався; тоді як електрична ефективність фотоелементів трохи знижувалася.

Санднес і Рекстад зі співавторами сконструювали фотоелектричну установку, використовуючи сонячний полімерний тепловий колектор у поєднанні з фотоелементом з монокристалічного кремнію. Аналітична модель, отримана на основі рівнянь Хоттела-Віллієра, була використана для моделювання розподілу температури та продуктивності як теплової, так і фотоелектричної частин. Результати моделювання відповідали експериментальним даним. Вони виявили, що наклеювання сонячних елементів на поверхню, що поглинає, зменшить поглинання панеллю сонячну енергію (приблизно на 10% від падаючої енергії) через більш низького оптичного поглинання в сонячних елементах порівняно з чорною поглинаючою пластиною.

Крім того, існує підвищений опір теплопередачі на поверхні абсорбера і всередині рідини, що знижує коефіцієнт відведення тепла колектором; Більш того, вони дійшли висновку, що температура сонячних елементів залежить від температури системи (вхідної рідини), а також від характеристик теплопередачі колекторів. Тому комбінована концепція повинна бути пов'язана з додатками з досить низькою температурою, щоб забезпечити бажаний охолодний ефект.

Ексергетичний аналіз (заснований на першому та другому законах термодинаміки), був заснований на швидкості виходу чистої ексергії Тіварі та ін. був заснований на втратах ексергії, які мають похибки при низькій сонячній радіації. Ця модель виконана явним методом кінцевих елементів за допомогою 7-вузлового аналізу.

Деякі припущення, розглянуті для моделі:

- Всі матеріали мають ізотропні властивості
- Для одного скляного покриття з низьким вмістом заліза температура навколишнього середовища вважається приблизно рівною температурі піднебіння.
 - Передбачається рівномірна швидкість розподілу потоку через більш високу продуктивність.
 - Усі елементи аналізованого контрольного обсягу мають розміри, ідентичні розмірів елементів реального колектора.
 - Термофізичні властивості матеріалів є незмінними величинами.
 - Усі коефіцієнти теплопередачі обчислюються як реального часу
 - Фотоелектричний шар непрозорий.
 - Пил та ефекти затінення ігноруються.
 - Температура навколишнього середовища вважається рівною температурі навколишнього середовища через те, що теплова та електрична віддача збільшуються менш ніж на 1% на кожні 15°.
 - Рідина трубка має металеве з'єднання для більш високої теплопередачі до рідини.

- Розподіл температури у напрямі не вплине на розподіл температури у напрямку.

Ексергетичний аналіз ґрунтується на другому законі термодинаміки. Ексергетичний аналіз проводиться для отримання якості вихідного сигналу, отриманого на основі енергетичного аналізу.

Отримано, що ми можемо отримати більш високу теплову віддачу від панелі, якщо збільшимо масову витрату, вищезгадана потужність може бути зіставлена з максимальною тепловою потужністю 648 Вт.

Виконавши всі рівняння одного вузла ($\eta = 1$), ми можемо отримати співвідношення між тепловим і електричним приростом.

Тепловий ККД та електричний ККД розраховуються на основі даних, отриманих для одного вузла, та повторюються протягом усього року.

Описаний вище експеримент був проведений компанією на ПВТ типу А. Використовуваний метод є явним методом аналізу 7 вузлів, в якому умови води на вході та виході обчислюються з явних рівнянь. Швидкість потоку води становила 0,004 кг/сек. Температура повітря була 17 градусів за Цельсієм. Коли опромінення зменшилося на 25%, негайно знизився рівня, лише трохи перевищує 25% від вихідного (оскільки знизився). Тепловиділення поступово знижувалося, як і миттєва ефективність миттєво зросла до більш ніж 90% протягом першої хвилини. Це посилення було викликане високим рівнем, що зберігається, при низькому рівні випромінювання. 2 показав незначну зміну, зменшуючись тими ж темпами, що і 1. На 660-й секунді 2 впав до рівня всього 2 градуси Цельсія в порівнянні з 0.

У нашій моделі спостерігається збільшення тепловиділення у літні місяці, у той час як ефективність не дуже висока. Приріст електроенергії за цей період, очевидно, знизився. Проте теплове посилення, залишаючись високим, не показало різкішого збільшення.

Аналіз проводився з вузлом зв'язку у вузлі абсорбера та рідини і без нього. Моделювання з вузлом з'єднання показало, що з'єднання і рідина поділяють

підвищену швидкість теплопередачі, однак без вузла з'єднання і меншого контакту абсорбер і рідина мають більш високі температурні показники з часом. Як видно, за короткий проміжок часу рідина нагрілася до вищої температури. Показане вище, не містить вузла зв'язку)

3.3 Фотоелектрична модель із батареєю

Фотоелектричний перетворювач у системі має електричну потужність у системі, яка зменшує його потужність залежно від температури навколишнього середовища залежно від погодних умов. Отже, це можна спостерігати на виході плоскої пластини. Цей аналіз проводиться протягом тижня (168 годин). Помічено, що запускає цикл зарядки, коли фотоелектричний елемент має дійсні значення опромінення, а цикл зарядки протягом 1 тижня січня має нижчі температури, і, отже, запускається дуже часто. Максимальна кількість заряду, до якого заряджається акумулятор без мінімального рівня 20%, становить 12%. Якщо можна встановити контролер заряду, щоб запобігти розрядженню акумулятора нижче 20%, тоді ми можемо припустити, що за тиждень було досягнуто близько 32% заряду без будь-якого навантаження застосовується.

Застосовуючи аналогічні концепції, за мінімального заряду 20% ми отримуємо близько 69% заряду (49 + 20), який може бути досягнутий за допомогою контролера заряду. Цей результат виходить без застосування будь-якого навантаження. Таким чином, близько 69% зарядження може статися до кінця тижня.

3.4 Проектування системи

Виходячи з наведених вище спостережень модель для системи може бути спроектована наступним чином, включаючи її систему зберігання. Накопичувач

тепла може бути або адсорбційним, залежно від моделі, необхідної для конкретного місця.

Колектор для електричної потужності потребує контролера заряду, щоб запобігти розрядці акумулятора до 0%. Отже, заряд підтримує вихідну потужність мінімум на 20% у своєму резерві. Перетворювач постійного/постійного струму необхідний для вищої вихідної потужності сонячного колектора, оскільки вихідна потужність одного модуля не дуже висока, і він повинен працювати на більш високому навантаженні в домашньому господарстві для побутових потреб у разі відсутності живлення або зниження подачі зі сховища. Навантаження змінного струму також може бути підключено до перетворювача постійного/ змінного струму для отримання навантаження змінного струму.

Очевидно, що теплова секція системи потребує системи акумулювання тепла, оснащеної тепловим насосом для колекторної рідини, яку необхідно підтримувати на рівні 20/25 градусів Цельсія, щоб температура в резервуарі не опускалася нижче цієї позначки. Оскільки це знижує продуктивність, може знадобитися додаткова подача тепла або адсорбція для його випарника для більш високої продуктивності, що, в свою чергу, знижує ефективність системи. Це є серйозним недоліком теплової системи за нижчих температурних погодних умов.

3.5 Аналіз представлених у літературі джерел про отримані результати оцінки параметрів ФЕТ модулів

Матеріали та методи дослідження. Об'єктом дослідження є теплофотоелектричні модулі. Основний метод вирішення поставленого завдання – аналіз представлених у літературі джерел щодо отримання даних про отримані результати оцінки параметрів ФЕТ модулів у процесі роботи енергетичних систем та виділення результатів застосування методів моделювання для

дослідження модулів і систем. Типи ФЕТ модулів та його загальна характеристика. Когенераційний фотоелектричний тепловий (ФЕТ) модуль – це пристрій, який одночасно виконує перетворення сонячної енергії на електрику та тепло. ФЕТ модуль, об'єднаний з баком-акумулятором, акумуляторною батареєю, інвертором та допоміжним обладнанням, становлять систему енергопостачання. Залежно від виду теплоносія розрізняють рідинні (а) та повітряні (б) ФЕТ модулі (рис. 2). Особливо перспективними можна розглядати модулі ФЕТ, створені як поєднання звичайних PV і SC-колекторів в одному компоненті [27, 28]. Колектори PVT, як зазначалося, зазвичай виготовляють з використанням стандартного теплового колектора, поглинач якого покритий шаром PV.

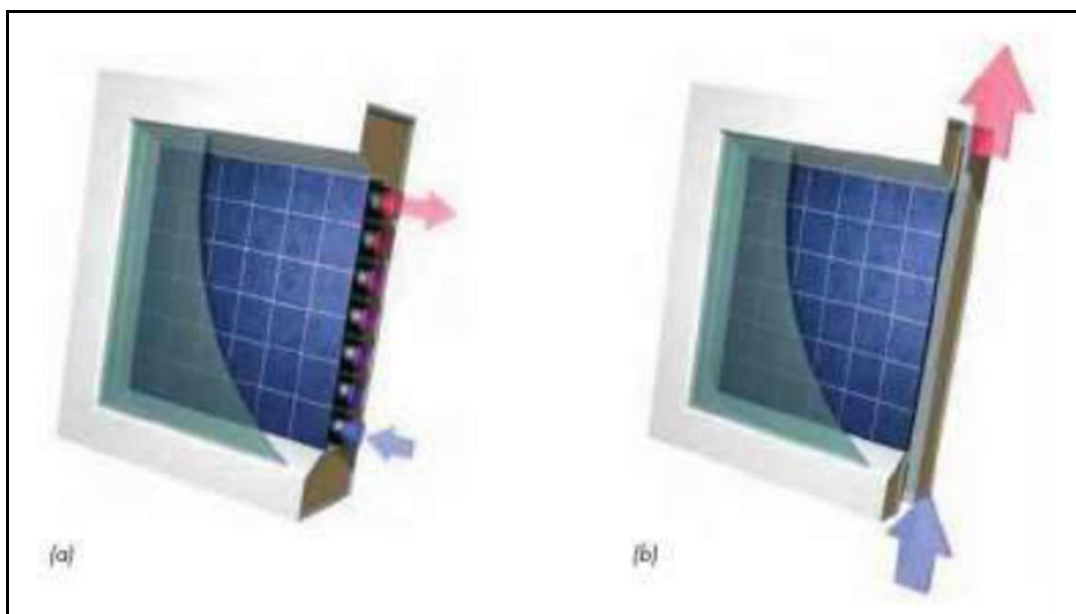


Рисунок 3.2. Зображення рідинного (а) та повітряного (б) ФЕТ (PVT) модулів [25]

Теплова енергія передається повітрям або воді, тоді як PV виробляють електроенергію [27, 28]. Загальний результат цих технологій – одночасне виробництво електроенергії та тепла [9]. Загалом ФЕТ установки можуть бути класифіковані за низкою різних ознак, таких як: тип використовуваної фотоелектричної панелі (на аморфному кремнії, полі- та монокристалічному кремнії, тонких плівках), засклений або нескляний модуль, тип теплоносія

(вода/гліколь або повітря), наявність концентратора і т. д. Можна виділити такі основні групи систем енергопостачання з використанням ФЕТ модулів:

1. Установки на основі плоских рідинних ФЕТ модулів.
2. Установки з урахуванням плоских повітряних ФЕТ модулів.
3. ФЕТ фасади будівель.
4. ФЕТ установки із концентратором.
5. Системи на основі теплового насоса та плоских ФЕТ модулів.

Принципова схема системи енергопостачання з використанням ФЕТ модуля представлена на рис. 3.3 [26]. Споживач, маючи таку установку, отримує можливість отримувати одночасно і електричну і теплову енергію. Розвиток ФЕТ модулі отримали, переважно, там, де було створено різні типи систем з їхньої основи, деякі з яких отримали комерційну реалізацію [25, 26]. За тривалий період розвитку робіт у цьому напрямку було проведено безліч досліджень різних аспектів роботи ФЕТ модуля, до найцікавіших з яких можна віднести низку робіт [28, 29, 31–35, 42, 43].

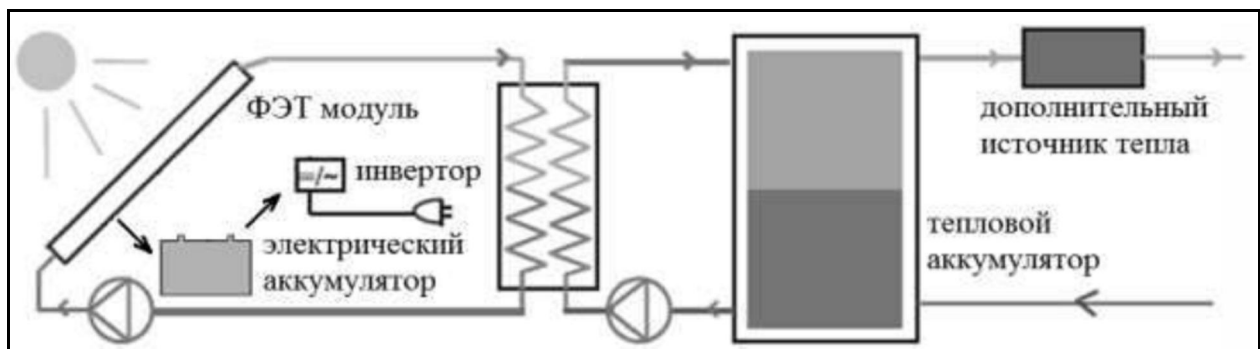


Рисунок 3.4. Схема фотоелектричного модуля на поверхні геліоводонагрівача у формі порожнистої фляги (подовжній розріз): а) без повітряного прошарку; б) з повітряним прошарком.

Схема приходу сонячного випромінювання на поверхню абсорбера з сонячними елементами, що розміщені на ній, представлена на рис. 3.5 [43].

На базі плоского сонячного теплового колектора, виконаного у формі пустотілої фляги і що входить до складу сонячної водогрійної установки [27], ми

розробили і виготовили макет когенераційного ФЕ теплового модуля, принципова схема якого представлена на рис. 3.4 [44].

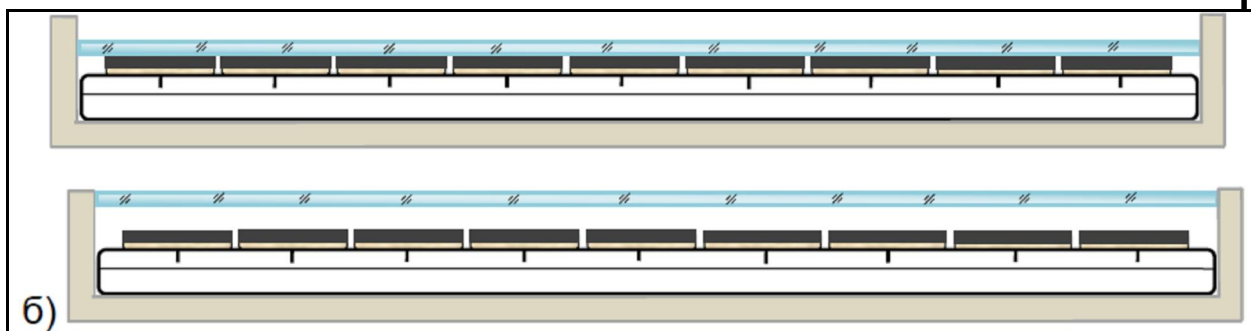


Рисунок 3.4. Схема фотоелектричного модуля на поверхні геліоводонагрівача у формі порожнистої фляги (подовжній розріз): а) без повітряного прошарку; б) з повітряним прошарком. Схема приходу сонячного випромінювання на поверхню абсорбера з сонячними елементами, що розміщені на ній, представлена на рис. 5 [43].

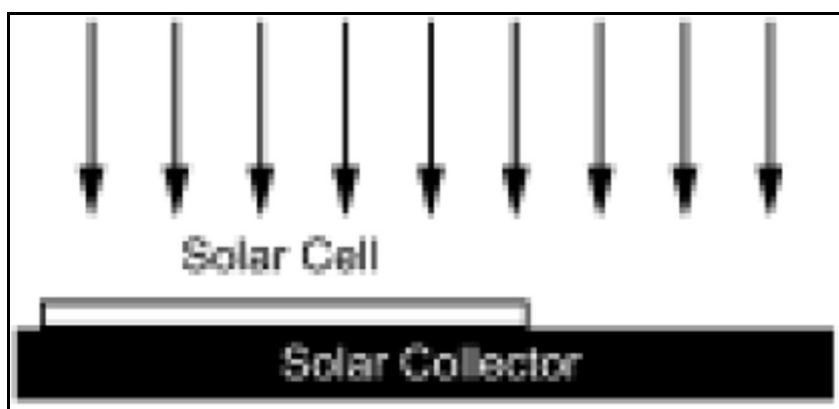


Рисунок 3.5. Надходження СІ на поверхню абсорбера (праворуч) та сонячних елементів (ліворуч)

Рідинні ФЕТ модулі на основі комерційно доступних геліоколекторів із сонячними елементами, що розташовуються на поверхні абсорбера, широко представлені на ринку. (Фірма Millennium Electric з 1991 року постачає на ринок ФЕТ модулі такого типу) [6]. Рідкісні ФЕТ модулі виробляються в Китаї (фірма Helios Photovoltaic Co., Ltd.) [31]. Фірмою Res-regenerative energietechnik und systeme GmbH (Німеччина) випускаються модулі двох типів. Такі компанії, як

Zhuhai Singyes Green Building Technology Co. Ltd. (Китай) [32], Solimpeks Solar Energy Corp. (Туреччина) [33], NES Ltd. (Болгарія) [34], SIA ALTENERGO (Латвія) [35] у номенклатурі виробленої ними продукції мають ФЕТ модулі. Дослідження параметрів ФЕТ модулів та енергетичних установок на їх основі. Результати ряду робіт, присвячених розгляду конструкції модуля, динаміку нагрівання рідини в бакеакумуляторі та ряді інших проблем, детально розглянуті в [41]. Для такого роду досліджень розроблялися спеціальні технічні засоби та пристрої для фіксації показань датчиків, встановлених у різних частинах ФЕТ модуля (рис. 3.6). У [41] виконані роботи з теоретичної оцінки ефективності роботи основних конструкцій та конфігурацій ФЕТ модулів. Розглянуто варіанти конструкцій дев'яти модулів. При оцінці передбачалося, що модулі працюють за схемою примусової циркуляцією теплоносія з витратою рідини $76 \text{ кг/м}^2\text{ч}$. У розрахунках сонячна радіація була прийнята на рівні 800 Вт/м^2 , температура навколишнього середовища – $20 \text{ }^\circ\text{C}$, швидкість вітру – 1 м/с , температура піднебіння – $4 \text{ }^\circ\text{C}$ та кут нахилу колектора 45° .

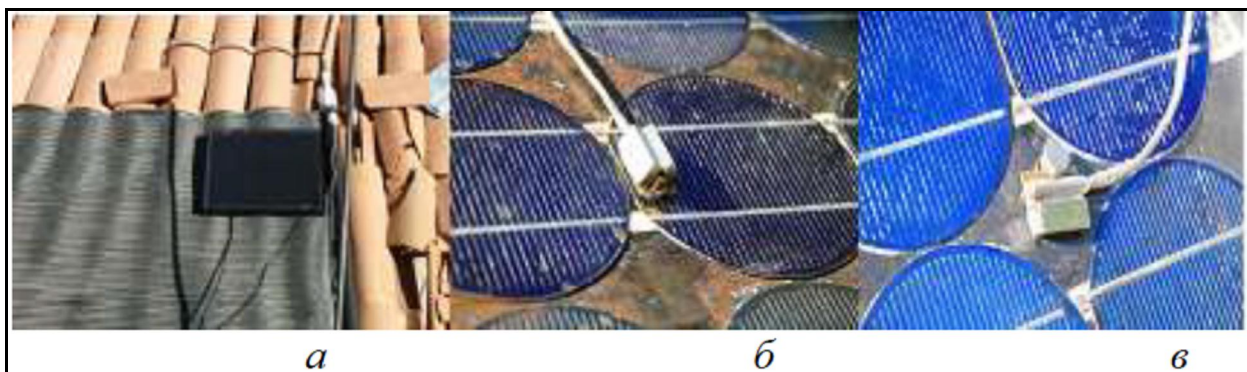


Рисунок 3.6. Розміщення датчиків у різних ділянках ФЕТ модуля та системи на їх основі [29]

У ряді робіт наводяться докладні описи проблем створення та використання ФЕТ модулів [29, 41, 45]. В огляді [41], в якому наведено обширний матеріал з опису та дослідження роботи ФЕТ модулів різних типів, наводиться, зокрема, інформація про комплексне дослідження динаміки нагріву

ФЕТ модуля протягом першого періоду експлуатації, аналіз якої відкриває великі можливості отримання інформації для подальшого вдосконалення конструкції ФЕТ модуля та пошуку оптимальних режимів його експлуатації. Вибіркова інформація щодо динаміки поведінки системи наведена на рис.3.7.

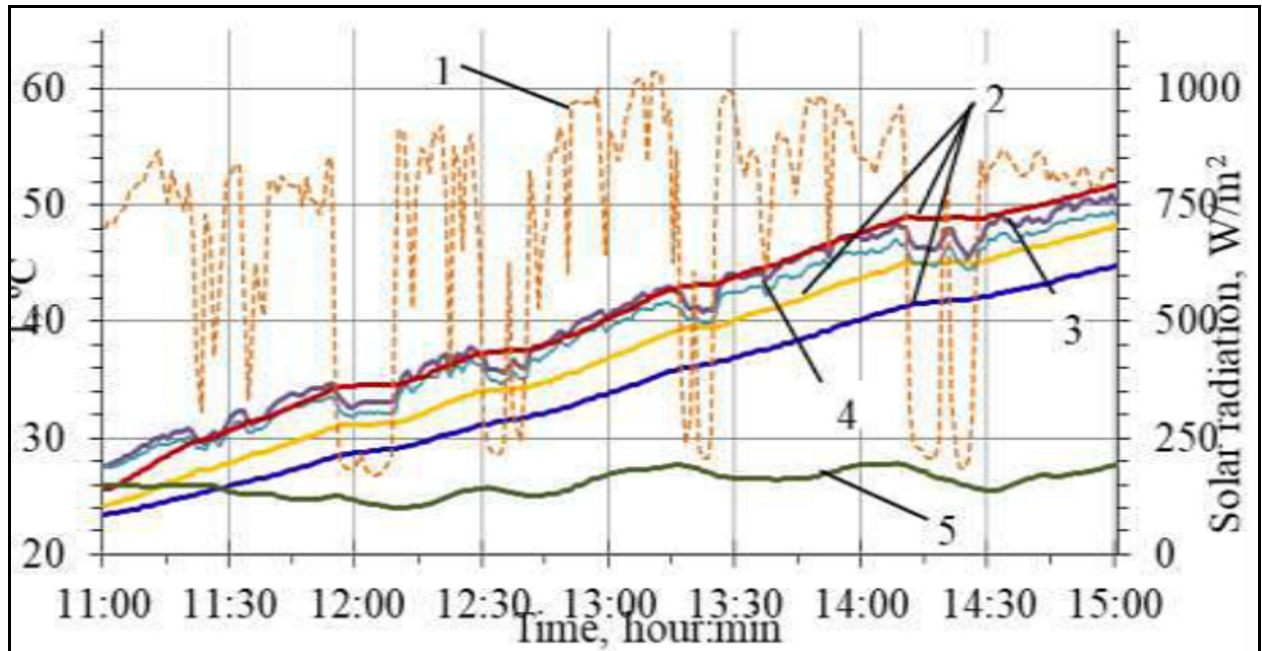


Рисунок 3.7. Динаміка зміни параметрів системи із ФЕТ модулем протягом заданого періоду його експлуатації

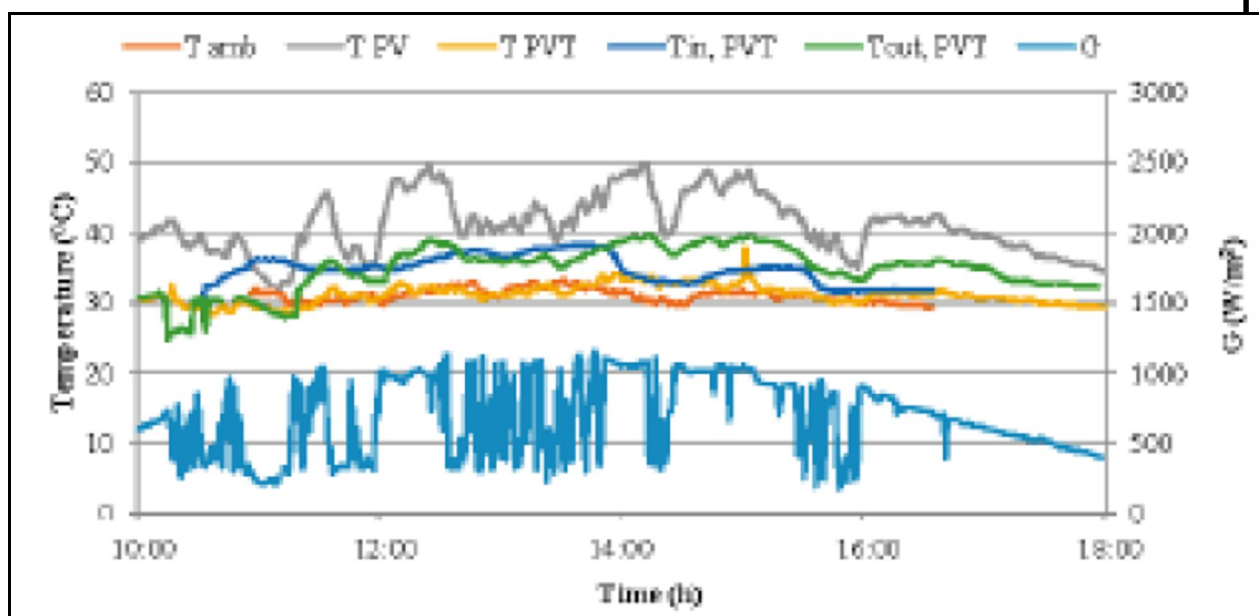


Рисунок 3.8. Температура навколишнього середовища, ФЕТ та ФЕ модулів та сонячна радіація

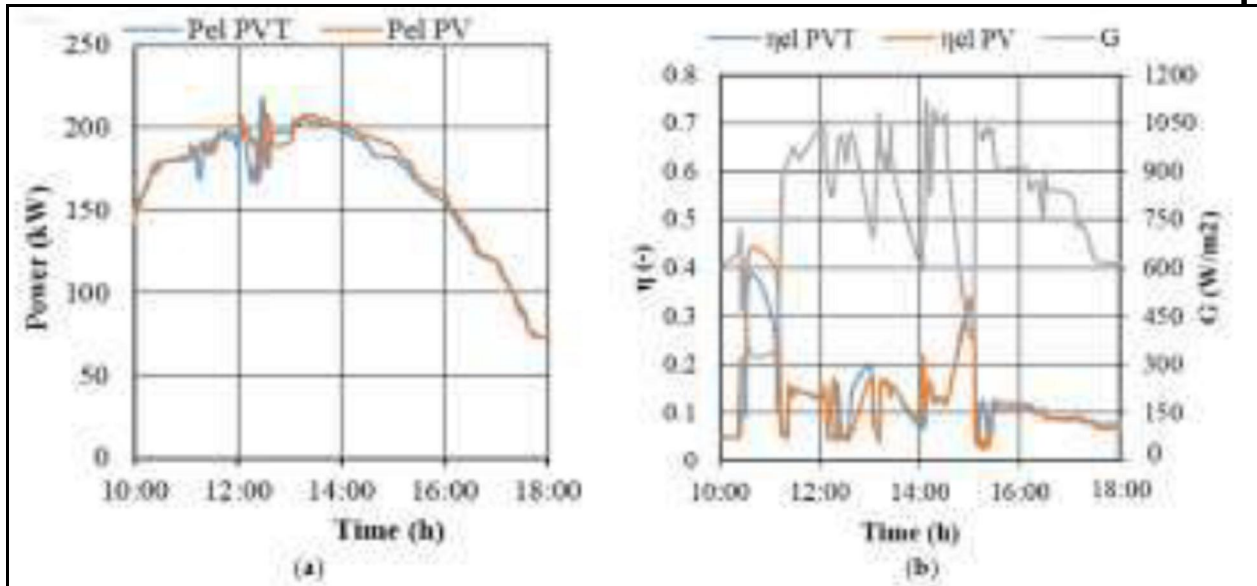


Рисунок 3.9. Денна температура ФЕТ та ФЕ модулів (а) та ефективність (б)

У [45] наведено аналогічні результати (рис. 3.8, 3.9). Тут же поряд з експериментальними дослідженнями проведено роботи з моделювання. Для динамічного моделювання енергетичних характеристик було розроблено схему експериментальної установки, що складається з чотирьох скляних сонячних PVT-колекторів та чотирьох полікристалічних кремнієвих PV-панелей для виробництва електроенергії та побутової гарячої води (рис. 3.10). Установка включає водоохолоджуваний резервуар для зберігання води, з внутрішнім теплообмінником. Схема розрахункової системи зображено на рис. 10, вона включає три основні системні петлі: рідинна петля сонячного колектора, що зв'язує по воді сонячне поле і накопичувальний бак за допомогою насоса, що подає воду з постійною швидкістю; контур гарячої води, пов'язаний з вихідною водою з резервуару-сховища ТК і що поставляється безпосередньо споживачам або змішується через трійник (ТР), з водопровідною водою до набору гарячої води заданої температури; водопровідна вода, пов'язана з мережевою водою, що подається за допомогою рідинного потоку з контрольованою температурою (FD) в резервуар-сховище.

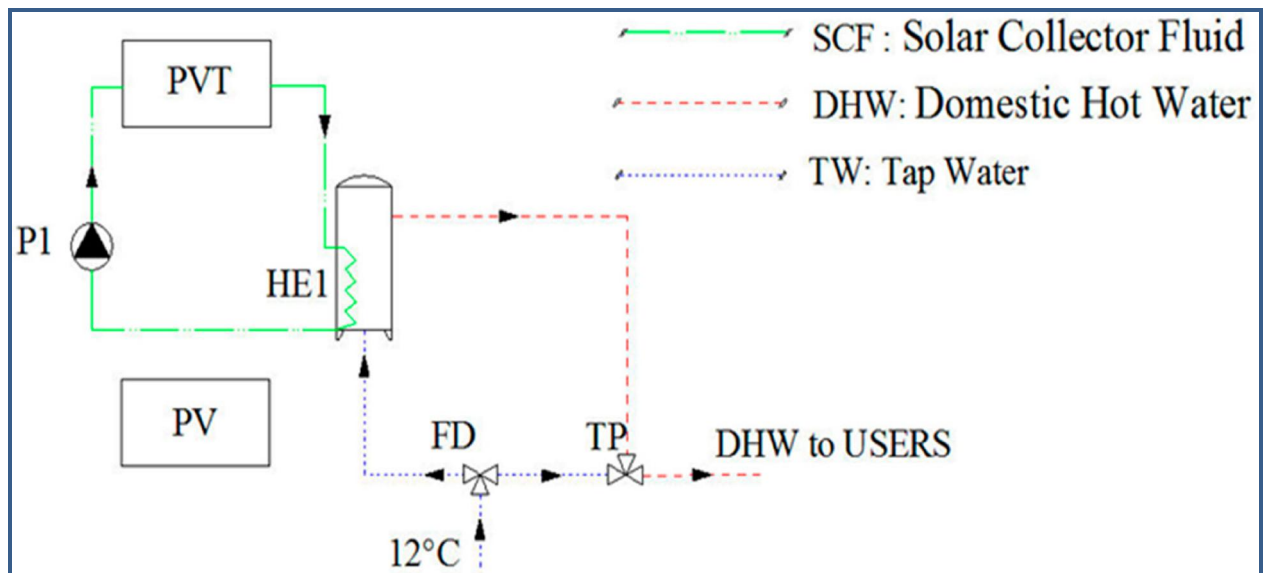


Рисунок 3.10. Схема установки [45]

Поруч із технічною моделлю було розглянуто і економічна модель. Кінцевою метою цієї статті було порівняння ФЕТ модулів, отриманих за новою технологією (глазуровані колектори, з більш традиційними ФЕ панелями. Виконано два типи аналізів: чисельні, засновані на динамічному моделюванні, та експериментальний, метою яких було порівняння реальних характеристик ФЕ та ФЕТ колектори, що складаються з одних і тих же ФЕ-моделей у поєднанні з установками для відбору води. В обох випадках результати проаналізовані з енергетичної та економічної точок зору. Слід зазначити, що ці два підходи суворо пов'язані, оскільки вхідні параметри чисельних моделей відповідають експериментальній установці. Симуляційна модель установки була розроблена серед TRNSYS з метою оцінки енергетичної та економічної ефективності еталонної технології PVT (тобто скління колекторів) в порівнянні з випробуваною PV-технологією. Оцінка енергетичної ефективності еталонної технології PVT (тобто скління колекторів) в порівнянні PV-технологією. Численні результати показали, що:

- електрична енергія, створювана суто фотоелектричними панелями PV (1778 кВтг/рік), вище, ніж PVT (1156 кВтг/рік). Але при цьому колектори PVT, крім того, дають значну кількість теплової енергії (1433 кВт/год);

- електрична ефективність фотоелектрики дорівнює 17,9 %, тоді як колектори PVT показують сумарну ефективність 26 % (сума електричної ефективності – 11,6 % та теплової – 14,4 %);

- під час літньої роботи температура на виході PVT часто сягала 40 °С, тоді як взимку колектори PVT переважно використовуються для попереднього нагрівання води до заданої температури з наступним догріванням за допомогою резистивного нагрівання;

- економічна доцільність досліджуваних систем (системи PV та PVT) в обох випадках є позитивною.

Термін окупності – близько 4 років. Експериментальні результати показують, що між фотоелектричними панелями та колекторами PVT спостерігається значна різниця температур (близько 10 °С). Середні електричні характеристики колекторів та PV та PVT майже збігаються та варіюються в межах 15 %. На відміну від зазначеної роботи, в [47] догрівання води після ФЕТ модуля здійснюється в сонячних колекторах, що додатково встановлюються. - економічна доцільність досліджуваних систем (системи PV та PVT) в обох випадках є позитивною.

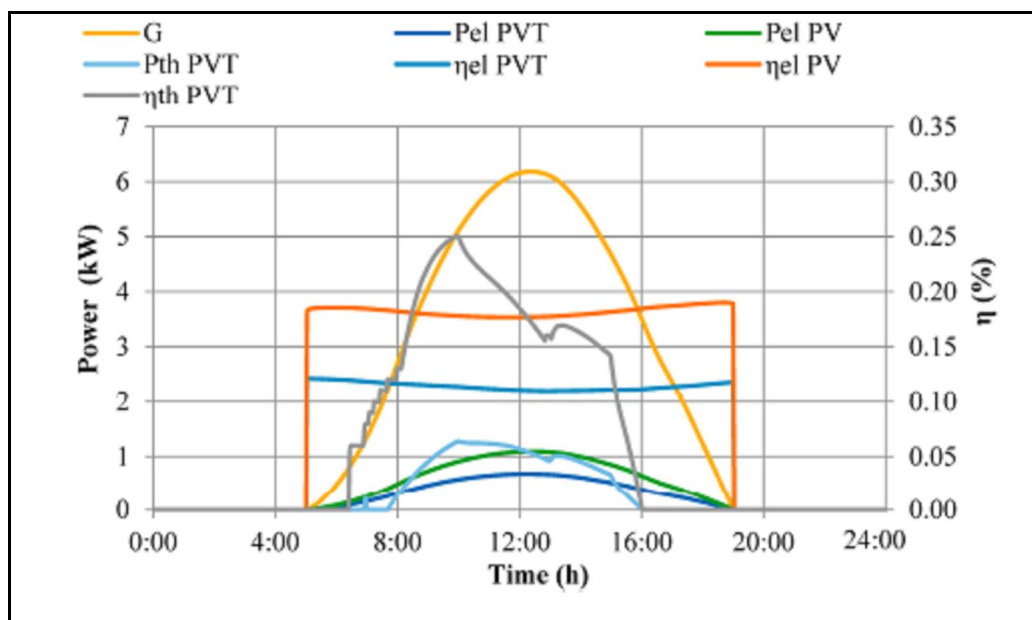


Рисунок 3.11. Денна потужність (ліворуч) та ефективність (праворуч)

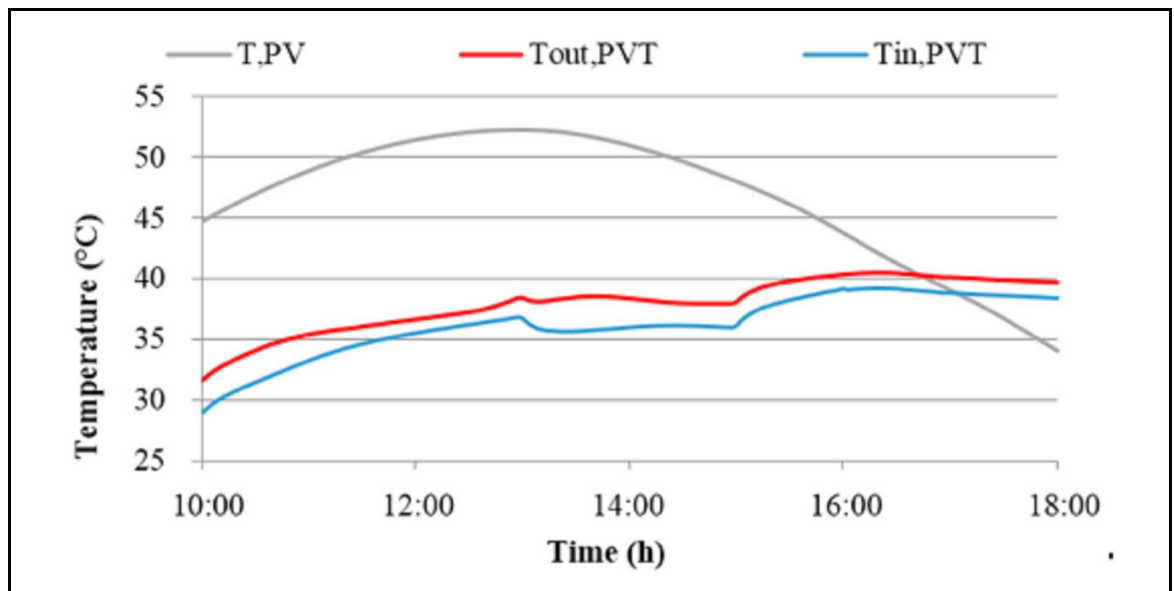


Рисунок 3.12. Сонячний день: вхідна та вихідна температура для PV-T колектора

У роботі [48] була розроблена та випробувана у MANIT Bhopal, з метою перевірки її працездатності, сонячна теплофотоелектрична (PV/T) система (рис. 11). Було встановлено, що електрична ефективність ФЕ частини системи знижується зі збільшенням її робочої температури. Запропоновано спеціальну конструкцію, що дозволяє знизити робочу температуру ФЕ модулів та підтримувати електричну ефективність на достатньому рівні.



Рисунок 3.13. Експериментальна система з ФЕТ та ФЕ (ліворуч) модулями

Запропоновано класифікацію ФЕТ систем, виконано оцінку ефективності плоскої пластини сонячного колектора PV/T та порівняння його характеристик із сонячною ФЕ системою. Експерименти проводились у метеоумовах Бхопалу (широта 23.16 °N; довгота 77.24 °E) в Індії протягом 18/04/2014 з 10.00 ранку до 5.00 вечора. ФЕТ модуль був побудований з використанням сонячної панелі з полікристалічного кремнію потужністю 37 Вт площею 0,3216 м², за панеллю встановлювався мідний лист та мідна трубка, які виконували функцію поглинача, що сприймає тепло від панелі та передає його воді у мідних трубах. Насос потужністю 18 Вт використовувався для циркуляції води у системі. Електрична ефективність системи становила близько 7,57%, денний тепловий ККД складав 50,1%, а загальна ефективність системи перевищувала 73%. Ці результати показують, що електричні та теплові характеристики комбінованої системи при використанні ФЕТ модулів набагато вищі, ніж при використанні тільки ФЕ (PV). Цей вид системи (PV/T) особливо підходить для отримання нагрітої води з низькою температурою, наприклад попереднього нагріву побутової води. Одним із способів підвищення ефективності фотоелектричних систем є охолодження їх під час роботи тонкою плівкою води з додатковою системою утилізації теплоти, переданої цій воді [49]. Експериментальні вимірювання як комбінованої системи, так і стандартної фотоелектричної панелі показали, що потужність та електричний ККД об'єднаної системи вищі за традиційну. Крім того, оскільки тепло, що видаляється з PV-панелі водною плівкою, не втрачається, загальна ефективність комбінованої системи стає ще вищою. Опитна установка (рис. 3.13), складалася із двох аналогічних фотоелектричних панелей (PV) кожна площею 0,44 м². Максимальна вихідна напруга та струм становили, відповідно, 23 В, 2,61 А з тах вихідною потужністю 60 Вт. Одна з панелей охолоджувалась плівкою води. Інша панель використовувалася як контрольна. Щоб створити плівку води над фотогальванічною панеллю, трубка з розрізом уздовж неї була встановлена на верхньому кінці панелі. Вода, що закачується в трубку, що живить, зі щілини

тече по панелі у вигляді тонкої плівки. Потужність насоса для циркуляції води становить 0,25 л.



Рисунок 3.14. Сонячна фотоелектрична панель з плівкоутворюючим пристроєм

Результати показали, що вода, зібрана в нижній частині панелі, може використовуватися для опалення. Якщо вода відкачується назад, до верхнього кінця панелі вона матиме бажаний рівень температури. Загальний вихід енергії комбінованої системи (зібрана теплова та електрична енергія для об'єднаних площ) значно збільшився порівняно з електричною енергією із звичайною фотоелектричною панеллю. Було показано, що загальна ефективність комбінованої системи на один порядок більша, ніж ефективність звичайної панелі. У роботі моделювання не використовувалося, що значно знизило обсяг можливих одержуваних результатів.

Висновки та перспективи. Експериментальні роботи зі створення макетів ФЕТ модулів та оцінки їх параметрів надзвичайно трудомісткі. Тому для

отримання всієї інформації, необхідної для проектування енергетичних систем, практично отримати важко. Необхідний обсяг інформації було б зручно отримувати, використовуючи методи комп'ютерного чи математичного моделювання. Однак такого роду робіт у літературі представлено недостатньо. У деяких із описаних вище робіт питання моделювання більшою чи меншою мірою розглядаються, але недостатньо активно. Пропоновані рішення не дозволяють сформулювати підхід, який міг би забезпечити створення продукту, який можна було б використовувати на практиці для вирішення практичних завдань щодо оптимізації конструкції ФЕТ модулів, а також вибору оптимальних технологічних рішень для їх застосування в конкретних технологіях або комплексах.

4 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

4.1 Розрахунок капітальних інвестицій

Досліджується потенціал сонячної енергії з метою визначення необхідної кількості ємнісних накопичувачів та фотомодулів для забезпечення автозарядної станції, а також визначення гарантованості енергопостачання. В результаті дослідження доведено достатність сонячного потенціалу та запропоновано систему електропостачання, для зарядки електромотоциклів, ґрунтуючись на сонячних панелях з полікристалічного кремнію та високоемних накопичувачах.

У цьому розділі було виконано розрахунок техніко-економічних показників та показників ефективності для запропонованого варіанта енергозабезпечення зарядних пристроїв з метою обґрунтування економічної доцільності їх застосування. Капітальні інвестиції для реалізації проектного технічного рішення включають:

- витрати на придбання обладнання, техніки, технології,
- технічних засобів контролю та обліку, пристроїв діагностики
- состояня обладнання;
- витрати на будівельно-монтажні роботи;
- витрати на монтажну-налагоджувальні роботи;
- інші расходи.

При визначенні величини проектних капіталовкладень можна скористатися формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} \left(\sum_{i=1}^n C_i + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{мн}} + Z_{\text{мн}} + Z_{\text{мн}} \right) \quad (4.1)$$

- Витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів

контролю та обліку, пристроїв діагностики стану обладнання, сумарна вартість комплектуючих і-го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення, грн.;

$Z_{\text{тзр}}$ – транспортно-заготівельні витрати, $Z_{\text{тзр}} = 0,05 \cdot K_{\text{об}}$, грн;

$Z_{\text{м}}$ - Витрати на монтаж-налагоджувальні роботи, $Z_{\text{м}} = 0,07 K_{\text{об}}$, грн.;

$Z_{\text{дем}}$ – витрати на демонтаж застарілого обладнання, грн.;

$Z_{\text{пр}}$ - інші витрати, $Z_{\text{пр}} = 0,3 \cdot Z_{\text{м}}$, грн.

Вартість обладнання та комплектуючих взята на підставі прайс-листу оптових цін на електрообладнання підприємства «PROM.ua». Інтернет адреса: <https://prom.ua>.

Витрати на придбання, монтаж та налагодження обладнання наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Капітальні вкладення тех. обладнання та комплектуючих

Найменування	AbiSolar 5048	EverExceed ES250-12G	Сонячні панелі JA Solar JAP72S01
Кількість, шт	1	68	68
Ціна, тис. грн	32,83	7,5	5,5
Вартість, тис. грн	32,83	510	374
Монтаж, тис. грн	3,283	51	37,4
Транс. витрати, тис. грн	1,6415	25,5	18,7
Др. витрати, тис. грн (30%)	9,849	153	112,2
Усього	47,6	736,8	542,3

Таким чином, капітальні інвестиції, необхідні для встановлення системи на основі полікристалу, згідно з ф. 3.1. складуть:

$K_{\text{пр1}} = K_{\text{об}} (\sum_{i=1}^n Ц_i) + З_{\text{тр}} + З_{\text{мн}} + З_{\text{мн}} + З_{\text{мн}} = 47,6 + 736,8 + 42,3 = 1326,7$ тис. грн.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

До основних статей експлуатаційних витрат з електротехнічного обладнання належать:

- Амортизаційні відрахування (C_a).
- Заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_3).
- Єдиний соціальний внесок.
- Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мереж ($C_{\text{пр}}$).
- Вартість витрат електроенергії (C_e).
- Інші витрати ($C_{\text{ПЗ}}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування становлять:

$$З = C_a + C_3 + C_c + C_{\text{пр}} + C_e + C_{\text{др}} \quad (4.2)$$

4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування - відрахування частини вартості основних фондів відшкодування їх зносу.

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з часу його використання. Час корисного використання об'єкта основних засобів нараховується з часу його корисного використання. Термін корисного використання об'єктів основних засобів та нематеріальних активів 5 років, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних та якісних характеристик основного засобу, морального та фізичного зношування, а також інших факторів,

які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання обладнання, що впроваджується, становить 12 років виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального та фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання обладнання, що впроваджується, становить 12 років.

Норма амортизації при прямолінійному методі стала протягом всього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_{II}}{\Phi_{II} \cdot T_{II}} \cdot 100\%$$

Норма амортизації складе:

$$H_a = 1326,7 / (1326,7 \cdot 12) \cdot 100\% = 8,33\%,$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АТ за прямолінійного методу

Річні амортизаційні відрахування становитимуть:

$$АТ = (8,33 \cdot 1326,7) / 100 = 110,51 \text{ тис. грн};$$

4.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок заробітної плати не виконується, оскільки для цієї системи профілактичні та інші види робіт для підтримки всіх систем енергозабезпечення проводяться не рідше ніж один раз на рік, місяців ремонтними електробригадами, підрядної організації.

4.2.3 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт

Компанія, яка надає услуги по продажу енергетичних систем на основі сонячної енергії, виробляє тех. обслуговування згідно з прайсом [14], у розмірі 150 грн/панель

Для варіанта з 68 сонячними панелями сума витрат на річне обладнання складе в 10,2 тис. грн.

Також приймаємо витрати у розмірі 300 грн. на місяць для персоналу автозаправки, який протиратиме сонячні панелі від пилу.

$$C_T = 10,2 + 0,3 \cdot 12 = 13,8 \text{ тис. грн/рік}$$

Таким чином річні експлуатаційні витрати становитимуть:

$$C_1 = C_a + C_p = 110,51 + 13,8 = 124,31 \text{ тис. грн.};$$

4.2.4 Розрахунок вартості електроенергії

Оскільки наша система не споживає енергію, розрахунок вартості електроенергії не виробляємо.

4.3 Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування

Повна річна економія від запровадження прийнятого технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат на даному об'єкті:

$$E_{\text{рік повний}} = E_{\text{год}} - C_{\text{пр}}, \text{ тис. грн, (4.6)}$$

де $E_{\text{год}}$ – прибуток за вироблену електроенергію на основі відновлюваних джерел енергії та продано за зеленим тарифом, тис. грн.

Знайдемо прибуток за вироблену «зелену» енергію:

$$E_{\text{рік}} = W_1 \cdot a + a \cdot b, \text{ тис. грн (4.7)}$$

де а-тарифи за кВт електроенергії за зеленим тарифом (становить 5 грн 32 коп. за 1 кВт) за даними <http://eenergy.com.ua/zelenij-tarif/tsina-na-zelenij-tarif/> «Вартість електроенергії на 1 січня 2017 – 31 грудня 2019», оскільки об'єкт не є промисловим, а потужність установок менша за 30кВт).

b – тариф на продаж е/е, який не враховує зелений тариф (становить 1,68 для підприємств понад 600 кВтч).

W_1 – річне вироблення е/е, $W_1 = 67504$ кВт·год/рік;

W_2 – продана електроенергія споживачам автозарядної станції, за звичайним тарифом, $W_2 = 30368$ кВт·год/рік.

Кількість виробленої енергії складе згідно з додатком Д:

$E_{\text{рік}} = 67504 \cdot 5,32 + 30368 \cdot 1,68 = 410,113$ тис. грн річна повна економія складе:

$$E_{\text{повн.}} = E_{\text{год}} - C = 410,113 - 124,31 = 285,803 \text{ тис. грн}$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності та терміну окупності

Період окупності можна знайти за формулою 62

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}}}{E_{\text{год.повн.}}}$$

Для проектного варіанта період окупності складе:

$$T_{ок} = \frac{1326,7}{285,803} = 4,64 \text{ року}$$

Проект капітальних вкладень вважається за доцільне, якщо виконується умова:

$$E_p > E_n \quad (4.10)$$

E_n – нормативне значення коефіцієнта ефективності визначається виходячи з прийнятої індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = 1/T_{ож} \quad (4.11)$$

де $T_{ож} = 12$ років, очікуваний, прийнятий термін окупності капітальних вкладень.

Тоді нормативне значення коефіцієнта ефективності становитиме:

$$E_n = 1/12 = 0,083$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p для двох варіантів:

$$E_{p1} = \frac{E_{год.повн.}}{K_{пр}} = \frac{285,803}{1326,7} = 0,215$$

Тоді перевіряємо на виконання умови:

$$E_p > E_n \quad 0,215 > 0,083$$

В результаті виконання техніко-економічного аналізу було зроблено розрахунок вартості проекту, що впроваджується, зокрема електрозаправну станцію, капіталовкладення якої становило 1326,7 тис. грн, а термін окупності – 4,64 роки, що для об'єктів на основі відновлюваних джерел досить швидко. Також розраховано економічну ефективність його впровадження. Було встановлено, що при використанні такої системи відбувається економія коштів, а «чистий» дохід приноситься менш ніж через 5 років, що говорить про доцільність використання цих технологій.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ПРОФЕСІЙНА ЕТИКА

5.1 Основні принципи у сфері охорони праці

Основні принципи у галузі охорони праці наступні:

- пріоритет життя та здоров'я працівника стосовно результатів виробничої діяльності підприємств;
- повна відповідальності власника або уповноваженого представником (надалі – роботодавець);
- комплексного вирішення завдань охорони праці на базі державних програм з цих питань та координації діяльності в галузі охорони праці з іншими напрямками економічної та соціальної політики;
- встановлення єдиних вимог у галузі охорони праці всіх підприємств, незалежно від форм власності та господарювання;
- здійснення державного нагляду та контролю спільного виконання вимог охорони праці та техніки безпеки на підприємствах;
- широкого використання досягнень науки, техніки та передового національного та зарубіжного досвіду в охороні праці;
- стимулювання розробки та впровадження безпечної техніки, технологій та засобів захисту працюючих, науково-дослідної роботи з охорони праці;
- участі держави у фінансуванні охорони праці;
- проведення податкової політики, що сприяє створенню здорових та безпечних умов праці на підприємствах;
- економічної зацікавленості підприємств у забезпеченні здорових та безпечних умов праці, а працівників у дотриманні правил і норм охорони праці та техніки безпеки;
- ліцензування діяльності підприємств із позиції охорони праці;

- проведення сертифікації на відповідність вимогам безпеки продукції виробничого призначення, що застосовується;
- оцінки небезпеки та шкідливості виробництва органами державної експертизи умов праці безпосередньо на робочих місцях, а також у проектах будівництва нових та реконструйованих підприємств;
- забезпечення працівників спеціальним одягом та взуттям, засобами індивідуального захисту, лікувально-профілактичним харчуванням за рахунок коштів власника;
- обов'язки розслідування та обліку кожного нещасного випадку на виробництві та кожного професійного захворювання, забезпечення поінформованості працівників про рівні виробничого травматизму, професійну захворюваність та про вжиті заходи щодо покращення охорони праці;
- соціального захисту інтересів працівників, які постраждали від нещасних випадків на виробництві або отримали професійні захворювання;
- підготовки фахівців з охорони праці та техніки безпеки у вищих та середніх спеціальних навчальних закладах;
- всесвітньої підтримки діяльності представницьких організацій трудящих, роботодавців, громадських об'єднань, підприємств та окремих осіб, спрямованої на забезпечення охорони праці;
- міжнародного співробітництва під час вирішення проблем охорони праці.

5.2 Аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основна мета заходів щодо охорони праці – ліквідація травматизму та професійних захворювань. Проведення заходів щодо покращення умов праці дає відчутний економічний ефект – підвищується продуктивність праці, знижуються витрати на відновлення втраченої працездатності.

Заходи безпеки праці повинні передбачатися під час проектування, будівництва, виготовлення та введення в дію об'єктів та обладнання.

Усі заходи щодо охорони праці проводяться з метою захисту учасників трудового процесу від впливу небезпечних та шкідливих факторів, що характеризують умови його проведення. У дипломному проекті розглядається розробка системи електропостачання за допомогою фотоперетворювачів. У цій системі є небезпечні фактори, пов'язані з монтажем обладнання. Шкідливі фактори на кінцевій стадії, тобто під час використання даної системи, як такі, відсутні. Сонячні панелі мало впливають на довкілля. На екологічну обстановку може вплинути утилізація акумуляторних батарей, яку потрібно проводити раз на дванадцять років.

5.3 Вплив системи електропостачання за допомогою фотоперетворювальних систем на довкілля

Сонячні станції є недостатньо вивченими об'єктами, тому віднесення їх до екологічно чистих електростанцій не можна назвати повністю обгрунтованим. У найкращому разі до екологічно чистої можна віднести кінцеву стадію – стадію експлуатації сонячних електростанцій, і те щодо.

Сонячні станції є доволі землеємними. Питома землеємність таких станцій змінюється від 0,001 до 0,006 га/кВт із найімовірнішими значеннями 0,003–0,004 га/кВт. Це менше, ніж для гідроелектростанцій, але більше, ніж для теплових та атомних електростанцій. При цьому треба врахувати, що сонячні станції дуже матеріаломісткі (метал, скло, бетон), до того ж у наведених значеннях землеємності не враховуються вилучення землі на стадіях видобутку та обробки сировини.

Сонячні концентратори викликають великі за площею затінення земель, що призводить до сильних змін ґрунтових умов, рослинності. Небажана екологічна дія в районі розташування станції викликає нагрівання повітря під

час проходження через нього сонячного випромінювання, сконцентрованого дзеркальними відбивачами. Це призводить до зміни теплового балансу, вологості, напряму вітрів; у деяких випадках можливе перегрів і загоряння систем, що використовують концентратори, з усіма наслідками, що звідси випливають. Застосування низькокиплячих рідин та неминучі їх витікання у сонячних енергетичних системах під час тривалої експлуатації можуть призвести до значного забруднення питної води. Особливу небезпеку становлять рідини, що містять хромати та нітроти, які є високотоксичними речовинами.

Геліотехніка непрямим чином впливає на довкілля. У районах її розвитку мають зводитися великі комплекси з виробництва бетону, скла та сталі. Під час виготовлення кремнієвих, кадмієвих та арсенід-галієвих фотоелектричних елементів у повітрі виробничих приміщень з'являються кремнієвий пил, кадмієві та арсенідні сполуки, небезпечні для здоров'я людей.

Несприятливі впливи сонячної енергії на довкілля можуть проявлятися:

- у відчуженні земельних площ, їх можливу деградацію;
- у великій матеріаломісткості;
- у можливості витоку робочих рідин, що містять хлорати та нітроти;
- у небезпеці перегріву та займання систем, зараження продуктів токсичними речовинами при використанні сонячних систем у сільському господарстві;
- у зміні теплового балансу, вологості, напряму вітру у районі розташування станції;
- у затемненні великих територій сонячними концентраторами, можливу деградацію земель;
- вплив на клімат космічних сонячних станцій;
- у створенні перешкод телевізійного та радіозв'язку;
- у передачі енергії Землю як мікрохвильового випромінювання, небезпечного живих організмів людини.

Вплив акумуляторних батарей на довкілля

Свинцево-кислотні акумулятори широко використовуються як автономні хімічні джерела струму вже близько 150 років. За цей час багаторазово покращилися їх характеристики, підвищився термін служби, суттєво розширилася сфера їх застосування.

Натомість відпрацьовані свинцеві акумуляторні батареї екологічно небезпечні. Причина цього полягає в токсичності свинцю, що міститься в них (до 60% від маси батареї) і хімічної агресивності кислотного електроліту – розчину сірчаної кислоти.

Свинець по концентрації у повітрі належить до 1-го класу небезпеки та його гранично допустима концентрація (ГДК) у повітрі житлових районів повинна становити 0,0003 мг/м³, у робочій зоні 0,05 мг/м³ (середнесмінна). Свинець у стічних водах належить до другого класу небезпеки. Концентрація його у воді, що використовується з господарсько-побутовою метою, не повинна перевищувати 0,03 мг/л. Жорсткі обмеження ГДК свинцю встановлені також у питній воді (0,03 мг/л), у водних об'єктах рибогосподарського призначення (0,01 мг/л), у ґрунті (6 мг на кг ґрунту). Для підприємств, що переробляють та виробляють свинець, обов'язкові профілактичні заходи щодо захисту робочого персоналу та необхідна наявність санітарно – захисної зони.

Збір та переробка відпрацьованих свинцевих акумуляторних батарей в економічно розвинених країнах розглядається як важлива екологічна проблема та користується державною законодавчою та фінансовою підтримкою. Тому у країнах Західної Європи на переробку йде понад 90% акумуляторного брухту, зокрема: – у Німеччині – 95%; – у Швеції – понад 98%; – у Японії – понад 90%; – у США – не менше 97%.

6 ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБІТІ З СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ ТА БАТАРЕЯМИ

Фотоелектричні або фотогальванічні системи збирають енергію сонячного світла, перетворюючи її на постійний струм. Ви можете використовувати електрохімічні сонячні батареї для зберігання енергії або підключити їх до домашньої мережі.

При монтажі та повсякденній експлуатації подібних систем, включаючи технічне обслуговування та ремонт, не варто забувати про заходи безпеки. Щоб уникнути травм та інших загроз для здоров'я, а також ефективно використовувати сонячні панелі та батареї, необхідно пам'ятати та дотримуватись правил і техніки безпеки.

Неважливо, підключаєте ви панелі один до одного або збираєтеся тільки встановлювати монтажний каркас, при недостатній увазі можна впасти з висоти, травмувати пальці або впустити конструкційні елементи, серйозно їх пошкодивши.

Робоче місце та його ризики

Немає двох однакових будинків і немає двох однакових комерційних об'єктів. Перед встановленням системи сонячних панелей фахівці повинні відвідати об'єкт для оцінки. Під час цього візиту майстри повинні виконати певні дії, включаючи:

- вибір правильних та ефективних інструментів для оцінки об'єкта; визначення найкращого місця для встановлення панелей, інверторів, сонячних батарей та інших систем, щоб досягти ідеального балансу;
- пошук місця з підходящою орієнтацією, доступом до достатнього сонячного світла, достатньою площею для встановлення та перевіреною структурною цілісністю;
- виявлення потенційних небезпек на місці;

– складання плану майбутнього будівельного майданчика з розташуванням існуючих будівель та обладнання;

– вимірювання сонячного випромінювання та середньої температури, щоб визначити можливу продуктивність системи;

– кількісне визначення потреб будинку в електроенергії (вивчення рахунків за комунальні послуги, зняття показань лічильників, спілкування із власником).

Як то кажуть, попереджений — отже, озброєний. Установник сонячної енергії, який витрачає час на оцінку безпеки об'єкта, готується до будь-яких несподіванок. Докладний план робочого місця допомагає вирішувати проблеми ще до виникнення.

Все обладнання, необхідне для роботи, має бути підготовлене та оцінене. Це необхідно, щоб переконатися у його працездатному та функціональному стані, перш ніж переміститися на робочий майданчик.

Сходи та їх безпека

Найчастішим місцем встановлення сонячних батарей є дах. У зв'язку з цим сходи є обов'язковою вимогою доступу до сайту. Інсталлятор повинен вибрати найкращі моделі для своєї роботи. Основні правила безпеки при цьому такі:

– Достатня довжина.

Сходи повинні виступати не менше ніж на 90 см над сходинкою, на якій стоїть робітник. Ця вимога відноситься до ступінчастих, прямих або розсувних сходів. Інсталлятор повинен визначити це під час візиту для оцінки об'єкта.

– Вибір розташування.

Розміщення сходів допускається тільки на сухій стійкій основі. Вона не повинна блокувати прорізи дверей, проходи або лінії електропередач.

– Вибір потрібних матеріалів.

В даний час найчастіше використовуються сходи з алюмінію чи металу. Однак вони можуть бути небезпечними при роботі на енергетичних об'єктах та

поруч із лініями електропередач. Тому доцільно використовувати сходи з непровідних матеріалів.

Рекомендації щодо поводження з сонячними панелями

Сонячні панелі та батареї можуть бути дуже незручними та важкими для підйому. Коли робітники завантажують та встановлюють панелі з вантажівок на будмайданчик, можливі різні травми – вивихи, розтяг м'язів і навіть переломи.

Слід враховувати і той факт, що як тільки панелі одержують доступ до сонячного світла, вони можуть нагріватися, викликаючи опіки. З цих причин слід дотримуватися таких правил безпеки при користуванні панелями:

– будь-які операції з панелями повинні виконуватися як мінімум удвох, щоб уникнути будь-яких травм або пошкоджень;

– уникайте підйому сходами при перенесенні сонячних батарей - найкращим варіантом стане використання крана, підйомника або системи лебідок;

– обертайте сонячні панелі непрозорим папером, щоб запобігти накопиченню тепла, щоб уникнути опіків при їх нагріванні;

– використовуйте відповідне екіпірування – захисні каски, рукавички, нековзна спецвзуття.

Також рекомендується використовувати перед встановленням сонцезахисні креми для запобігання сонячним опікам шкіри.

Падіння з висоти

Коли йдеться про дах, не можна забувати про можливість падіння з висоти. Ви можете впасти не тільки з даху, а й зі сходів, а також у будь-якому іншому місці на майданчику. Роботи на висоті можуть бути надзвичайно небезпечними через обмежений простір під час встановлення сонячних панелей.

Щоб уникнути нещасних випадків, слід заздалегідь вивчити майбутнє місце роботи. Необхідно видалити будь-які перешкоди з даху і закласти на час будь-які отвори на самій покрівлі або на робочому майданчику на рівні землі.

При роботі на висоті понад півтора метра потрібна наявність огорож по краях. Співробітники повинні використовувати страхові ремені безпеки та натягувати захисні сітки по периметру робочого майданчика.

Електрична безпека

Сонячні електричні системи постачаються з різними компонентами. Коли ці компоненти знаходяться під напругою, вироблення енергії сонячного світла може призвести до ураження електричним струмом, опіків та інших травм.

В якості запобіжного заходу робітники повинні використовувати непрозорі матеріали, щоб закрити панелі після їх розпакування. Важливо дотримуватися запобіжних заходів при підключенні фотоелектричних сонячних батарей (знеструмити об'єкт, перевірити відсутність напруги, не працювати з системою під навантаженням).

Інструкції з безпеки використання сонячної енергії захищають установників від травм або іншого небезпечного впливу. Дотримання відповідних стандартів та правил техніки безпеки, а також керівництво виробника гарантує безпеку працівників.

ВИСНОВКИ

1. Найбільшого поширення у фотоелектричних установках набули кремнієві елементи трьох видів на основі монокристалічного (ККД до 21,5%), полікристалічного (ККД 14-17%) та аморфного кремнію (ККД 5-8%). Відмінність між цими видами полягає в тому, як організовані атоми кремнію в кристалі.

2. На даний час голландська компанія Triple Solar представила нову серію сонячних тепло-електричних модулів (PV-T). Пристрої цього типу, які також називаються гібридними, поєднують функції фотопанелей та сонячних колекторів. Тобто вони не тільки генерують електрику, а й збирають тепло, яке зазвичай за допомогою теплових насосів передається до системи опалення чи гарячого водопостачання будинку.

3. Тепло-фотоелектричні панелі суттєво відрізняються від стандартних фотомодулів. Вони не мають ізоляції на зворотному боці, що дозволяє їм витягувати тепло з навколишнього середовища навіть у холодну пору року та у темну пору доби. Можуть використовуватися для роботи як у приватних, так і в комунальних домогосподарствах спільно з насосами, що працюють на розчинах з низькою температурою теплоносія.

4. За літературними даними, для безперебійної роботи котла потужністю 6 кВт буде потрібна конструкція, що складається з кількох тепло-фотоелектричних панелей площею не менше 16 кв. м. Вони об'єднуються з опалювальною системою спеціальними гнучкими роз'ємами (також надаються виробником) та виставляються на даху аналогічно стандартним фотомодулям – на південній стороні з кутом нахилу 30-45 градусів. Розміри панелей аналогічні параметрам монокристалічних фотоелектричних модулів виробництва компанії Bisol (Словенія) та представлені у двох різновидах: потужністю 380 Вт та 315 Вт.

5. Фотоелектричний модуль дозволяє виробити тільки 14 - 19% від всієї сонячної енергії, що приходить на нього. Решта енергії розсіюється в

навколишній модуль простір у вигляді теплоти [12]. Для підвищення ефективності використання енергії, що приходить на модуль, групують фотоелектричну панель (частіше кілька панелей) і сонячний колектор. Таким чином, виходить установка, яка називається ФЕТМ. ФЕТМ здійснює перетворення енергії, яка падає на поверхню модуля за допомогою сонячних променів, в електричну та теплову енергії.

6. Відповідно до проведеного дослідження, можна зробити висновок, що в даний час фотоелектричні модулі, призначені для виробництва електричної та теплової енергії, дуже популярні у всьому світі. Це пов'язано з доступністю сонячної енергії, безвідходністю виробництва енергії, що виробляється, порівняно низькими витратами на обладнання.

7. Зниження теплових втрат через корпус абсорбера рекомендується виконувати із застосуванням теплоізоляції, доцільно використання новий вид з урахуванням сферопластиків.

8. Незважаючи на великі відмінності в теплопровідності сталі та полівінілхлориду, тепловий потік практично дорівнює один одному при нанесенні на ці матеріали сферопластику завтовшки 1,0 мм. Отже, при неможливості застосування сталі для корпусу абсорбера через її високу теплопровідність, вона стає практично ідентичною ПВХ за умови застосування теплоізоляції зі сферопластиків. Таким чином, сферопластику можна рекомендувати для застосування як теплоізоляцію фотоелектричних модулів.

9. Розраховано економічну ефективність його впровадження. Було встановлено, що при використанні такої системи відбувається економія коштів, а «чистий» дохід приноситься менш ніж через 5 років, що говорить про доцільність використання цих технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лукутін Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Є.Б. Відновальна енергетика в децентралізованому електропостачанні. – К.: Вища школа, 2008. – 231 с.
2. Germany's electricity generation mix 2015. STROM-Report Renewable energy Germany, 2015. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://stromreport.de/renewable-energy/>
3. Міст Р.В, Губін В.Є., Матвєєв А.С. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Навчальний посібник. - Томськ: Вид-во Томського політеху. ун-ту, 2009. – 294 с.
4. Atmospheric Science Data Center. NASA Surface meteorology and Solar Energy, 2016. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?>
5. Попель О.С., Фрід С.Є., Коломієць Ю.Г. та ін Атлас ресурсів сонячної енергії на території Росії. – М.: Вид-во МФТІ, 2010. – 83 с.
6. Research cell record efficiency chart. The National Center for Photovoltaics (NCPV) у National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2015. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.nrel.gov/ncpv/>
7. Основи поновлюваної енергетики. Компанія «Ваш Сонячний Дім», 2016. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.solarhome.ru/ru/basics/pv/>
8. Ali Sayigh. Досконалий відновлювальний проект. Volume One. Photovoltaic Solar Energy // Elsevier Ltd – 2012. – Р. 746. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com.focus.lib.kth.se/>
9. Levent Bas. Thin film vs. crystalline silicon PV modules. Article, 2010. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.civicsolar.com/resource/thin-film-vs-crystalline-silicon-pv-modules>
10. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – М.: Енергосервіс, 2003. – 162 с.

11. Андрєєв В. М. Концентраторний сонячний фотоелектричний модуль. UA 2578735. С1.

12. Майоров В.А., Сагінов Л.Д., Трушевський С.М. Теплові характеристики модуля із параболоциліндричним концентратором сонячного випромінювання. Альтернативна енергетика та екологія (ISJAEE). 2016; (19-20): 12-20.

13. Андрєєв В.М., Гриліхес В.А., Рум'янцев В.Д. Фотоелектричне перетворення концентрованого сонячного випромінювання. Л.: Наука, 1989.

14. Алфьоров Ж.І., Андрєєв В.М., Румянцев В.Д.// Високоєфективна недорога фотопастка. 2008. Видання 140. Р. 101-141.

15. Колосов В. А., Парфьонов А. В., Мухтарулін В. С., Іванов А. В., Худиш А. І. Перспективні застосування сонячної електростанції для безперебійного електроживлення інформаційних систем. Запитання радіоелектроніки. 2013, том 2, стор 147-155.

16. Стребков Д. С., Безрукий П. П. Відновлювана енергія: стратегія, ресурси, технології) Москва, 2005. 264 с.

17. Gill F., Mjurrej U., Rajt M. Practical optimization. 1985.

18. Лесін Ст Ст, Лисовець Цзю. Основи методів оптимізації. Москва. МЕЙ. 1995. 344 с.

19. Ізмайлов А. Ф., Солодов М. В. Методи числової оптимізації. Москва, 2005. 304 с.

20. Растригін Л. А. Випадковий пошук в оптимізації проблеми багатопараметрових систем. Рига, Зінатне, 1965.

21. Сушин В. В., Фам В. Т. Математична модель конструкції фотоелектричної панелі з охолодженням. Вісник Рязанського державного радіотехнічного університету. 2017 № 61, стор 119-123.

22. Фам В. Т., Сушин В. В. Дослідження теплового режиму фотоелектричного модуля з охолодженням радіатором шхеля. Вісник РДУ. 2018 № 66, стор 124-129. 24.

23. Джума А. Джа. Аналіз впливу температури на робочий режим фотоелектричної сонячної станції. Технічні науки – від теорії до практики. Новосибірськ.2015, видання 5 (42).

24. Chow, TT (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology Applied Energy, 87, 365–369.

25. Global market for residential and commercial solar thermal technologies // BCC Research LLC. – Available at: <http://www.bccresearch.com/pressroom/report/code/EGY069A>.

26. PVT Roadmap – European Guide for the development and market introduction of PV-thermal technology; 2006, PVT forum. – Available at: <http://www.pvtforum.org/index.html>.

27. Нікітін Б. А. Сонячна водогрійна установка // Сільський механізатор. - 2006. - № 8. - С. 36.

28. Zondag HA, Vries DW, Van Hendel, WGJ, Van Zolingen, RJC, Van Steenhoven, A.A. - 2002. - 72 (2). – P. 113–128.

29. Zondag HA, Vries DW, Van Hendel, WGJ, Van Zolingen, RJC, Van Steenhoven, A.A. // Solar Energy. - 2003. - 74 (3). - P. 253-269.

30. Fraisse G., Ménézo C., Johannes K. Fraisse G., Menezzo C., Johannes K. Energy performance of water hybrid PV/T collectors застосовано до комбінованих систем Direct Solar Floor type // Solar Energy. - 2007. - 81 (11). - P. 1426-1438.

31. Multi Solar System (PVT) // Millennium Electric. – Available at:<http://www.millenniumsolar.com/default.asp?catid=>.

32. PV Thermal (PVT) Module // Helios Photovoltaic. – Available at:<http://www.helios-pv.com/en/products/pv-thermal>.

33. Photo-Thermal and Photovoltaic Composite Module // Zhuhai Singyes Green Building Technology Co., Ltd. – Available at:http://ua.made-inchina.com/co_sye750/product_Photo-Thermal-and-Photovoltaic-Composite-ModuleAnjia01-_hesogyeyiy.html.

34. PV-T Hybrid Collectors // Solimpeks Solar Energy Corp. – Available at:<http://www.solimpeks.com/pv-t-hybrid-collectors>.

35. Hybrid photo-thermal collector SUNSYSTEM PVT 240 // SUNSYSTEM. – Available at:<http://www.sunsystem.bg/en/fotovoltaika/PV-T/>.

36. Нікітін Б. А. Оцінка розподілу енергії сонячної радіації, що приходить на вироблення електрики та тепла в когенераційному фотоелектричному модулі / Б. А. Нікітін, П. В. Тихонов, В. В. Харченко // Праці 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 18–19 травня 2010 року. Ч. 4. Відновлювані джерела енергії. Місцеві енергоресурси Екологія. – М.: ДНУ ВІЕСХ, 2010. – С. 159–164.

37. Тихонов П. В. Системи енергопостачання на основі когенераційних фотоелектричних та теплових модулів та теплових насосів / П. В. Тихонов, В. В. Харченко // Праці 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 18–19 травня 2010 року. Ч. 4. Відновлювані джерела енергії. Місцеві енергоресурси Екологія. – М.: ДНУ ВІЕСХ, 2014. – С. 275–279.

38. Ковальов А. А. Використання сонячних теплофотоелектричних модулів для енергопостачання біогазової установки з тепловим насосом / А. А. Ковальов, В. А. Панченко, В. В. Харченко // Інновації у сільському господарстві. - 2016. - № 5 (20). - С. 233-240.

39. Харченко В. В. Підвищення ефективності енергетичних установок на базі теплових фотоелектричних модулів / В. В. Харченко, Б. О. Нікітін, О. Т. Беленов // Науковий вісник НУБіП України. - 2014. - Вип. 194, ч. 3. - С. 45-51.

40. Chow TT Review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology // Applied Energy. - 2010. - Vol. 87. - P. 365-369.

41. Kharchenko V., Panchenko V., Tikhonov P., Vasant. P. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply // Handbook з Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. - IGI Global, 2018. - P. 86-120.

42. Zakharchenko R., Licea-Jime'nez L, Pe'rez-Garcia SA, Vorobeiv P., DehesaCarrasco U., Pe'rez-Robels JF et al. Photovoltaic solar panel для hybrid PV/thermal system. // Sol Energy Mater Sol Cells. - 2004. - № 82 (1-2). - P. 253-261.

43. Kharchenko V., Nikitin B., Tikhonov P., Gusarov V. Investigation of experimental flat PV thermal module parameters in natural conditions // Proceedings of 5th International Conference TAE 2013, Trends in Agricultural Engineering, 2–3 September, 2013, Прага, Czech Republic. - P. 309-313.

44. Харченко В. В. Вибір параметрів фотоелектричного теплового модуля / В. В. Харченко, Б. А. Нікітін, П. В. Тихонов // Збірник праць ІХ Міжнародної щорічної конференції «Відновлювана та мала енергетика 2012». – М.: Комітет із проблем застосування відновлюваних джерел енергії. - С. 292-297.

44. Buonomano A., Calise F., Vicidomini M. Design, Simulation and Experimental Investigation of Solar System Based on PV Panels and PVT Collectors. Energies 2016, 9, 497.

45. Zondag HA Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. Renew. Sustain. Energy Rev. 2008, 12, 891-895.

46. Теплопостачання з використанням фотоелектричних модулів/В. В. Харченко, Б. А. Нікітін, П. В. Тихонов, А. Е. Макаров// Техніка в сільському господарстві. - 2013. - № 5. - С. 11.

47. Rawat P., Debbarma M., Mehrotra S., Sudhakar K. Design, розробка й розробка solar photovoltaic/thermal (PV/T) water collector system. International Journal of Science, Environment and Technology, Vol. 3, No 3, 2014, 1173-1183.

48. Hosseini R., Hosseini N., Khorasanizadeh H. An experimental study з комбінування photovoltaic system with heating system. World Renewable Energy Congress 2011-Sweden 8–13 May 2011, Linkoping, Sweden, Photovoltaic Technology, Proccedings. P. 2993-3000.

ДОДАТОК А
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУ (ПРЕЗЕНТАЦІЯ)