

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДЯНОГО
ОХОЛОДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Виконав студент VI курсу, групи ЕТмз-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Королевич М.-Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 72 сторінки, _ аркушів презентації, 19 ілюстрацій, 7 таблиць та 30 використаних першоджерел.

Об'єкт дослідження – процеси генерування електроенергії у сонячних фотоелектричних системах.

Предмет дослідження – фотоелектрична панель у сонячній системі електропостачання.

Метою кваліфікаційної роботи є: проаналізувати водяну та повітряну системи охолодження фотоелектричних панелей, порівняти їх та виявити найбільш енергоефективну і перспективну

У роботі розглянуто роботу фотоелектричних панелей з та без охолоджуючої системи. Встановлено, що наявність теплообмінника фотоелектричної установки з водяним охолодженням може значно змінити ефективність системи. За допомогою розробленої електронної таблиці було перевірено різні фізичні параметри системи, щоб побачити вплив на ефективність фотоелектричної системи. Результати розрахунків показали, що при збільшенні швидкості потоку теплоносія підвищується ефективність. Встановлено, що окрім властивостей теплообмінника, важливу роль у роботі системи відіграє температура води на вході, а також температура навколишнього середовища. Аналіз фотоелектричної системи для автономного будинку показав, що звичайна фотоелектрична система може забезпечити електроенергією звичайний будинок і задовольнити щоденну потребу.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ПАНЕЛЬ, ОХОЛОДЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ,

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	12
1.1 Загальна теорія фотоелементів	12
1.2 Будова сонячного елемента	13
1.3 Розташування фотоелектричної панелі відносно сонця	15
1.4 Теплообмін в фотоелектричних панелях	16
1.4.1 Шляхи здійснення теплообміну	16
1.4.2 Конвекція	17
1.4.3 Випромінювання	18
1.5 Стек-ефект у фотоелектричних панелях	18
1.6 Охолоджувальне середовище	19
1.7 Висновки до розділу	21
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Системи охолодження фотоелектричних панелей	22
2.1.1 Повітряне охолодження	22
2.1.2 Водяне охолодження	25
2.2 Аналіз роботи фотоелектричної панелі з повітряним охолодженням	26
2.3 Аналіз роботи фотоелектричної панелі з водяним охолодженням	30
2.4 Висновки до розділу	36
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	38
3.1 Ефективність роботи панелі з водяним охолодженням	38
3.2 Кількісна оцінка ефективності роботи фотоелектричного модуля	43
3.3 Розрахунок фотоелектричної системи для автономного будинку	49
3.3.1 Аналіз варіантів систем	49

3.3.2 Аналіз електроспоживання будинку. Розрахунок фотоелектричної системи	52
3.4 Фотоелектрична система для виробленням електроенергії та тепла	57
3.5 Висновки до розділу	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
4.1 Інструктажі з охорони праці	59
4.2 Фізичні основи електробезпеки.....	61
4.3 Концепція захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного походження	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68
ДОДАТКИ	73

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

A – площа м^2 ;

D – довжина трубопроводу, м;

B – ширина трубопроводу, м;

C – питома теплоємність, $\text{Дж/кг}^\circ\text{C}$;

E – електрична енергія, вироблена сонячним елементом, Вт;

G – сонячне випромінювання, Вт/м^2 ;

h – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт/м}^2\text{C}$;

L – довжина колектора, м;

m – масова витрата кг/год м^2 ;

N – щільність комірок, на м;

p, q – коефіцієнти лінійних диференціальних рівнянь для температури рідини;

R – коефіцієнт відбиття;

T – температура;

U – коефіцієнт тепловтрат, $\text{Вт/м}^2\text{C}$;

C_p – теплоємність рідини;

E опромінення;

F – коефіцієнт корисної дії колектора;

F_f – коефіцієнт ребра;

F_R – коефіцієнт радіаційних втрат;

k – теплопровідність;

m – масоперенос;

q – теплота на одиницю довжини в напрямку руху рідини ;

q_f – теплота на одиницю довжини, що підводиться до трубки з боку ребра;

R_s – випромінювання від сонячного елемента;

S – частина інсоляції, корисна для абсорбера;

T – температура рідини ;

T_a – температура навколишнього середовища;

T_A – температура абсорбера;

T_{Af} – температура абсорбера на ребрах;

T_c – температура кришки;

T_i – температура рідини на вході;

T_L – температура рідини на виході;

T_s – температура сонячного елемента;

α – поглинальна здатність, частка поглинутої енергії;

ε – випромінювальна здатність ;

η – коефіцієнт корисної дії.

ВСТУП

Актуальність теми.

Сьогодні більша частина світової енергії виробляється з викопного палива. Масова експлуатація призводить до виснаження цих ресурсів і створює реальну загрозу навколишньому середовищу, що проявляється головним чином через глобальне потепління та підкислення кругообігу води. Розподіл викопного палива по всьому світу так само нерівномірний. Близький Схід володіє більш ніж половиною відомих запасів нафти. Цей факт призводить до економічної нестабільності в усьому світі, яка впливає на всю геополітичну систему.

Нинішню систему в тому вигляді, в якому вона є, не можна підтримувати більше двох поколінь. Неможливо заперечити її вплив на навколишнє середовище, а також на людей. По-перше, це парниковий ефект. Цей ефект полягає в здатності атмосфери утримувати тепло. Якщо дивитися з космосу, Земля випромінює енергію з довжинами хвиль, характерними для тіла при -18°C . Однак середня температура на поверхні приблизно на 33°C вища через наявність газів, які відносно прозорі для сонячного випромінювання, але непрозорі для інфрачервоного випромінювання, яке випромінює земля. Ці гази ефективно затримують тепло між поверхнею та середньою атмосферою. Вуглекислий газ CO_2 є особливо важливим у цьому відношенні. Спалювання викопного палива, зокрема вугілля, неминуче призводить до викидів в атмосферу CO_2 .

Тут слід сказати, що подвоєння CO_2 концентрація (очікувана до 2035-2055 рр.) призведе до середнього підвищення температури на $3-5^{\circ}\text{C}$. Це дорівнює підйому між найхолоднішим періодом останнього льодовикового періоду, 18 000 років тому, і сьогоденням. Таке нагрівання матиме катастрофічні наслідки для людства. Основні частини полярних льодових шапок розтануть, а рівень моря підвищиться, охопивши великі території землі. Багато екосистем будуть знищені, не зможуть адаптуватися до змін.

Крім того, спалювання викопного палива відповідає за виробництво азотної та сірчаної кислот. Ці елементи створюють явище, яке називається кислотним дощем. Це завдає шкоди рослинам і сприяє глобальному забрудненню. Крім того, після потрапляння в морську воду дуже важко видалити.

Також, існує небезпека, пов'язана зі збільшенням споживання енергії з країн третього світу. Очікується, що ці країни спробують підвищити свій рівень життя, який знаходиться на мінімальному рівні протягом десятиліть. Це призведе до збільшення виснаження обмежених запасів, створюючи ще більш серйозну екологічну проблему. Ці країни навіть сьогодні не можуть дозволити собі витрати на захист навколишнього середовища. Відповідно вони збільшать швидкість згоряння нафти та вугілля, прискорять вирубку лісів або звернуться до ядерної енергії.

Враховуючи вищесказане, а також той факт, що нафта швидко закінчується, слід прийняти альтернативи. Відновлювана енергетика є однією з найперспективніших альтернатив вищевказаним проблемам. Зокрема, фотоелектричні панелі можуть стати хорошим джерелом виробництва чистої електроенергії. Фотоелектричний ефект був вперше відкритий фізиком Едмундом Беккерелем у 1839 році. Незважаючи на це, ця технологія вважається зовсім новою. Першу комірку, яку можна вважати фотоелектричною, було побудовано в 1941 році з ККД 1%.

Сучасна фотоелектрична технологія була добре розроблена з 1941 року. Фотоелектричні панелі використовуються як основне джерело електроенергії в космічних місіях і супутниках. Вартість виробництва електроенергії для домашнього використання різко впала, а фотоелектричні панелі стають все більш економічно вигідними. Були розроблені нові матеріали, а нові технології створили фотоелектричні панелі з ККД у багатьох випадках 23%.

Одним із відносно нових типів фотоелектричних панелей є гібридні фотоелектричні панелі. Цей тип панелей перетворює сонячне випромінювання на електрику, одночасно генеруючи тепло системі для інших цілей. Це можна

зробити за допомогою повітря або рідини. Охолоджувальне середовище не тільки проводить тепло, але й охолоджує панель, роблячи її більш ефективною. Найпоширенішим робочим тілом в такій системі є вода.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: проаналізувати водяну та повітряну системи охолодження фотоелектричних панелей, порівняти їх та виявити найбільш енергоефективну і перспективну.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Становити чи впливає підвищення робочої температури фотоелектричної панелі на її ефективність.
2. Визначити вплив теплообмінника фотоелектричної установки з водяним охолодженням на її ефективність.
3. Встановити вплив температури води на вході, а також температури навколишнього середовища на ефективність фотоелектричної панелі.
4. Провести розрахунок фотоелектричної системи для автономного будинку.

Об'єкт дослідження – процеси генерування електроенергії у сонячних фотоелектричних системах.

Предмет дослідження – фотоелектрична панель у сонячній системі електропостачання.

Наукова новизна отриманих результатів.

Отримано залежності потужності фотоелектричної системи від температури фотоелектричних модулів, які підкреслюють ефективність застосування водяного охолодження.

Практичне значення отриманих результатів.

Встановлено, що фотоелектрична установка з водяним охолодженням має хороший потенціал у забезпеченні електроенергією, а також теплою водою для попереднього нагріву в системі ГВП. Доведено, що вода як теплоносій відбирає тепло ефективніше, ніж повітря.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих

учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року. ТНТУ [1]

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (30 найменувань) та додатків.

Загальний обсяг текстової частини – 72 сторінки, 7 таблиць, 19 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна теорія фотоелементів

Перетворення енергії електромагнітного випромінювання в електричну енергію є фізичним явищем, відомим як фотоелектричний ефект [2,3]. Сонячні батареї, без сумніву, є найважливішим типом пристрою для здійснення такого перетворення. Коли сонячне світло падає на напівпровідникові матеріали (наприклад, кремній), фотони, що утворюють сонячне світло, можуть передавати свою енергію валентним електронам.

Кремній є представником кристалічної структури алмазу. Кожен атом ковалентно зв'язаний з кожним із чотирьох найближчих сусідів. Тобто кожен атом кремнію ділиться своїми чотирма валентними електронами з чотирма сусідніми атомами, утворюючи чотири ковалентні зв'язки. Кремній має атомний номер 14, а конфігурація його 14 електронів $1s^2s^2p^6s^3p^2$. Основні електрони, $1s^2$, $2s^2$ і $2p^6$, дуже міцно зв'язані з ядром і за реальних температур не роблять внеску в електропровідність. При абсолютному нулі, коли N атомів кремнію об'єднуються, щоб утворити тверду речовину, утворюються дві чіткі енергетичні смуги – нижня, «валентна» смуга, і верхня, «зона провідності». Валентна зона має $4N$ доступних енергетичних стани і $4N$ валентних електронів і тому заповнена. І навпаки, зона провідності абсолютно порожня при абсолютному нулі. Таким чином, напівпровідник є ідеальним ізолятором при абсолютному нулі.

Коли температура твердого тіла підвищується вище абсолютного нуля, енергія передається валентним електронам, що робить статистично ймовірним те, що певна кількість електронів підвищить свою енергію до такої міри, що вони зможуть вільно проводити електричний заряд у зону провідності. Ці електрони називаються власними носіями. Кількість енергії, необхідної для подолання валентної зони та зони провідності, називається забороненою зоною

або енергетичною зоною E_g , яка становить 1,12 eV при кімнатній температурі для кремнію.

Щоразу, коли фотон розриває зв'язок, електрон стає вільним для переміщення крізь ґратку. Відсутній електрон залишає за собою дірку, яка також може рухатися через решітку, коли електрони переміщуються навколо неї. Рух електрона і дірок у протилежних напрямках породжує електричний струм у напівпровіднику. Струм може проходити через зовнішнє коло, дозволяючи енергії, поглиненій з світла, розсіюватися якимось корисним способом. Щоб відокремити електрони від дірок і запобігти перетворенню зв'язків, використовується електричне поле. Воно створює силу, що рухає електрони та дірки в протилежних напрямках. У результаті виникає струм у напрямку цього поля.

Основні характеристики, які відрізняють фотоелектричну енергію від інших відновлюваних джерел енергії:

- Пряме виробництво електроенергії, навіть у дуже малому масштабі в кілька Вт або мВт;
- Вони зручні у використанні;
- Їх можна встановлювати в центрі міст, не порушуючи естетично довкілля;
- Їх можна комбінувати з іншими джерелами енергії (гібридні системи);
- Вони можуть бути використані для задоволення окремих вимог;
- При їх роботі спостерігається мінімальний рівень шуму і відсутність викидів;
- Термін їх експлуатації може бути великим при мінімальному обслуговуванні;
- Вони потребують великих інвестиційних витрат.

1.2 Будова сонячного елементу

У звичайних сонячних елементах електричне поле створюється на стику

між двома областями кристалічного напівпровідника, що мають різні типи провідності (рис. 1.1). Якщо напівпровідником є кремній, одна з цих областей (n-тип) легована фосфором, який має п'ять валентних електронів (на один більше, ніж кремній). Ця область (p-тип) легована бором, що має три валентні електрони (на один менше, ніж у кремнії). Тут концентрація дірок більша. Велика різниця в концентраціях від однієї області до іншої викликає постійне електричне поле, спрямоване від області n-типу до області p-типу. Це поле, відповідальне за відокремлення додаткових електронів і дірок, які утворюються, коли світло світить на комірку.

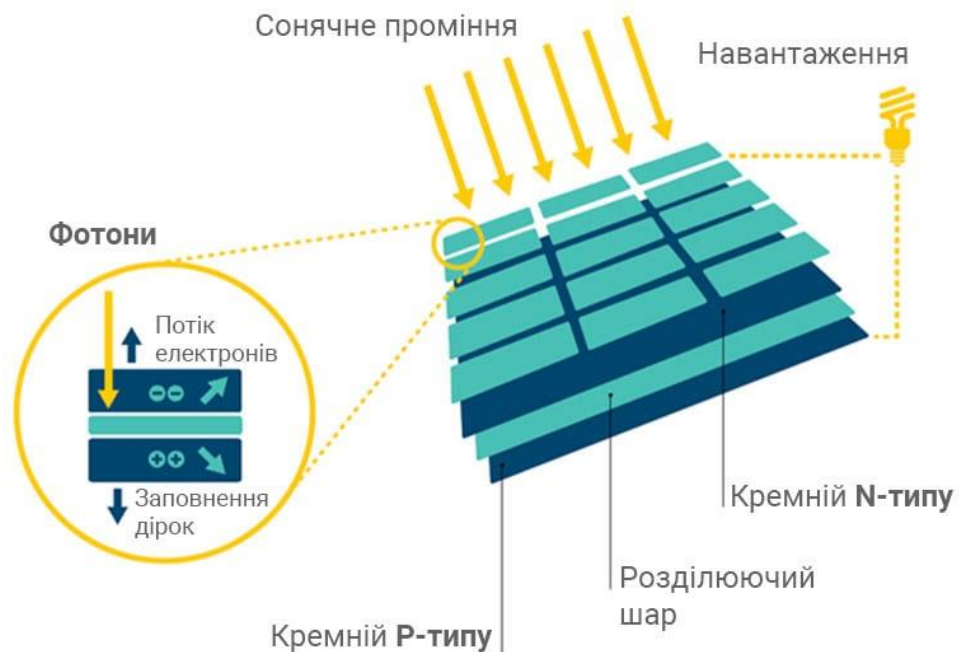


Рисунок 1.1 – Будова сонячного елемента

Майже всі доступні на даний момент комірки мають р-п перехід цього типу. У кремнієвих комірках (найпоширеніший тип комірок) з'єднання отримують шляхом дифузії шару фосфору в кремнієву пластину, попередньо леговану бором. З'єднання дуже неглибоке, зазвичай лише приблизно від 0,2 до 0,5 μm глибиною. Цей шар називається емітером. Електричний контакт з освітленою стороною комірки (стороною, де відбувається дифузія) повинен залишати більшу частину поверхні непокритою, інакше світло не зможе проникнути в комірку. Однак електричний опір контакту не повинен бути

занадто високим. Крім того, електричний контакт на темній стороні комірки покриває всю її поверхню.

Процеси, що відбуваються всередині комірки, можна описати так:

- Фотони, які досягають внутрішньої частини комірки та мають енергію, що дорівнює або перевищує ширину забороненої зони, поглинаються в об'ємі напівпровідника, утворюючи електронно-діркові пари, які можуть функціонувати як носії струму.
- Електричне поле або різниця потенціалів, що створюється р-п переходом, відповідає за розділення носіїв, перш ніж вони отримають шанс рекомбінувати. Результатом є різниця потенціалів і струм у зовнішньому колі, включаючи навантаження.
- Наявність різниці потенціалів викликає явища інжекції та рекомбінації електронно-діркових пар. У сонячних батареях це призводить до втрат. Розмір втрат залежить від цієї різниці потенціалів.

1.3 Розташування фотоелектричної панелі відносно сонця

Розташування фотоелектричної панелі дуже важливе для її ефективної роботи [4-7]. Для того, щоб PV виробляла максимальну кількість енергії, вона повинна перехоплювати максимально можливий потік. Це відбувається, коли панель перпендикулярна до сонячних променів.

На рисунку 1.2 показано положення сонця опівдні відносно фотоелектричної панелі, орієнтованої на південь і нахиленої під кутом широти. Максимальна варіація кута нахилу сонця в цьому випадку становить $\pm 23,5^\circ$. Причина, чому багато проєктантів обирають кут широти, полягає в тому, щоб отримати максимум енергії протягом усього року. Як показано на рис. 1.2, середнє положення кута сонця відносно площини панелі відбувається в два рівнодення. Оптимальний кут нахилу залежить від місця розташування, і для розрахунку цього кута потрібна комп'ютерна програма прогнозування сонячного випромінювання [8-15].

ОПТИМАЛЬНИЙ КУТ НАХИЛУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

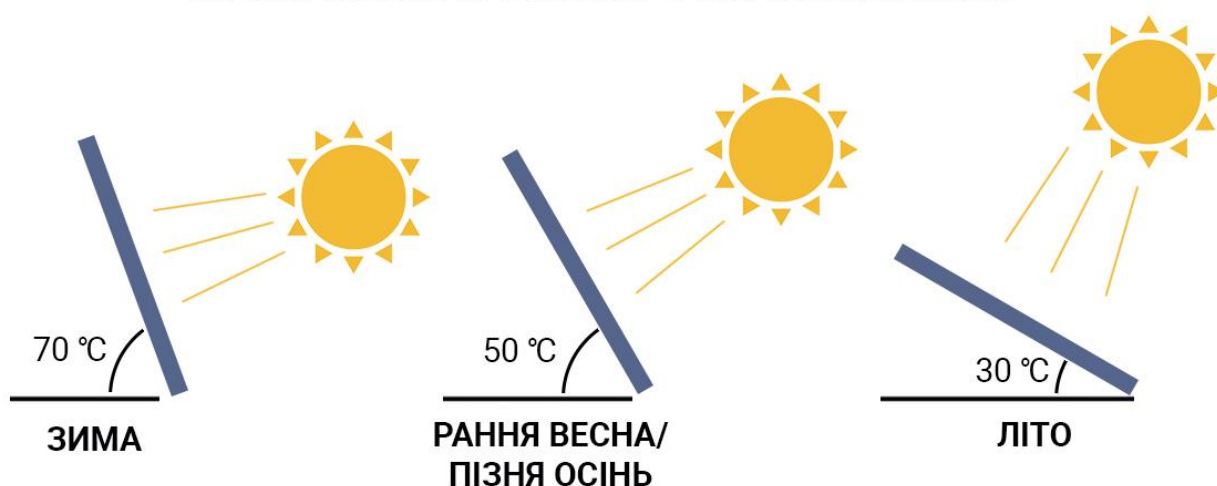


Рисунок 1.2 – Положення Сонця опівдні на фіксованій південній поверхні в різні пори року

Існує загальна домовленість, що для вищих широт оптимальний кут нахилу зазвичай становить $10\text{--}15^\circ$ нижче кута широти. Отже, загальне правило для кута нахилу фотоелектричних панелей полягає в тому, щоб вибрати кут від нуля до 15° нижче кута широти сайту.

1.4 Теплообмін в фотоелектричних панелях

Фотоелектричні панелі поглинають енергію і перетворюють її в електрику. Не вся ця енергія перетворюється на електроенергію, оскільки панелі не є ефективними на 100%. Більша частина цієї енергії перетворюється на тепло. Це тепло може передаватися шляхом провідності, конвекції та випромінювання.

1.4.1 Шляхи здійснення теплообміну

Теплопровідність [16]– це передача тепла від однієї частини речовини до іншої частини тієї самої речовини або формування однієї речовини в іншу при

фізичному контакті з нею. У випадку фотоелектричної панелі енергія поглинається кремнієвою коміркою, а тепло передається до задньої та передньої частини панелі через проміжні шари. Закон Фур'є для стаціонарних одновимірних додатків стверджує, що:

$$Q = -\lambda A \frac{dt}{dx}, \quad (1.1)$$

де Q – тепловий потік;

λ – це теплопровідність матеріалу;

A – площа перерізу під прямим кутом;

$\frac{dt}{dx}$ – зміна температури відносно довжини шляху теплового потоку.

Для однієї плоскої панелі товщиною L рівняння виглядає так:

$$Q = -\lambda A \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (1.2)$$

а для композитної плити, що складається з двох матеріалів:

$$Q = A \frac{T_2 - T_1}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2}} \quad (1.3)$$

Це рівняння, яке використовується у випадку фотоелектричних панелей. Крім того, після того, як тепло досягає поверхні, воно передається навколишньому середовищу за допомогою одночасно конвекції та випромінювання.

1.4.2 Конвекція

Конвекція [17] – це передача тепла всередині рідини шляхом змішування однієї частини рідини з іншою. Рух рідини може бути викликаний різницею в

густині, що є результатом різниці температур, як при природній конвекції (або вільній конвекції), або рух може бути створено механічними засобами, як при вимушеній конвекції.

Конвективний теплообмін описується кореляцією між певними безрозмірними параметрами. Такими параметрами є числа Нуссельта, Рейнольдса і Прандтля. Ці параметри використовуються для визначення значення h для кожного випадку:

$$Q = hA T_s - T_f . \quad (1.4)$$

Потім для розрахунку конвективного теплообміну використовується закон охолодження Ньютона.

1.4.3 Випромінювання

Випромінювання є засобом передачі тепла між віддаленими поверхнями. Енергія переноситься електромагнітними хвилями [18].

У цьому випадку використовується наведене нижче рівняння:

$$Q = \frac{\sigma A T_1^4 + T_2^4}{\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_2^{-1} - 1}, \quad (1.5)$$

де σ постійна Стефана-Больцмана;

A – площа поверхні;

$T_{1,2}$ – температури поверхні;

$\varepsilon_{1,2}$ – поверхневі коефіцієнти випромінювання

1.5 Стек-ефект у фотоелектричних панелях

Важливою частиною теорії фотоелектричних панелей є явище, яке називається стек-ефект. Це явище призводить до того, що повітря піднімається

вгору по каналу за рахунок плавучості тепла внутрішнього повітря відносно зовнішнього. Це дуже важливий параметр для визначення ефективності системи природної вентиляції.

Різниця тиску P визначається як:

$$P_s = \frac{gP_a}{R_a} \left[T_c^{-1} - T_h^{-1} \right] h_2 - h_1, \quad (1.6)$$

де P_a – атмосферний тиск;

R_a – постійна повітря;

$T_{h,c}$ – температури на висотах $h_{2,1}$;

g – прискорення сили тяжіння.

В ефекті стека швидкість потоку повітря визначається цією різницею тиску. Дивлячись на рівняння, якщо температура або висота збільшуються, швидкість потоку буде збільшена. Ця швидкість потоку визначається загальним рівнянням:

$$Q_a = c P_s^n, \quad (1.7)$$

де c, n константи

1.6 Охолоджувальне середовище

Охолоджуюча рідина [19], що проходить через трубки теплообмінника, повинна мати такі властивості:

- високий коефіцієнт теплопередачі для заданої швидкості рідини та заданого діаметра труб;
- висока теплоємність, щоб не створювати підвищений потік;
- мала в'язкість, щоб забезпечити невелику кількість енергії для її транспортування;
- він не повинен бути окислений, щоб уникнути появи іржі всередині труб;
- не токсичний;

- неерозійно-корозійний;
- тиск пари має бути якомога нижчим, щоб використовувати його при нижчому тиску;

- недорогий;

Види охолоджуючих речовин:

1) Вода

Теплофізичні властивості води роблять її хорошим охолоджувачем. Коефіцієнт теплопередачі між металом і рідиною дуже хороший і може бути покращений при кип'ятінні. Тим не менш, її використання в рідкому вигляді при високих температурах передбачає більш високий тиск. З цієї причини її не можна використовувати при температурах вище 320°C (150 бар). Іншим недоліком є те, що вона провокує окислення. Нарешті, у температурі замерзання це може спричинити пошкодження системи.

2) Масла

Існують різні типи масел, синтетичних або мінеральних, які можна використовувати як охолоджувачі. Ці продукти можуть охоплювати широку область температур, навіть більше 400°C. Їхня теплоємність не така висока, як води, але їх можна використовувати в умовах низького тиску. Їх в'язкість залежить від температури, і з цієї причини рідини, які використовуються при високих температурах, не можуть циркулювати при низьких температурах. Через те, що вони легкозаймисті, вони не повинні контактувати з повітрям.

3) Спеціальні рідини

Використання суміші солей здійснюється при більш високих температурах (500°C-600°C), оскільки нижче температури плавлення (140°C) для суміші NO_3K , NO_2Na , NO_3Na (53%, 40%, 7%) суміш твердне. Ртуть також можна використовувати в діапазоні температур від 360 до 540°C, але вона токсична і дуже дорога.

4) Гази

Їх можна використовувати при дуже високих температурах між 500°C-1000°C для дуття під тиском. Основним недоліком є те, що вони мають малу

теплоємність, а енергія, необхідна для їх циркуляції, велика. Тому потрібна спеціальна конструкція для всієї конфігурації.

1.7 Висновки до розділу

1. Отже, в даній роботі повинні бути представлені та обговорені два способи охолодження фотоелектричного модуля. Перший – моделювання в стаціонарному стані повітряного колектора PV/T, а другий – PV/T з водяним охолодженням. Будуть пояснені різні результати та обговорено основні подібності та відмінності. Нарешті, шляхом порівняння результатів, буде представлений найбільш ефективний спосіб охолодження панелей. Це порівняння отримано з огляду літератури.

2. Серед двох систем, розглянутих вище, робота більшою мірою повинна бути зосереджена на PV з водяним охолодженням, що є основною темою для обговорення та аналізу. Ця система забезпечує широкий спектр аналізу та моделювання. Його можна комбінувати таким чином, щоб забезпечити додаткове тепло в будинок, а також електроенергію. Він може працювати з вищою ефективністю та працювати як гібридна система. Крім того, аналіз проводиться для того, щоб побачити доцільність створення такої системи та фактори, які впливають на її ефективність і роботу. Наведені вище причини обґрунтовують обраний варіант.

2.1 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Системи охолодження фотоелектричних панелей

Охолодження фотоелектричних панелей використовується для зменшення негативного впливу зниження вихідної потужності фотоелектричних панелей при підвищенні їх робочої температури. Розробка відповідної системи охолодження компенсує зниження вихідної потужності і підвищує експлуатаційну надійність. У літературі можна знайти різні класифікації методів відведення тепла від фотоелектричних панелей. Залежно від робочого середовища розрізняють охолодження водою, повітрям або гібридне охолодження, що складається, наприклад, з фазозмінного матеріалу, теплових труб, мікроканалів, нанорідин або термоелектричних елементів, які в різних комбінаціях дають більшу або меншу ефективність. Щодо структури системи, модулі можна класифікувати як плоскі панелі, концентровані, інтегровані в будівлю (BIPV) та підключені до теплового насосу. Сучасні методи охолодження фотоелектричних модулів базуються на розщепленні променя (або спектральній смузі), що розрізняє довжину хвилі сонячного випромінювання, яка потрапляє на фотоелементи. Поділ методів охолодження фотоелектричних модулів залежно від використовуваного холодоагенту показано на рис. 2.1. Інший відомий поділ стосується способу розподілу холодоагенту незалежно від його типу, включаючи активне і пасивне охолодження.

2.1.1 Повітряне охолодження

Пасивне охолодження використовує природну конвекцію і теплопровідність без механічних компонентів для розсіювання або відведення тепла від фотоелектричних модулів. Принцип роботи заснований на перенесенні тепла від місця генерації в навколишнє середовище. Для того, щоб

збільшити поверхню теплопередачі фотоелектричних панелей, використовуються такі рішення, як труби або ребра з матеріалів з високою теплопровідністю. Загальний поділ пасивних систем охолодження складається з природного циркуляційного охолодження повітрям, водою або матеріалами з фазовими змінами. Це найпростіший спосіб охолодження фотоелектричних модулів, тому він дуже популярний. Цей метод підвищує енергоефективність і рентабельність системи при обмежених інвестиціях.

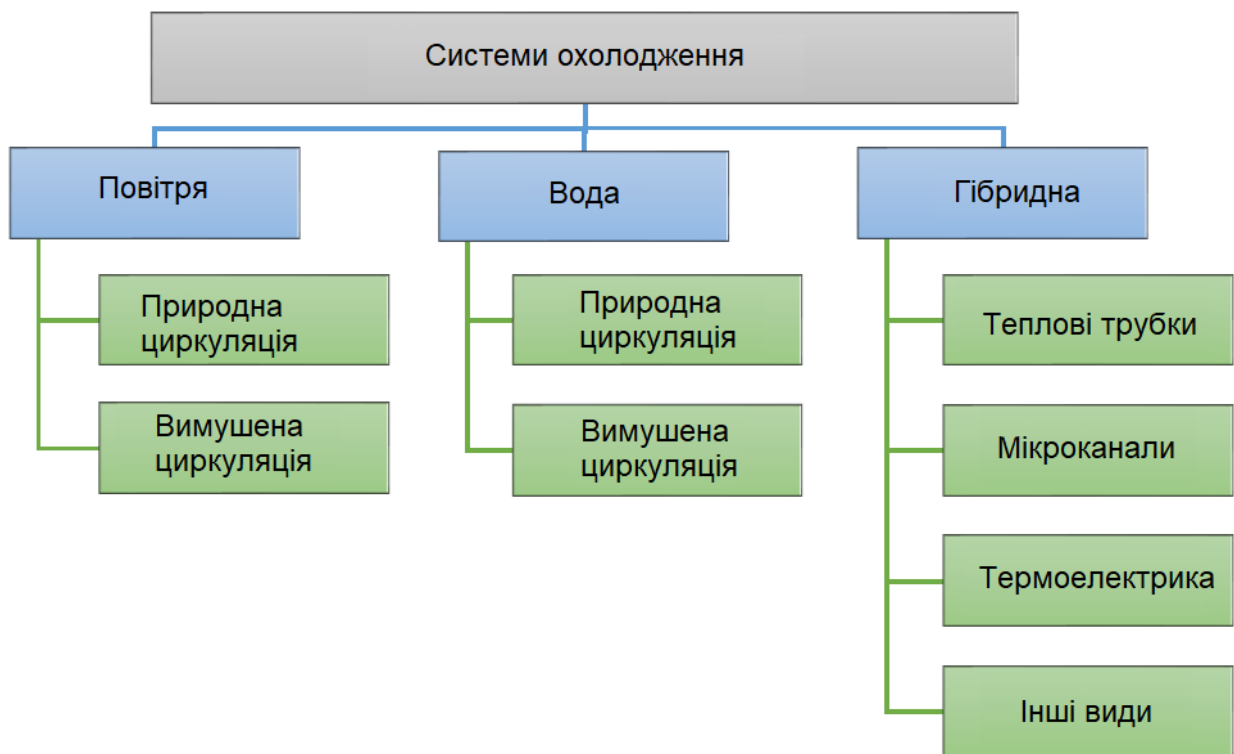


Рисунок 2.1 – Види систем охолодження фотоелектричних панелей

Пасивне охолодження повітрям є найдешевшим і найпростішим методом відведення надлишкового тепла від фотоелектричних панелей. У такому рішенні фотоелектричні модулі охолоджуються природним потоком повітря. Найпоширеніша конструкція включає ребра, тонкі алюмінієві листи або подібні елементи в нижній частині модуля, які відповідають за збільшення радіаційної

та конвективної поверхні теплопередачі повітряного каналу, викликаючи турбулентність і діючи як тепловідвідник. На рисунку 2.2 показано загальну схему роботи повітряного охолодження фотоелектричних панелей.

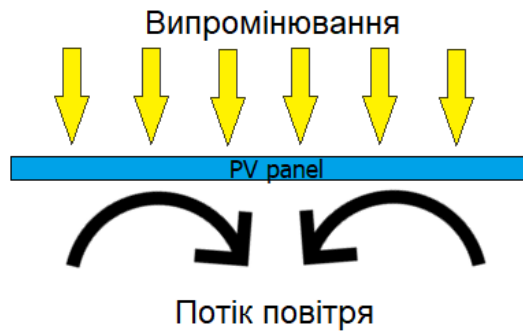


Рисунок 2.2 – Метод охолодження повітряним потоком

Пасивне охолодження з використанням радіаторів можна знайти в роботі [20]. У дослідженні використовувався радіатор у вигляді алюмінієвої пластини з перфорованими ребрами, прикріпленими до задньої сторони панелей. В аналізі вивчався вплив радіатора на теплопередачу між фотоелектричною панеллю і циркулюючим навколишнім повітрям. Тепловідвід представляв собою алюмінієву пластину з перфорованими ребрами, прикріплену до задньої сторони фотоелектричної панелі. Ребра панелі були перфоровані для покращення циркуляції повітря навколо них та більшого поглинання тепла від фотоелектричної панелі. Використання алюмінієвих радіаторів може стати потенційним рішенням для запобігання перегріву фотоелектричних панелей і може опосередковано призвести до скорочення викидів CO₂ через збільшення виробництва електроенергії з фотоелектричної системи. Результати показали значне зниження робочої температури фотоелектричного модуля і підвищення електричної ефективності. Зниження температури дозволило збільшити напругу та максимальну робочу точку на 10% та 18,67% відповідно. На рисунку 2.3 показана запропонована система охолодження.

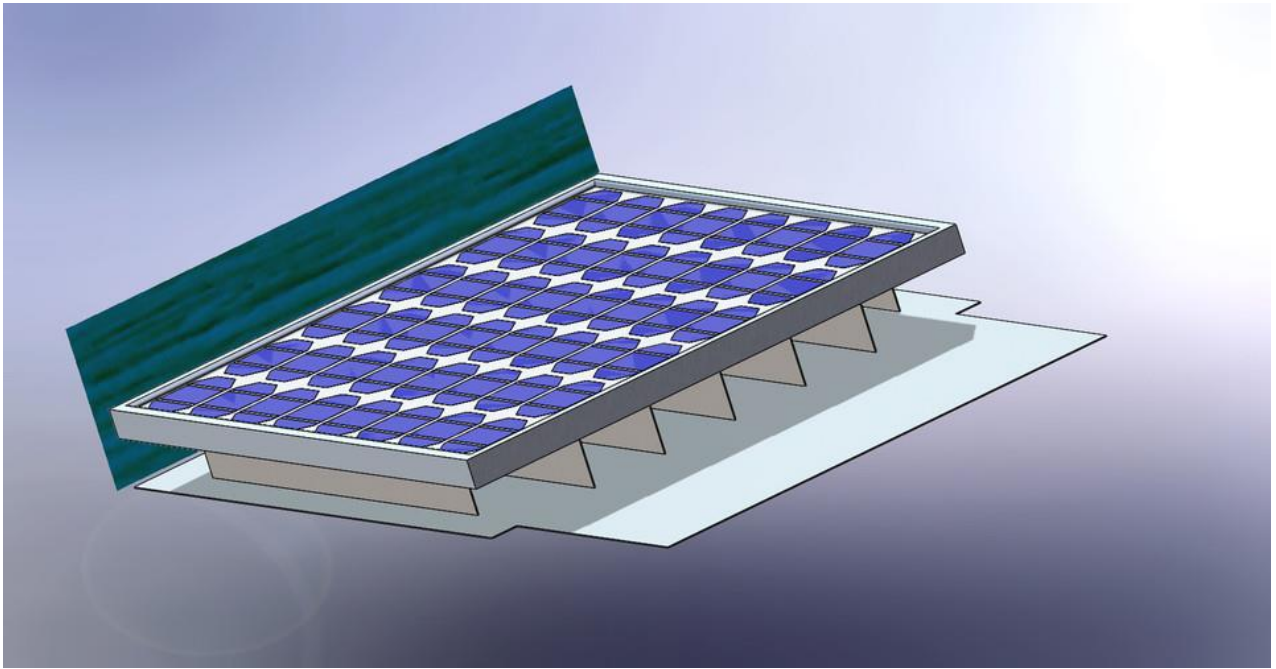


Рисунок 2.3 – Система охолодження з використанням радіаторів

2.1.2 Водяне охолодження

Вода є другим теплоносієм, що використовується для відведення надлишкового тепла фотоелектричних панелей. Рідинне охолодження фотоелектричних панелей є дуже ефективним методом і дає задовільні результати. Незалежно від розміру системи охолодження або температури води, цей метод охолодження завжди покращує електричну ефективність фотоелектричних модулів. Принцип роботи цього типу охолодження заснований на використанні води. Водяне охолодження включає в себе вільну конвекцію, розпилення води, теплові труби або методи занурення. Вода, що тече або розпилюється, відводить тепло від фотоелектричної панелі, знижуючи її температуру. Схематична система водяного охолодження показана на рисунку 2.4. Зібране тепло від фотоелектричних панелей можна використовувати різними способами. Найпростіше рішення – використовувати нагріте середовище для приготування гарячої води для побутових потреб [21].

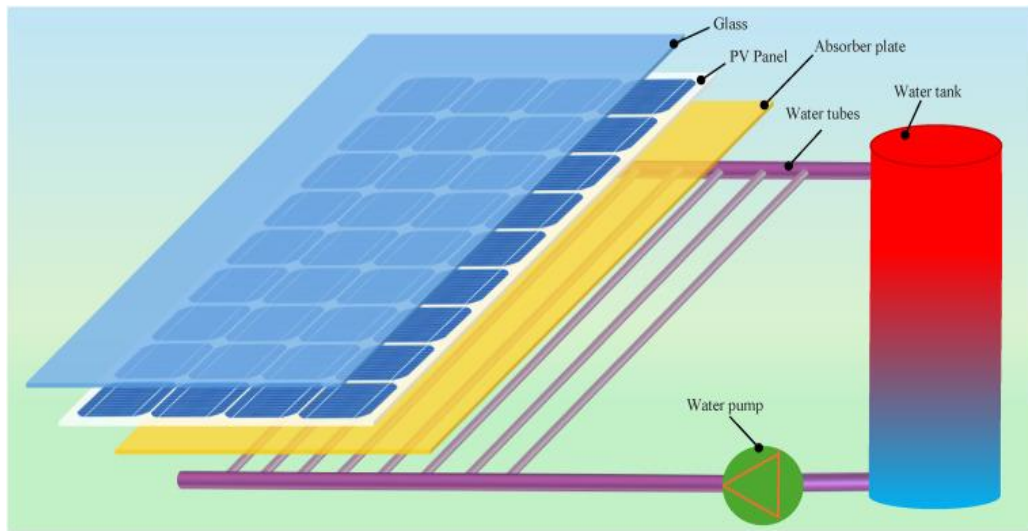


Рисунок 2.4 – Метод охолодження водяним потоком

2.2 Аналіз роботи фотоелектричної панелі з повітряним охолодженням

Одним із способів охолодження фотоелектричного блоку є використання повітря. Звичайно, у цьому конкретному випадку повітря використовується для поглинання тепла від пристрою та, отже, для його охолодження. Тепло, що поглинається повітрям, можна використовувати для забезпечення теплого повітря всередині будівлі.

На рис. 2.5 показано конфігурацію PV разом із пов'язаними потоками для системи повітряного опалення PV/T. Ця фотоелектрична система включає прозору кришку, металеву чорну поглинаючу поверхню та добре ізольовану задню пластину. Останній має зазор між поглиначем, щоб повітря могло проходити. У реальній моделі сонячні батареї наклеєні на пластині поглинача шириною 1 м на однаковій відстані вздовж поверхні.

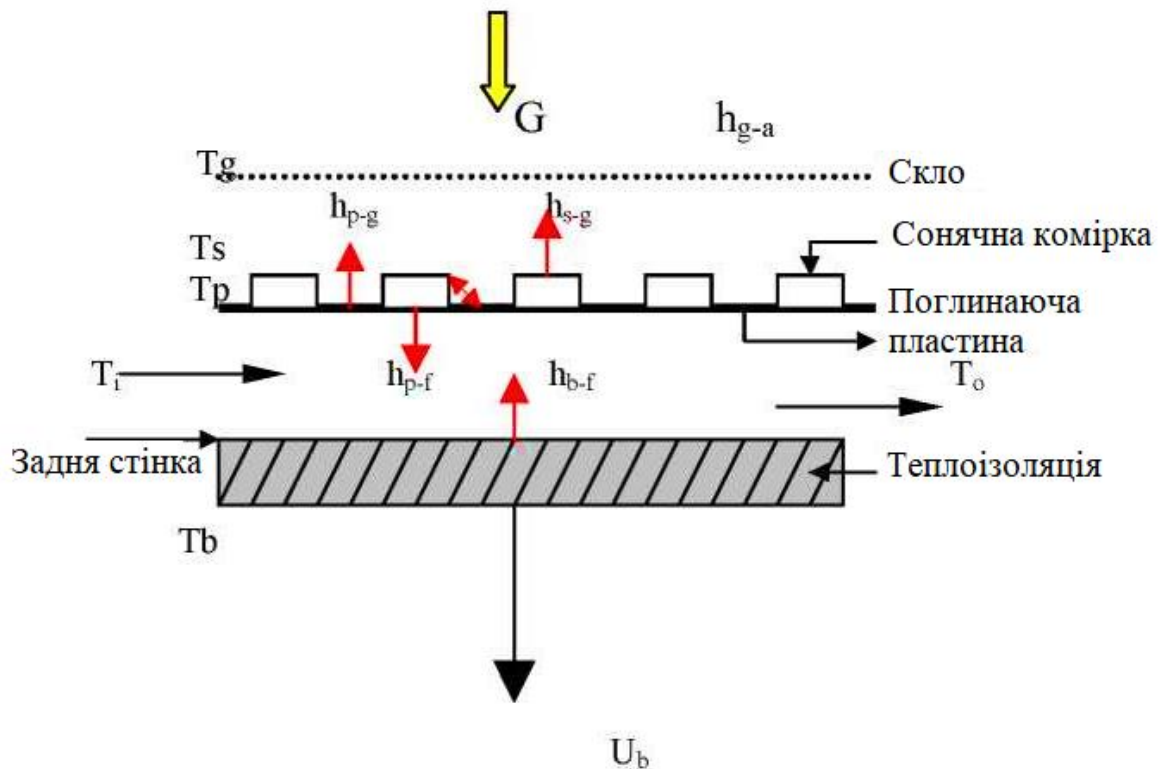


Рисунок 2.5 – Схема роботи традиційного повітряного колектора PV/Т разом із відповідним механізмом передачі енергії

До уваги беруться наступні припущення:

- Стационарна передача енергії;
- Температури різних компонентів змінюються лише вздовж напрямку потоку;
- Теплоємністю прозорого скла нехтують (дуже мала);
- Немає витіку повітря із системи;
- Бічні втрати незначні.

Теорія

Щоб обчислити тепло, що відводиться, а також коефіцієнти, ми повинні ввести такі формули:

для прозорої кришки:

$$a_1 G + h_{p-g} T_p - T_g + h_{s-g} T_s - T_g = h_{g-a} T_g - T_a \quad (2.1)$$

Для сонячної батареї:

$$a_2 G = h_{s-p} T_s - T_g + h_{s-g} T_s - T_g + E T_s \quad (2.2)$$

де

$$E T_s = 1 - a_1 a_s \eta_s A_R G \quad (2.3)$$

Для пластини поглиначи:

$$a_2 G + h_{s-p} T_s - T_p = h_{p-g} T_p - T_g + h_{p-b} T_p - T_b + h_{p-f} T_p - T_f \quad (2.4)$$

для задньої пластини:

$$h_{p-b} T_p - T_b = h_{b-f} T_b - T_f + U_b T_b - T_a \quad (2.5)$$

а для робочої рідини (якою є повітря):

$$\left(\frac{m C_f}{B} \right) \frac{dT_f}{dx} = h_{p-f} T_b - T_f + h_{b-f} T_b - T_a \quad (2.6)$$

Частка енергії, поглиненої різними компонентами системи, визначається як:

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 - R_g a_g \\ a_2 &= 1 - R_g (1 - a_g) a_s \\ a_3 &= 1 - R_g (1 - a_g) (1 - a_s) (1 - A_R) a_p \end{aligned} \quad (2.7)$$

де A_R – це відношення площі колектора до площі, покритої сонячними елементами.

Розв'язавши рівняння (2.1)-(2.4) для температури прозорої кришки, сонячної батареї, пластини поглиначи та задньої пластини та підставивши ці значення в рівняння (2.6), отримаємо наступне лінійне диференціальне рівняння:

$$\frac{dT_f}{dx} + p T_f = q \quad (2.8)$$

На цьому етапі ми повинні вирішити вищезазначене для температури рідини (повітря). Для цього використаємо початкову граничну умову:

$$T_f|_{x=0} = T_i \quad \text{при } x=0 \quad (2.9)$$

ми можемо отримати:

$$T_f \ x = \frac{q}{p} + \left(T_i - \frac{q}{p} \right) e^{-px} \quad (2.10)$$

Температуру рідини можна усереднити по довжині колектора та розрахувати як:

$$\bar{T}_f = 1/L \int T_f \ x \ dx \quad (2.11)$$

замінюючи маємо:

$$\bar{T}_f = 1/L \int T_f \ x = \frac{q}{p} + \left(T_i - \frac{q}{p} \right) e^{-px} \quad (2.12)$$

Розв'язуючи наведений вище інтеграл:

$$\bar{T} = \frac{q}{p} + \frac{1}{pL} \left(T_i - \frac{q}{p} \right) (1 - e^{-pL}) \quad (2.13)$$

Тепер застосовуємо граничну умову

$$T_f \ x = T_0 \quad \text{при } x = L \quad (2.14)$$

ми можемо розрахувати температуру на виході наступним чином:

$$T_0 = \frac{q}{p} + \left(T_i - \frac{q}{p} \right) e^{-pL} \quad (2.15)$$

Різні параметри продуктивності.

Тепловий ККД можна розрахувати за допомогою:

$$n_t = \frac{mC_f (T_0 - T_i)}{G} \quad (2.16)$$

тоді як ефективність сонячної батареї:

$$n_s = n_f [1 - \beta_r (T_s - T_r)] \quad (2.17)$$

$$\text{Де } \beta_r = \frac{T_s^* - T_r}{T_s} \quad (2.18)$$

Електрична ефективність:

$$n_e = n_s A_R (1 - R_{g1}) (1 - R_{g2}) (1 - a_{g1}) (1 - a_{g2}) \quad (2.19)$$

та ефективність системи:

$$n_T = n_t + n_e \quad (2.20)$$

2.3 Аналіз роботи фотоелектричної панелі з водяним охолодженням

Нами розроблена електронна таблиця для дослідження того як різні параметри впливають на загальну ефективність системи. Вся електронна таблиця базувалася на фотоелектричній панелі з водяним охолодженням, яка є найбільш перспективною.

Загальна конфігурація системи водяного охолодження відповідає конфігурації, представлений на рис. 2.6.

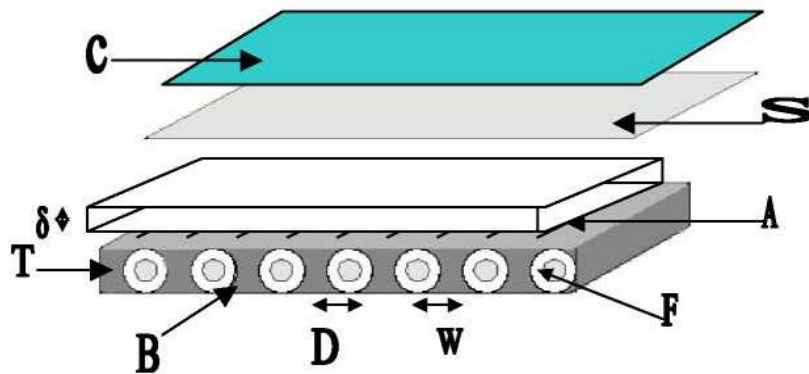


Рисунок 2.6 – Модель PV/W:

C – кришка системи;

S — сонячна панель;

A – поглинач;

δ – товщина абсорбера;

D – діаметр труби;

W – відстань двох труб;

F – рідина, що проходить через труби;

B — теплообмінник;

T – означає кожну трубку;

Між трубками теплообмінника знаходиться абсорбер товщиною δ . Крім того, PV з водяним охолодженням має кришку на верхній частині сонячної

батареї, щоб бути більш реалістичною. Кожна з перерахованих вище складових характеризується різними важливими параметрами. Це абсорбція $\alpha(\lambda)$, коефіцієнт випромінювання $\varepsilon(\lambda)$, відбивна здатність $\rho(\lambda)$ і пропускання $\tau(\lambda)$. Ці параметри, як правило, підпорядковуються $\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$ і $\alpha(\lambda) = \varepsilon(\lambda)$. Як описано в загальній теорії PV, енергія може обмінюватися шляхом провідності, конвекції та випромінювання. Кондуктивні та конвективні величини є лінійними щодо різниці температур. Вони характеризуються узагальненими провідностями U_{xy} між компонентами x і y . Наприклад, U_{SA} є провідністю між сонячним елементом і поглиначем, тоді як U_{AA} є сумою верхніх і нижніх втрат через провідність і конвекцію.

Збереження енергії в стаціонарному режимі для області над трубами дає [22]:

для рідини:

$$qD^{-1} + U_{Fa}(T - T_a) = U_{AF}(T_A - T); \quad (2.21)$$

для поглиначача:

$$\begin{aligned} U_{AF}(T_A - T) + U_{Aa}(T_A - T_a) + \varepsilon_A \bar{a}_A \sigma T_A^4 = .. \\ = U_{SA} T_S - T_A + \varepsilon_s \alpha_A R_S + \varepsilon_c \tau_s \alpha_A \sigma T_c^4 + \tau_c \tau_s \alpha_A E + q_f D^{-1} \end{aligned} \quad (2.22)$$

і для сонячної батареї:

$$\begin{aligned} P T_S + U_{SA} T_S - T_A + U_{SC} T_S - T_C + \varepsilon_s \bar{a}_S R_S = ... \\ = \tau_c a_S E + \varepsilon_C \alpha_S \sigma T_c^4 + \varepsilon_A \alpha_S \sigma T_A^4 \end{aligned} \quad (2.23)$$

де q – теплота на довжину в напрямку руху рідини;

D – діаметр однієї трубки;

s – стала Стефана-Больцмана;

$P(Ts)$ – це електрична потужність на одиницю площі, яку можна отримати від сонячної батареї, при загальному освітленні E ;

q_f – це тепло на довжину, що надходить до трубки від ребра;

R_s – випромінювання від сонячного елемента.

Наведені вище формули містять доданки у фігурних дужках. Ці члени являють собою геометричні ряди, що виникають внаслідок багаторазового

відбивання і пропускання. У формулах нижче наведено найважливіші з них.

$$\varepsilon_A \bar{\alpha}_A = \varepsilon_A \left(1 - \frac{\alpha_A \rho_s}{1 - \rho_s \rho_c} \frac{1 - \rho_s \rho_c + \tau_s^2 \rho_c}{1 - \rho_s \rho_A - \tau_s^2 \rho_A \rho_c} \right) \quad (2.24)$$

$$\varepsilon_A \alpha_s = \varepsilon_A \alpha_s \left(\frac{1 - \rho_s \rho_c + \tau_s \rho_c}{1 - \rho_s \rho_c} \frac{1 - \rho_s \rho_A - \tau_s^2 \rho_A \rho_c}{1 - \rho_s \rho_A - \tau_s^2 \rho_A \rho_c} \right) \quad (2.25)$$

$$\tau_c \tau_s a_A = \tau_c \tau_s a_A \left(\frac{1}{1 - \rho_s \rho_c} \frac{1 - \rho_s \rho_A - \tau_s^2 \rho_A \rho_c}{1 - \rho_s \rho_A - \tau_s^2 \rho_A \rho_c} \right) \quad (2.26)$$

$$\tau_c a_s = \tau_c a_s \left(\frac{1 - \rho_s \rho_A + \tau_s \rho_A}{1 - \rho_s \rho_c} \frac{1 - \rho_s \rho_A - \tau_s^2 \rho_A \rho_c}{1 - \rho_s \rho_A - \tau_s^2 \rho_A \rho_c} \right) \quad (2.27)$$

З міркувань простоти в балансових рівняннях були зроблені деякі наближення:

1. Тепловіддача по нормалі до площини колектора не залежить від тепловіддачі в площині.
2. Всі властивості матеріалу вважаються незалежними від температури і однаковими по обидва боки з обох боків.
3. Наскрізні компоненти вважаються достатньо тонкими, щоб можна було знехтувати градієнтами температури через них.
4. Температура навколишнього середовища вважається однаковою з усіх боків колектора.
5. Нехтуємо всім випромінюванням, що входить і виходить з рідини.

Крім того, розрахунки, що проводяться, є складними, і для того, щоб їх спростити їх спрощення нехтується терміном $U_{Fa}(T-T_a)$, якщо припустити, що рідина належним чином ізолювана від навколишнього середовища. Членами R_s також можна знехтувати, оскільки випромінювання сонячного елемента мале. Ефективна теплопровідність U_{sa} вводиться замість U_{SC} , а покриття на випромінювання входять в цю величину.

Для того, щоб знайти перенесення тепла q_f від ребра до трубки, розглядається нескінченно малий відрізок з шириною Δ_x . Рівняння енергетичного балансу для цієї ділянки має вигляд:

$$\begin{aligned}
& U_{Aa} T_{Af} - T_A \Delta x + \varepsilon_A \bar{\alpha}_A \sigma T_{Af}^4 \Delta x = .. \\
& = U_{SA} T_S - T_{Af} \Delta x + \tau_c \tau_s a_A E \Delta x - K \delta \left. \frac{dT_{Af}}{dx} \right|_x + K \delta \left. \frac{dT_{Af}}{dx} \right|_{x+dx}
\end{aligned} \quad (2.28)$$

де T_{af} – залежна від x температура поглинача на ребрах,
 k – теплопровідність і d – товщина поглинаючого ребра.

Температура сонячного елемента може бути з рівняння балансу. Отже отримуємо диференціальне рівняння:

$$k \delta \frac{d^2 T_{Af}}{dx^2} = U'_{Aa} T_{Af} - T_a + F_R \sigma T_{Af}^4 - S \quad (2.29)$$

де використані наступні позначення:

$$U'_{Aa} = U_{Aa} + \frac{U_{SA} U_{Sa} - cE}{U_{SA} + U_{Sa} - cE} \quad (2.30)$$

$$F_R = \varepsilon_A \bar{\alpha}_A - \frac{\bar{U}_{SA} \varepsilon_A \alpha_s}{U_{SA} + U_{Sa} - cE} \quad (2.31)$$

$$S = \left(\varepsilon_A \alpha_A - \frac{U_{SA} \tau_c \alpha_s - \eta_0}{U_{SA} + U_{Sa} - cE} \right) E \quad (2.32)$$

де U'_{Aa} – коефіцієнт втрат від абсорбера при врахуванні втрат через сонячні елементи;

F_R – коефіцієнт радіаційних втрат;

S – частина інсоляції, корисна для абсорбера;

Через радіаційне випромінювання диференціальне рівняння не має аналітичного розв'язку і слід зробити наближений розв'язок. В межах $T_{Af} = T_a$ права частина майже лінійна, і розклад в ряд Тейлора є досить точним:

$$k \delta \frac{d^2 T_{Af}}{dx^2} \approx F_R \sigma T_a^2 - S + U''_{Aa} T_a T_{Af} - T_a \quad (2.33)$$

модифікований коефіцієнт втрат дорівнює :

$$U''_{Aa} T_a = U'_{Aa} + 4 F_R \sigma T_a^3 \quad (2.34)$$

яка також враховує втрати на випромінювання. У поєднанні з граничними умовами:

$$\left. \frac{dT_{Af}}{dx} \right|_{x=0} = 0$$

$$T_{Af} \big|_{x=W-D/2} = T_A \quad (2.35)$$

де W – ширина однієї одиниці, це дає:

$$T_{Af} \big|_x = T_a + \frac{S - F_R \sigma T_a^4}{U_{Aa}'' T_a} - \left(T_A + \frac{S - F_R \sigma T_a^4}{U_{Aa}'' T_a} - T_A \right) \frac{\cosh \omega x}{\cosh \omega (W-D)/2} \quad (2.36)$$

де:

$$\omega^2 = U_{Aa}'' T_a K \delta^{-1} \quad (2.37)$$

Таким чином, тепло, яке надходить до трубки від двох напівребрів

$$q_F = -2K\delta \left. \frac{dT_{Af}}{dx} \right|_{x=W-D/2} = W-D F_f \left(S - F_R \sigma T_a^4 - U_{Aa}'' T_a T_A - T_a \right) \quad (2.38)$$

де коефіцієнт ребер F_f визначається як:

$$F_f = \frac{\tanh \omega (W-D)/2}{\omega (W-D)/2} \quad (2.39)$$

Коефіцієнт ребер – це міра того, наскільки ефективно тепло транспортується від ребра до трубки через поглинач.

Визначивши тепло від двох напівребристих частин, можна легко розв'язати рівняння балансу, щоб знайти наступний вираз для узагальненого тепла:

$$q T = W F T \left[s - F_R T \sigma T^4 - U_L T - T_a \right] \quad (2.40)$$

де коефіцієнт ефективності колектора $F(T)$ визначається як:

$$F_T = \frac{\frac{D}{W} \left(1 + \frac{W-D}{D} F_f \right)}{1 + \left(U_L \left(1 + \frac{W-D}{D} F_f \right) + 4F_R \sigma T^3 \right) / U_{AF}} \quad (2.41)$$

а ефективний коефіцієнт радіаційних втрат як

$$F_{RT} = \frac{\left(1 + \frac{W-D}{D} F_f \frac{T_a^4}{T^4} \right)}{\left(1 + \frac{W-D}{D} F_f \right)} F_R \quad (2.42)$$

і загальний коефіцієнт провідних втрат як:

$$U_L = \frac{U'_{Aa} + \frac{W-D}{D} F_f U''_{Aa} \frac{T_a}{T}}{\left(1 + \frac{W-D}{D} F_f \right)} \quad (2.43)$$

Для того, щоб продуктивність поглинання була максимальною, коефіцієнт ефективності повинен бути якомога ближчим до одиниці, тоді як загальний коефіцієнт втрат провідності та ефективний коефіцієнт втрат на випромінювання мають бути якомога нижчими.

Швидкість тепла, яке відбирається із системи, становить

$$Q_T m C_p T_L - T_i \quad (2.44)$$

де температура на виході T_L температура рідини при $y=L$. Тепловий ККД, який найбільш зручно визначити як відношення виробленого тепла до вхідної інсоляції, визначається як:

$$n_A = \frac{Q_T}{ELW} = \frac{m C_p}{ELW} \left(T_a - T_i - \frac{q}{q'} \frac{T_a}{T_a} \right) \left(1 - \exp \left(\frac{q' T_a L}{m C_p} \right) \right) \quad (2.45)$$

де

$$q' T_a = \frac{dq}{dT} \Big|_{T=T_a} \quad (2.46)$$

що є диференційованим теплом. Після розрахунків диференційована теплота склала:

$$q' T_a = WF' T_a S - W\sigma \left[F' T_a F_R T_a T_a^4 + F T_a F_R' T_a T_a^4 + 4F T_a F_R T_a T_a^3 \right] - \dots \quad (2.47)$$

$$-WU_L T_a - T_a F' T_a$$

Щоб знайти вищезазначене, ми повинні знайти диференційований коефіцієнт ефективності колектора $F'(T_a)$, а також диференційований ефективний коефіцієнт втрат на випромінювання. Після деяких відносно складних розрахунків:

$$F' T_a = - \frac{\frac{D}{W} \left(1 + \frac{W-D}{D} F_f \right) \left(\frac{12F_R \sigma T_a^2}{U_{AF}} \right)}{1 + \left[\frac{U_L \left(1 + \frac{W-D}{D} \right) F_f + 4F_R \sigma T_a^3}{U_{AF}} \right]^2} \quad (2.48)$$

$$F_R' T_a = \frac{\left(-4F_R \frac{W-D}{D} F_f T_a^{-1} \right)}{\left(1 + \frac{W-D}{D} \right) F_f} \quad (2.49)$$

Тепер рівняння можна розв'язати. Все вищевикладене було використано для побудови електронної таблиці в пакеті Excel і представлено в Додатку.

2.4 Висновки до розділу

1. Проаналізовано типи систем охолодження фотоелектричних панелей.
2. Розглянуто пасивну систему повітряного охолодження та її конструкцію.
3. Розглянуто активну систему водяного охолодження, її схему та принцип дії.
4. Проведено глибокий аналіз роботи фотоелектричної панелі з повітряним охолодженням. Розглянуто схему роботи традиційного повітряного колектора PV/T разом із відповідним механізмом передачі енергії.

5. Проведено глибокий аналіз роботи фотоелектричної панелі з водяним охолодженням. Розроблена електронна таблиця для дослідження того як різні параметри впливають на загальну ефективність системи.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Ефективність роботи панелі з водяним охолодженням

Параметричний аналіз фотоелектричної системи з водяним охолодженням виконується для визначення найважливіших параметрів, які впливають на роботу фотоелектричної панелі. Ці параметри можуть бути як фізичними властивостями теплообмінника, підключеного до панелі, так і потоком води всередині труб. Після визначення цих факторів та їх важливості для ефективності системи останню можна максимізувати. Інформація, отримана в результаті аналізу, може бути використана для максимізації ефективності будь-якої конструкції колектора, що є основною метою роботи..

Розрахункова електронна таблиця представлена в додатку А [2]. У верхній частині аркуша містяться числа, які є константами. Ці значення були знайдені шляхом огляду відповідної літератури. Нижній містить функції, які використовуються для визначення теплової ефективності.

Перший графік був побудований з використанням наступних даних: W утримується постійним і дорівнює $0,01\text{ м}$, $D = 0,01$, $T_i = 280\text{ К}$, $m = 0,0003\text{ кг/с}$. Інші параметри були взяті таким чином: $\tau_c \alpha_c = 0,7$, $\varepsilon_A \alpha_A = 0,1$, $\tau_c \tau_s \alpha_A = 0,15$, $\varepsilon_A \alpha_s = 0,05$, $E = 800\text{ Вт/м}^2$, $n_o = 0,125$, $c = 5 \cdot 10^{-4}$, $T_a = 293\text{ К}$, $U_{Ad} = 1\text{ Вт/м}^2\text{К}^{-1}$, $U_{A\phi} = 200\text{ Вт/м}^2\text{К}^{-1}$, $U_{SA} = 100\text{ Вт/м}^2\text{К}^{-1}$, $U_{Sa} = 6\text{ Вт/м}^2\text{К}^{-1}$, $k = 385\text{ Вт/мК}$ (для міді), $C_p = 4200\text{ Дж/кгК}$ (вода), $\delta = 5 \cdot 10^{-4}\text{ м}$, $L = 1\text{ м}$.

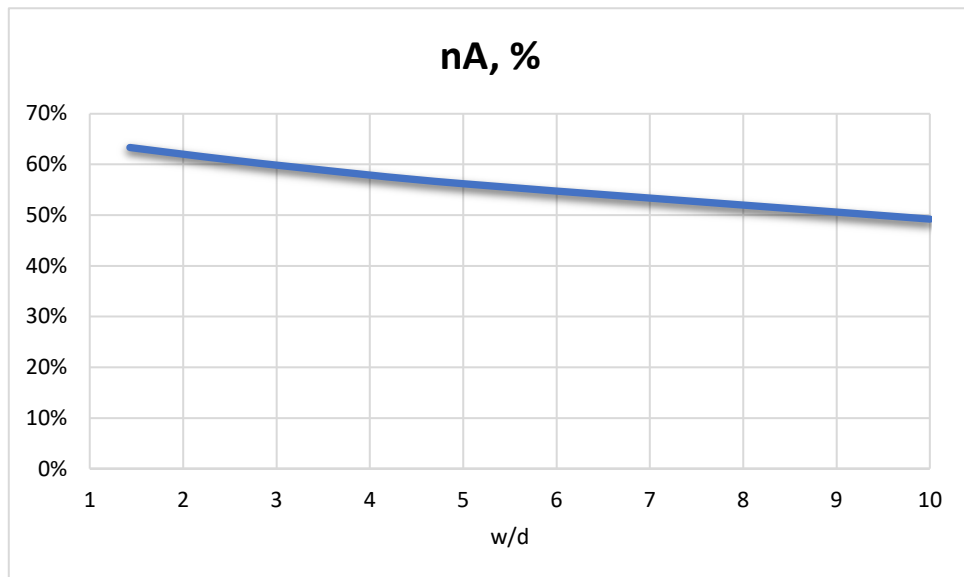


Рисунок 3.1 – Теплова ефективність як функція W/D^{-1}

Термічний ККД системи представлено на рис. 3.1. Залежність W/D (з константою W) будується для того, щоб показати, як відносний розмір ребра впливає на продуктивність. D змінено з 0,01 м до 0,1 м. Як видно, теплова ефективність системи падає з 63,77% при W/D 1,25 до 56,19 % при W/D , що дорівнює 10. Це зниження ефективності пов'язане з втратами провідності та випромінювання через наявність ребер, тому що останні знаходяться при вищих температурах. Масова витрата води в цьому випадку дорівнювала 0,0003 кг/с (л/с). Це значення дещо збільшується, коли діаметр трубки зменшується, але цей ефект досить малий, щоб не сильно змінити ефективність.

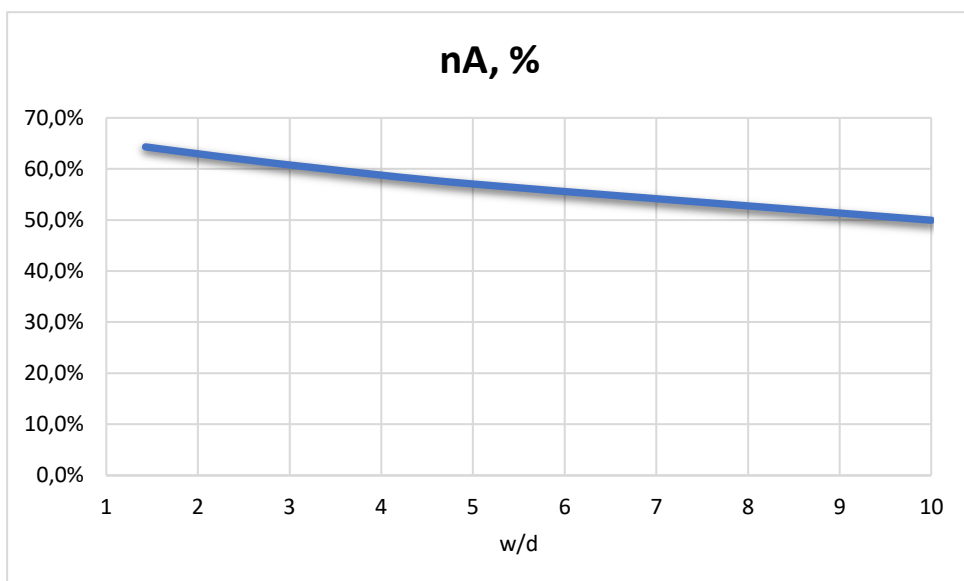


Рисунок 3.2 – Теплова ефективність як функція W/D^{-1} ($m=0,001$ кг/с)

Наведений вище графік представляє теплову ефективність по відношенню до W/D , коли швидкість потоку води збільшується з 0,0003 кг/с до 0,001 кг/с. Вплив такого великого збільшення m на ефективність є невеликим збільшенням останньої. У цьому випадку найбільше значення n_A становило 64,19 %, а найменше значення – 49,23 %. Очевидно, що швидкість потоку води не відіграє великої ролі в тепловій ефективності системи. Щоб краще проілюструвати це, представлено наступний рисунок.

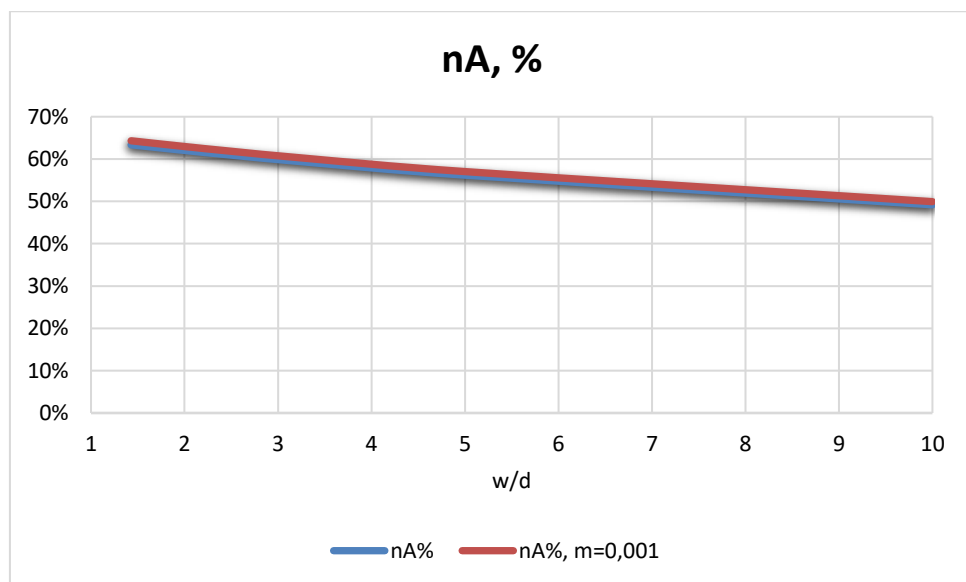


Рисунок 3.3 – Теплова ефективність як функція W/D

На рис.3.3 показано теплову ефективність системи, коли W/D змінюється для $m=0,0003$ кг/с і $m=0,001$ кг/с. Як добре видно, обидва графіки майже ідентичні. Невелике збільшення ефективності може бути показано, коли m більше, а W/D досягає 1. Як згадувалося раніше, незважаючи на те, що швидкість потоку була значно збільшена, ефективність від цього не зросла.

Іншим дуже важливим параметром системи, крім діаметра труби та витрати, є температура води, що надходить в теплообмінник.

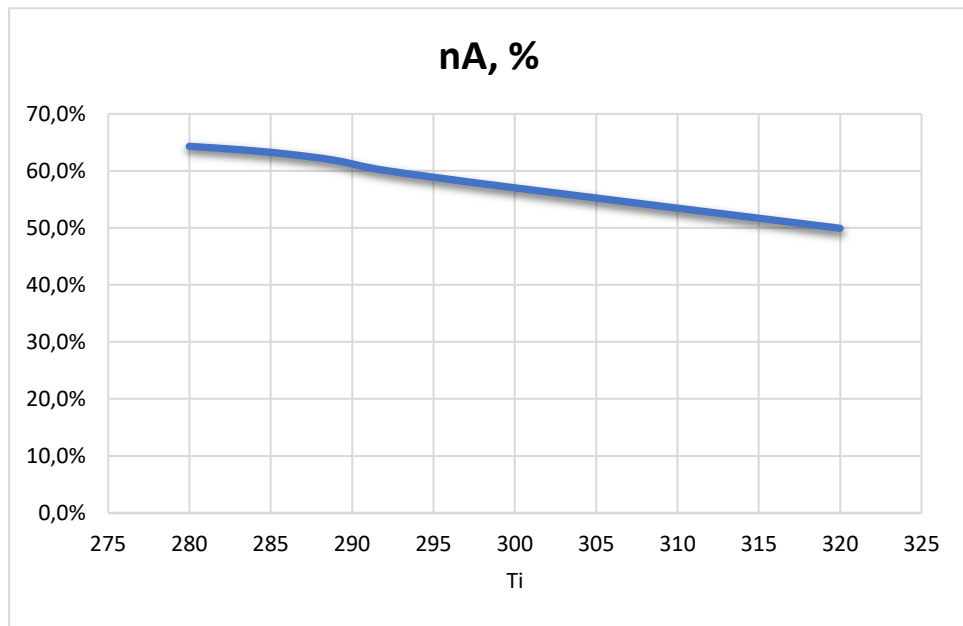


Рисунок 3.4 – Теплова ефективність як функція температури на вході

При розрахунках зміни теплової ефективності з підвищенням температури, температура води на вході в теплообмінник змінювалася від 280 К до 320 К. Як і очікувалося, ефективність впала. Цікавим моментом є те, що варіації в зміні температури були великими, проте ефективність трохи знизилася.

Пам'ятаючи про те, що фотоелектричні панелі перетворюють сонячну енергію в електроенергію, можна сказати, що одним із основних параметрів є сонячне випромінювання E . Цей параметр відіграє дуже важливу роль у ефективності всієї системи. Щоб дослідити вищезазначене, сонячне опромінення E змінювалося та реєструвалися різні значення теплової ефективності. Результати розрахунку з допомогою електронної таблиці представлені на наступному графіку (рис. 3.5). Тут слід сказати, що проєктант не контролює цей параметр. Тим не менш, для кращого розуміння фотоелектричних систем представлено теплову ефективність системи як функцію опромінення.

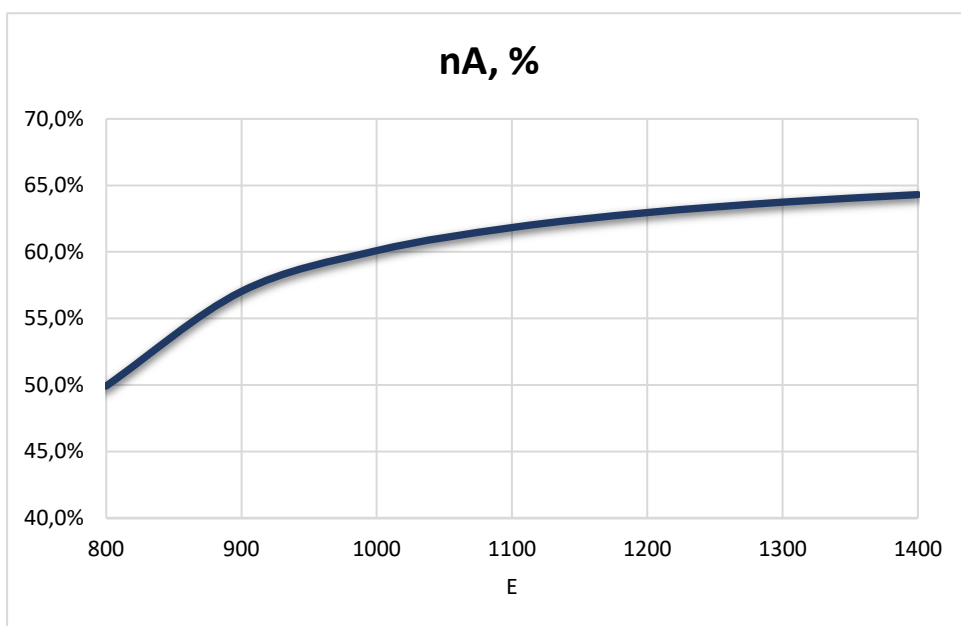


Рисунок 3.5 – Теплова ефективність як функція опромінення

Опромінюваність була змінена від 600 Вт/м^2 до 1400 Вт/м^2 , що вважається двома крайніми значеннями. Тим не менш, важливість E на фотоелектричній панелі добре проілюстрована на рис.3.5. При 600 Вт/м^2 ККД становив 48,25 %, а при 1400 – 65%. Наведений вище графік представляє явище, яке було цілком очікуваним від початку виконання даної роботи. Тим не менш, це чітко пояснює, як ефективність залежить від сонячного опромінення.

Знову було змінено інший параметр системи, щоб отримати деякі результати щодо зміни ефективності. Цього разу змінили геометричні розміри абсорбера. Змінювали довжину абсорбера і реєстрували різні значення ККД. Мінімальна довжина становила 1 м, а максимальна – 2,1 м. в результаті ефективність впала з 49,19% до 49,12%. Тому зрозуміло, що теплова ефективність системи не дуже залежить від розміру ребра. Якщо розмір ребра подвоюється, теплова ефективність PV збільшується лише на 0,06 %.

Наведений вище графік представляє теплову ефективність комірок по відношенню до температури навколишнього середовища. Ефективність падає при підвищенні температури навколишнього середовища. Максимальне значення ефективності становило 49 % при 293 К, а мінімальне — 48 % при 307 К. Отже, при зміні на $14 \text{ }^\circ\text{K}$ ефективність падає приблизно на 1 %.

На цьому етапі слід уточнити, що розроблену електронну таблицю було використано для того, щоб дослідити, як різні параметри PV/W впливають на теплову ефективність системи. Ця ефективність повністю відрізняється від електричної ефективності панелі, а також загальної..

3.2 Кількісна оцінка ефективності роботи фотоелектричного модуля

Нами проведено кількісну оцінку фотоелектричного модуля, щоб побачити, скільки енергії може виробляти модуль. Характеристики фотоелектричної панелі представлені нижче. Використаний набір даних був обраний для типової фотоелектричної системи STC.

Характеристики модуля в стандартних умовах випробувань:

$$T_{\text{модуль}} = 25^{\circ}\text{C};$$

$$G=1000 \text{ Вт/м}^2;$$

$$V_{\text{oc}}=14,6 \text{ В} \quad V_{\text{макс}}=12,6\text{A};$$

$$I_{\text{sc}}=4,9 \text{ А} \quad I_{\text{макс}}=4,1 \text{ А}.$$

Використовуючи наведені вище дані, спочатку можна розрахувати коефіцієнт заповнення. Для цього використаємо наступну формулу:

$$FF = \frac{V_{\text{max}} I_{\text{max}}}{V_{\text{oc}} I_{\text{sc}}} = \frac{12,6 \cdot 4,1}{14,6 \cdot 4,9} = 0,722114.$$

Як було сказано раніше, коефіцієнт заповнення є показником якості кремнію (0,72 вважається хорошим).

Далі розраховується електрична потужність, вироблена модулем. Вважається, що модуль має падіння напруги через температуру $0,22 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C}$ і складається з 2500 елементів. Для розрахунку виробленої потужності будуть використані дані нижче.

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку

<i>Час</i>	<i>G_b</i>	<i>G_d</i>	<i>G_{sum}</i>	<i>T_{mode}</i>
9:00-10:00	50	18	230	295
10:00-11:00	300	15	450	311
11:00-12:00	710	13	840	341
12:00-13:00	880	11	990	359
13:00-14:00	720	13	850	343
14:00-15:00	410	15	560	327
15:00-16:00	250	17	420	311
16:00-17:00	30	19	220	303

В таблиці 3.1 : G_b і G_d – пряме та дифузне сонячне опромінення відповідно.

T_{mod} — це температура модуля в цей конкретний проміжок часу.

Загальне опромінення, що падає на поверхню, дорівнює

$$G_{sum} = G_b + G_d ;$$

Зниження потужності через температуру було описано раніше. У цьому випадку це значення становить 0,22 Вт/°С. Це потрібно перетворити на %/°С.

Отже:

$$P_{max} = V_{max} I_{max} = 12,6 \cdot 4,1 = 51,66 \text{ Вт}$$

$$\text{тоді} \quad \frac{0,22}{P_{max}} = \frac{0,22}{51,66} = 0,00425\% / \text{C}$$

Це падіння потужності, виражене в %/°С. На основі даних таблиці 3.1 та виразу

$$P_{o/p} = P_{max} \frac{G}{1000}$$

отримаємо наступні дані щодо зміни $P_{o/p}$ (таблиця 3.2):

Таблиця 3.2 – Розраховані дані щодо зміни $P_{o/p}$

Час	$P_{o/p}$
<u>9:00 – 10:00</u>	<u>11,88</u>
<u>10:00 – 11:00</u>	<u>23,25</u>
<u>11:00 – 12:00</u>	<u>43,39</u>
<u>12:00 – 13:00</u>	<u>51,14</u>
<u>13:00 – 14:00</u>	<u>43,91</u>
<u>14:00 – 15:00</u>	<u>28,93</u>
<u>15:00 – 16:00</u>	<u>21,70</u>

З таблиці видно, що найвища вихідна потужність має місце між 12:00 і 13:00, де спостерігається найвище опромінення. На основі даних таблиці 3.2 та виразу

$$P_{temp} = P_{o/p} \left[1 - P_{dropoff} (T_{cell} - 25) \right],$$

отримаємо наступні дані щодо зміни P_{temp} (таблиця 3.3)

Таблиця 3.3 – Розраховані дані щодо зміни P_{temp}

Час	P_{temp}
<u>9:00 – 10:00</u>	<u>12,03</u>
<u>10:00 – 11:00</u>	<u>21,96</u>
<u>11:00 – 12:00</u>	<u>35,46</u>
<u>12:00 – 13:00</u>	<u>37,88</u>
<u>13:00 – 14:00</u>	<u>35,51</u>
<u>14:00 – 15:00</u>	<u>25,36</u>
<u>15:00 – 16:00</u>	<u>20,50</u>
<u>16:00 – 17:00</u>	<u>11,12</u>

У таблиці 3.3 наведено потужність від системи за кожну годину, включаючи падіння потужності через вплив температури. Тепер для розрахунку загальної потужності, що генерується системою, будуть використано наступну формулу:

$$P_{del} = P_{temp} \cdot N_o$$

де N_o – кількість модулів.

Тоді потужність, що генерується системою буде мати значення, наведені у табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Розраховані дані щодо змни P_{del}

Час	P_{del}
<u>9:00 – 10:00</u>	30083,23
<u>10:00 – 11:00</u>	54906,51
<u>11:00 – 12:00</u>	88660,18
<u>12:00 – 13:00</u>	94711,18
<u>13:00 – 14:00</u>	88782,55
<u>14:00 – 15:00</u>	51246,07
<u>15:00 – 16:00</u>	63410,07
<u>16:00 – 17:00</u>	27809,22

З таблиці видно, що максимальна потужність, що видається модулем, припадає на період з 12:00 до 13:00. Для розрахунку ефективності модуля використовується наступна формула:

$$Ефективність = \frac{P_{temp}}{P_{max}}$$

Таблиця 3.4 – Розраховані дані щодо зміни ефективності

Час	Ефективність
<u>9:00 – 10:00</u>	0,233
<u>10:00 – 11:00</u>	0,425
<u>11:00 – 12:00</u>	0,686
<u>12:00 – 13:00</u>	0,733
<u>13:00 – 14:00</u>	0,687
<u>14:00 – 15:00</u>	0,491
<u>15:00 – 16:00</u>	0,397
<u>16:00 – 17:00</u>	0,215

Знову ж таки, максимальна ефективність досягається протягом того самого інтервалу часу. Наведена вище таблиця графічно представлена рис. 3.6 нижче.

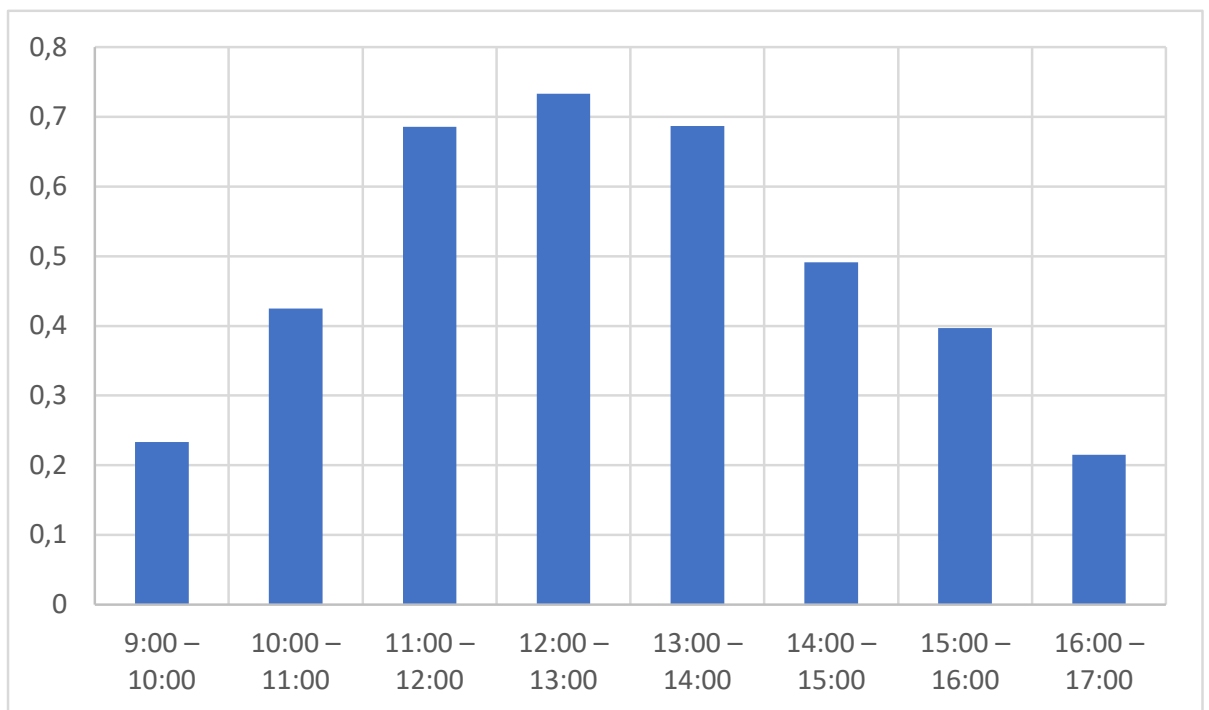


Рисунок 3.6 – Ефективність як функція часу

Ефективність панелі набирає максимального значення в час з 12:00 до 13:00. Після цього вона знову починає знижуватися, поки не досягне майже

початкового мінімального значення.

Як було сказано на початку кількісного аналізу, у фотоелектричного модуля падала потужність через температуру, рівну $0,22 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C}$. Потужність, пов'язана з цими втратами, становить P_{temp} і вона представлена на рис. 3.8 нижче. $P_{o/p}$ — потужність системи, якщо температура модуля не вплинула на продуктивність. Можна побачити, що більша різниця спостерігається в періоди з високим сонячним опроміненням і, як наслідок, з високими робочими температурами. На початку роботи PV дві вихідні потужності майже однакові, і це те ж саме в кінці роботи. У ці проміжки часу робоча температура модуля невисока.

Випадок, коли робоча температура не впливає на продуктивність, досягається при використанні водяної фотоелектричної панелі. Слід зазначити, що і в цьому випадку високі температури впливають на продуктивність системи, але вода охолоджує панель, забезпечуючи мінімізовані температури.

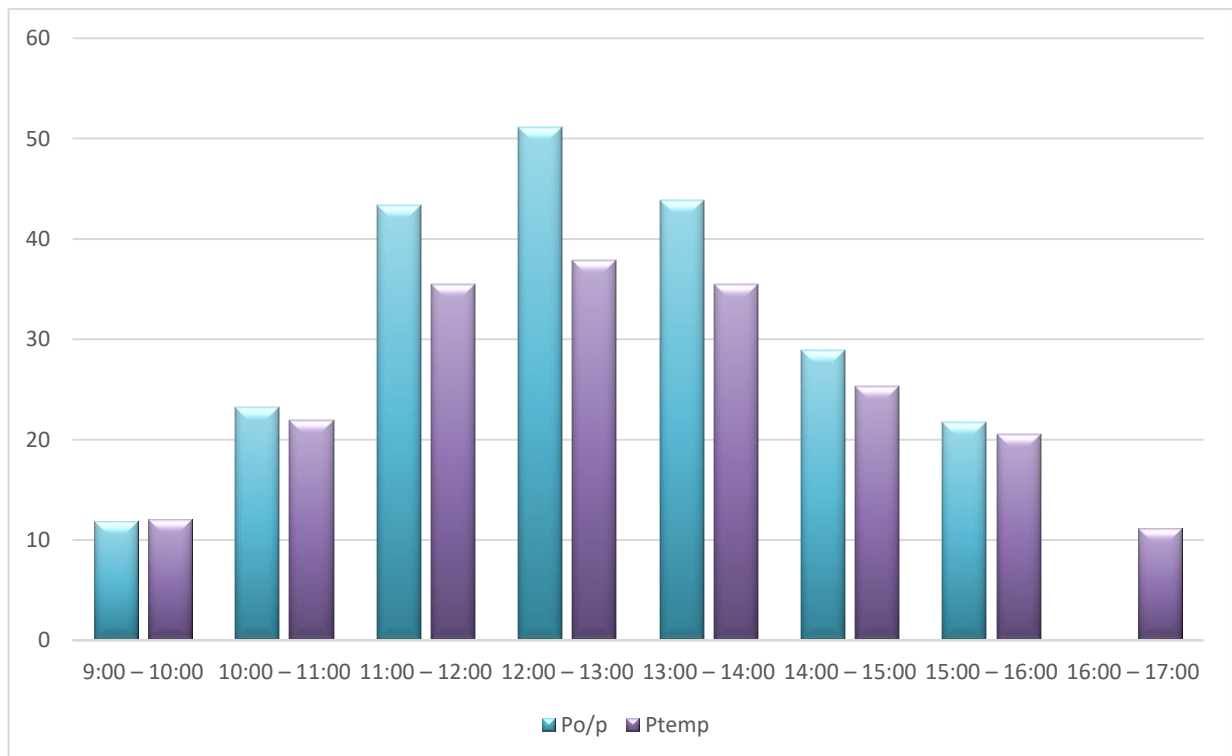


Рисунок 3.8 – $P_{o/p}$ і P_{temp} як функція часу

3.3 Розрахунок фотоелектричної системи для автономного будинку

3.3.1 Аналіз варіантів систем

Ця система може бути як простою, так і більш складною. Як було сказано раніше в попередніх розділах даної роботи, існують різні конфігурації фотоелектричних систем. Перед тим, як приступити до аналізу будинку, проводиться загальний опис [23,24,25].

Найпростішим типом PV є той, який складається з панелей, які постачають енергію безпосередньо в будинок, не накопичуючи енергію та не регулюючи напругу. Ця система може забезпечувати енергією тільки при наявності освітлення панелей.

Більш складною системою є та, яка містить батарею для зберігання енергії від PV. У цьому випадку енергія подається на різні пристрої, а решта зберігається в акумуляторі. Ця система описана нижче:



Рисунок 3.9 – Окрема PV, що містить акумулятор

Розміри панелей повинні бути відповідними, щоб не перезаряджати батареї. Необхідно регулярно перевіряти акумулятор, інакше термін служби може бути зведений до мінімуму. Для кращої роботи всієї системи

використовується стабілізатор напруги. Цей пристрій регулює напругу між панелями і батареями. Регулятор необхідний у фотоелектричній системі, яка не контролюється регулярно. Такі системи використовуються у віддалених районах, а також у будинках, де важко контролювати роботу батареї.

Як було сказано раніше, у випадку, коли використовується змінний струм, застосовується перетворювач постійного струму в змінний – інвертор. Цей пристрій ставиться між батареєю і приладами будинку. Якщо є пристрої, які працюють на постійному струмі, акумулятор постачає енергію напряму.

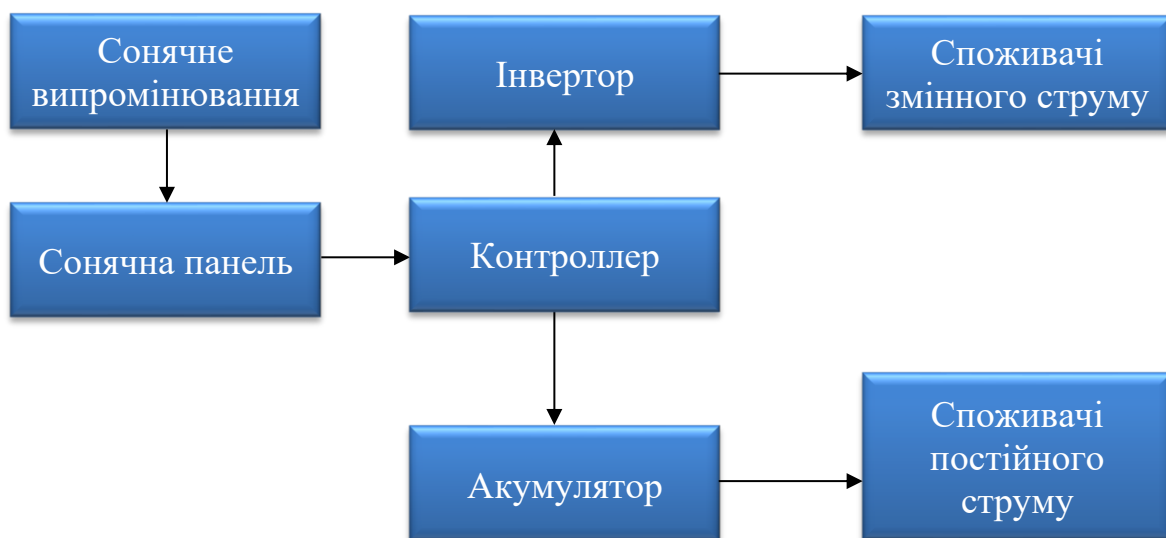


Рисунок 3.10 – Рисунок автономної PV, що складається з акумулятора та перетворювача. Батарея постачає енергію безпосередньо до пристроїв постійного струму

Якщо потужність, необхідна для забезпечення автономного будинку, дуже велика, фотоелектричної енергії та накопиченої енергії може бути недостатньо для задоволення попиту електроприладів у будинку. У цих випадках, як-от похмурий період без сонячного світла або несподівана помилка в системі, використовується допоміжний дизель-генератор і джерело живлення від батареї. Ця система описана представлена на рис. 3.11 [26,27]

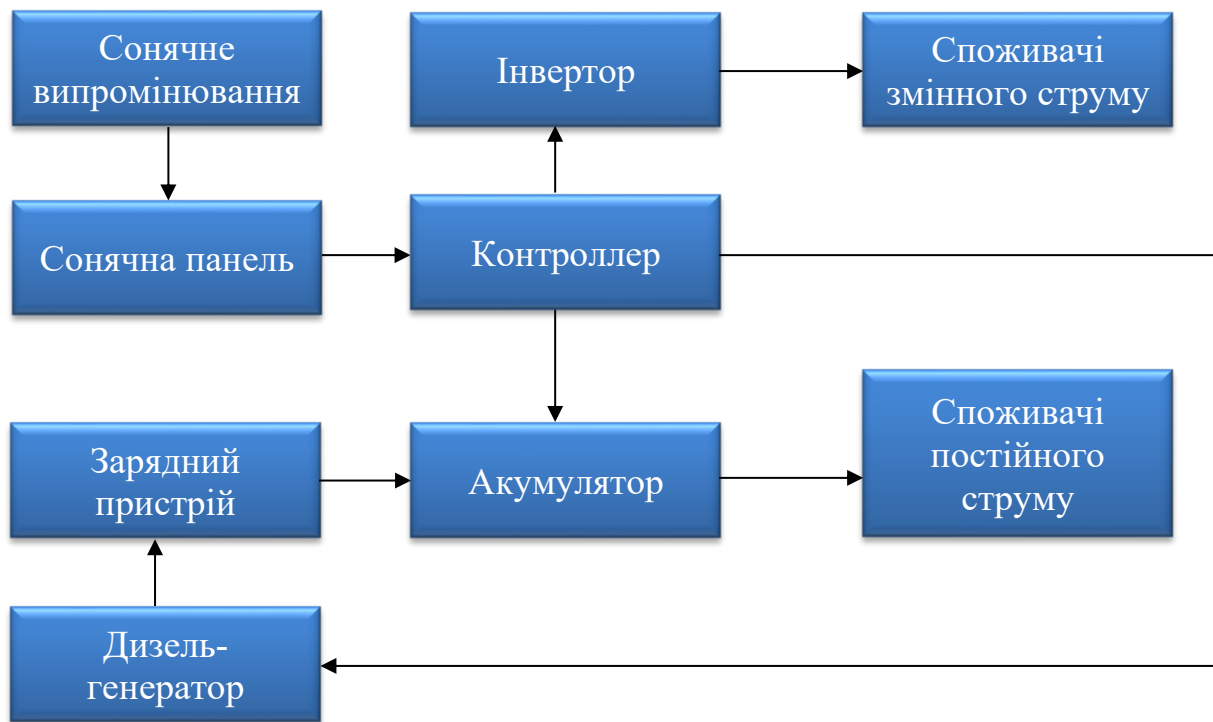


Рисунок 3.11 – Автономна фотоелектрична установка з допоміжним генератором і зарядним джерелом живлення

Допоміжний дизель-генератор – це спосіб впоратися з великими несподіваними навантаженнями. Таким чином, немає необхідності використовувати інші фотоелектричні панелі, які були б корисні лише в крайніх випадках низького сонячного випромінювання. Тут слід сказати, що генератор є допоміжним пристроєм фотоелектричної системи і рідко використовується для зарядки акумуляторів. Більшість або зазвичай уся необхідна енергія забезпечується фотоелектричними панелями. Лише у випадку, коли необхідна потужність перевищує 1 кВт, використовується допоміжний генератор.

Коли передбачається встановлення автономної фотоелектричної установки, використання електричних приладів, які виробляють тепло, має бути зведено до мінімуму, оскільки такі пристрої виробляють високу потребу в електроенергії. Електричні пристрої, підключені до PV, повинні мати високу ефективність. Якщо є старі прилади, їх слід замінити новими, більш технологічно досконалими, які пропонують такі самі або кращі результати.

Загалом розсіювання електричної енергії має бути мінімізоване, щоб не використовувати допоміжний генератор, який використовує паливо і потребує

обслуговування. Крім того, такий пристрій виробляє шум і не може накопичувати енергію, вироблену PV. Таким чином, перед встановленням фотоелектричної системи в будинку слід провести ретельні та точні розрахунки, чого не можна сказати про фотоелектричну систему, підключену до мережі. Останній варіант може бути спроектований для генерування більшої кількості енергії, ніж необхідна для будинку, оскільки решта енергії може бути надана в мережу.

3.3.2 Аналіз електроспоживання будинку. Розрахунок фотоелектричної системи

В результаті аналізу електроспоживання будинку сформовано таблицю 3.5. Встановлена потужність рівна 7 кВт.

Таблиця 3.5 – Добове споживання електроенергії різними приладами в будинку

Пристрій	Потужність	Час роботи	Споживання електроенергії
Освітлення	0,5 кВт	6,0 год	3,0 кВт·год
Холодильник	0,3 кВт	9,0 год	2,7 кВт·год
Телевізор	0,2 кВт	4,0 год	0,8 кВт·год
Пилосос	0,6 кВт	0,5 год	0,3 кВт·год
Фен для волосся	0,4 кВт	0,5 год	0,2 кВт·год
Насос	1,25 кВт	0,2 год	0,3 кВт·год
Пральна машина	1,75 кВт	0,4 год	0,7 кВт·год
Всього	7 кВт		8,0 кВт·год

Очевидно, що якщо фотоелектричну систему встановити для задоволення попиту взимку, де сонячне світло може бути обмеженим, вона, безсумнівно, задовольнить попит в інші сезони. Передбачається, що на цьому етапі буде встановлено перетворювач з ефективністю 90 % з втратами в кабелях близько

5 %. Тоді енергія, яка повинна надійти на вхід перетворювача, становить:

$$E = 7000 \text{ Wh} / 0,85 \text{ на день};$$

$$E = 8235 \text{ Вт} \cdot \text{год на добу}.$$

Таким чином, енергія на виході з перетворювача становитиме 7000 Вт·год. Якщо панелі орієнтовані належним чином $\varphi + 15^\circ$ (для Тернополя $\varphi = 49^\circ$), де φ – широта, то максимальна потужність від панелей становитиме:

$$8235 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{день} / 3,5 \text{ год} / \text{день} = 2353 \text{ Вт}$$

Таблиця 3.6 – Надходження енергії на сонячні панелі із різним відхиленням від номінального кута

Орієнтація панелі: $\varphi + 15^\circ$ погодинне споживання /денне споживання			
Зима	Весна	Літо	Осінь
3,5	5,0	5,5	4,5
Орієнтація панелі: $\varphi - 15^\circ$ погодинне споживання/денне споживання			
Зима	Весна	Літо	Осінь
3,0	6,0	7,5	4,5

Таблиця 3.7 – Надходження енергії на сонячні панелі

Погодинне споживання /денне споживання			
Зима	Весна	Літо	Осінь
3,0	6,0	7,5	4,5

Якщо використовуваний перетворювач працює з вхідною напругою 48 В (DC), струм від панелей буде:

$$I = 2353 \text{ Вт} / 48 \text{ В} = 49 \text{ А}$$

Якщо використовувані сонячні панелі мають такі характеристики:

Напруга панелі, потужністю 275 Вт дорівнює 12 В і струм 23 А, при сонячному випромінюванні 1000 Вт/м², то очевидно, що кожен ряд панелей повинен складатися з 4 панелей, щоб забезпечити $4 \cdot 12 \text{ В} = 48 \text{ В}$ загалом.

Кількість рядів, які будуть з'єднані паралельно, визначається струмом, що забезпечується кожним рядом, і загальним струмом, який повинні виробляти панелі, щоб задовольнити попит.

Кількість рядів

$$n = 49 \text{ А} / 23 \text{ А} / \text{ряд} = 2,13 \text{ ряд.}$$

Тому:

$$4 \cdot 2,2 = 8,8 \text{ панелей.}$$

Округлюємо до більшого – необхідно 10 панелей потужністю по 275 Вт.

Ці панелі вироблятимуть електроенергію за добу:

$$2,2 \cdot 48 \text{ В} \cdot 23 \text{ А} \cdot 3,5 \text{ год} = 8500,8 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

Отже вироблена енергія перевищує значення 8235 Вт·год, яке необхідно будинку на добу.

Ампер·години (А·год), які виробляє система під напругою 48 В, становлять:

$$h = 2,2 \cdot 23 \text{ А} \cdot 3,5 \text{ год} = 177,1 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Що більше ніж планувалось будинку на добу.

$$7000 \text{ Вт} \cdot \text{год} / 145 \text{ А} \cdot \text{год} = 48 \text{ В}$$

Щоб розрахувати кількість акумуляторів, які знадобляться для накопичення енергії, слід брати до уваги кількість днів без сонця. На ці дні

електрична енергія повинна бути накопичена для забезпечення системи. При накопиченні енергії протягом 3 хмарних днів використання генератора можна повністю уникнути.

Для того, щоб мати достатню кількість енергії для будинку, використовувані батареї повинні мати достатньо енергії для 7 днів без сонячного світла. Як було сказано раніше, щоденне виробництво енергії від PV становить 8500,8 Вт·год. Отже: $8500,8 \text{ Вт·год} / 48 = 177,1 \text{ А·год}$, щоб задовольнити попит на 3 дні, кількість накопиченої енергії в батареях має бути:

$$177,1 \text{ А·год} \cdot 3 = 531,3 \text{ А·год},$$

і на 7 днів:

$$177,1 \text{ А·год} \cdot 7 = 1239,7 \text{ А·год}.$$

Передбачається, що використовувана батарея має такі характеристики: напруга 12 В, ємність 140 А·год з рівнем колювання розряд-заряд 80 %. Це означає, що корисна ємність $140 \text{ А·год} \cdot 0,8 = 112 \text{ А·год}$, і це навантаження акумулятора кожного разу, коли він розряджається.

Оскільки напруга системи становить 48 В, батареї повинні бути з'єднані рядами, паралельно одна одній, і кожен ряд повинен складатися з 4 батарей. Тому:

$$4 \cdot 12 \text{ В} = 48 \text{ В}$$

Для 7 днів зберігання необхідна кількість рядів становить $1239,7 \text{ А·год} / 112 \text{ А·год/ряд} = 11,1$ рядів.

Отже 11 рядів батарей складаються з $11 \cdot 4 = 44$ батарей, які можуть накопичувати енергію протягом 7 днів без сонячного світла.

Залишається перевірити, чи зможе така система задовольнити попит на 7 днів у виробництві електроенергії.

Як було показано раніше, електрична енергія, необхідна системі, становить $8235 \text{ Вт·год} \cdot 7 = 57645 \text{ Вт·год}$.

Кожен ряд акумуляторів з рівнем розряду 80 % може давати

$$48 \text{ В} \cdot 112 \text{ А·год} = 5376 \text{ Вт·год}$$

Для 11 рядів:

$$537 \text{ Вт} \cdot \text{год} \cdot 11 = 59136 \text{ Вт} \cdot \text{год},$$

що може задовольнити потребу в 57645 Вт·год на тиждень.

У описаній системі дизель-генератор взагалі не використовувався. У випадку, коли похмурих днів було набагато більше 7, накопиченої енергії в батареях було б недостатньо для задоволення попиту. За цих умов використання генератора було б необхідним для забезпечення будинку енергією.

Щоб знайти площу панелей, яка буде використана для розглянутого прикладу, слід виконати наступну формулу (3.1). Електрична енергія, вироблена фотоелектричною системою, становить:

$$E = G \cdot \eta \cdot A \quad (3.1)$$

де G — сонячне опромінення,
 η — ефективність,
 A — загальна необхідна площа.

тому для нашого випадку:

$$A = E / (G \cdot \eta) \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

Беручи до уваги значення з таблиці 3.5 і у випадку, коли ККД панелей близько 17 %, розміщених під кутом 49° для січня, має місце:

$$A = 8 / (3,32 \cdot 0,17) = 14,2 \text{ м}^2.$$

Щоб мати більш реалістичну модель в аналізі, припускається, що електричні втрати системи (акумулятори, перетворювачі) становлять близько 30 % виробленої енергії. Таким чином, коефіцієнт продуктивності системи від виходу фотоелектричної панелі до кінця системи (всередині будинку) становить 0,7.

Отже, робоча площа становить

$$A = 14,2 / 0,7 = 20,3 \text{ м}^2.$$

Це загальна площа PV, необхідна для забезпечення будинку

електроенергією.

3.4 Фотоелектрична система для вироблення електроенергії та тепла

Наведений вище аналіз був для звичайної фотоелектричної системи. У випадку встановлення гібридної системи, окрім виробленої електричної енергії, можна використовувати також вироблену теплову енергію.

Як видно з попередніх розділів, гібридна фотоелектрична система може виробляти електричну енергію, а також теплову енергію, яка використовується для нагрівання охолоджувального середовища. Наведений вище приклад показує, як фотоелектрична система може задовольнити щоденну потребу будинку в електроенергії. Отже, гібридну модель можна розглядати як два різних механізми. Одні забезпечують електричну енергію, описану та проаналізовану вище, а інші виробляють тепло, тобто теплову енергію.

Як було сказано раніше, існують різні охолоджуючі середовища, які можна використовувати. У випадку, коли використовується вода, теплову енергію можна використовувати наступним чином. Вода проходить через трубки теплообмінника, підключеного до фотоелектричної панелі (описаного в розділі 2). Тепло від панелі поглинається трубками, а вода нагрівається. Щоб мати теплу воду в будинку, зазвичай використовують бойлер. Цей пристрій використовує електричну енергію або газ, щоб нагріти воду для гарячого водопостачання.

Трубки від теплообмінника можна підключити до цього котла, забезпечуючи резервуар попередньо підігрітою водою. Наприклад, замість того, щоб нагрівати воду з 15°C , що є нормальною температурою для води, котел почне нагрівати воду з 30°C до кінцевої температури. Таким чином буде збережена енергія. Тепла, отриманого від охолоджуючої води, недостатньо, щоб повністю нагріти воду для безпосереднього використання в будинку. Тим

не менш, його можна використовувати як попередньо нагріту воду в резервуарі бойлера.

Якщо використовуються інші охолоджуючі середовища, такі як масла, їх використання всередині будинку стає складнішим. Їх не можна використовувати для гарячого водопостачання та всередині котла. Тепло, отриманого з панелі, недостатньо для інших цілей. Наприклад, гаряча рідина може циркулювати всередині радіаторів, надаючи тепло невеликим кімнатам у будинку. У гібридній системі теплова енергія невелика для такого застосування.

3.5 Висновки до розділу

1. Для моделювання панелі з водяним охолодженням була створена електронна таблиця Excel. За допомогою цієї електронної таблиці було досліджено вплив усіх важливих фізичних параметрів на роботу теплообмінника, а також панелі, а результати проаналізовано.

2. Також проведено кількісний аналіз, щоб побачити, яку максимальну потужність може забезпечити PV, і порівняти її з потужністю панелі з водяним охолодженням.

3. Результати розрахунків показали, що найбільш ефективною та перспективною системою є фотоелектрична система з водяним охолодженням. Крім високої ефективності, вона може забезпечити додаткове тепло, яке можна використовувати в будинку. Крім того, було чітко показано, що зміна різних параметрів системи дає в результаті різні результати, тому вона є гнучкою в налаштуванні.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Інструктажі з охорони праці

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу, і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний інструктаж проводиться [29]:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;
- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;
- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження виробничої практики;
- у разі екскурсії на підприємство;

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство;
- який переводиться з одного цеху виробництва до іншого;
- який буде виконувати нову для нього роботу;
- відрядженим працівником, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві.

Повторний інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці в терміни, визначені відповідними чинними галузевими нормативними актами

або керівником підприємства з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою - 1 раз на 3 місяці;
- для решти робіт - 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативних актів про охорону праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;
- при порушеннях працівниками вимог нормативних актів про охорону праці, що можуть призвести або призвели до травм, аварій, пожеж тощо;
- при виявленні особами, які здійснюють державний нагляд і контроль за охороною праці, незнання вимог безпеки стосовно робіт, що виконуються працівником;
- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт - понад 60 днів.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками:

- при виконанні разових робіт, не передбачених трудовою угодою;
- при ліквідації аварії, стихійного лиха;
- при проведенні робіт, на які оформлюються наряд-допуск, розпорядження або інші документи.

Стажування (дублювання) та допуск працівників до роботи.

Новоприйняті на підприємство працівники після первинного інструктажу на робочому місці до початку самостійної роботи повинні під керівництвом досвідчених, кваліфікованих фахівців пройти стажування протягом 2 - 15 змін або дублювання протягом не менше шести змін.

Працівники, функціональні обов'язки яких пов'язані із забезпеченням безаварійної роботи важливих і складних господарчих потенційно небезпечних

об'єктів або з виконанням окремих потенційно небезпечних робіт (теплові та атомні електричні станції, гірничодобувні підприємства, інші подібні об'єкти, порушення технологічних режимів яких являє загрозу для працівників та навколишнього середовища), до початку самостійної роботи повинні проходити дублювання з обов'язковим суміщенням з протиаварійними і протипожежними тренуваннями відповідно до плану ліквідації аварій.

Допуск до стажування (дублювання) оформлюється наказом (розпорядженням) по підприємству (структурному підрозділу), в якому визначаються тривалість стажування (дублювання) та прізвище відповідального працівника. Перелік посад і професій працівників, які повинні проходити стажування (дублювання), а також тривалість стажування (дублювання) визначаються керівником підприємства. Тривалість стажування (дублювання) залежить від стажу і характеру роботи, а також від кваліфікації працівника. Керівнику підприємства надається право своїм наказом (розпорядженням) звільняти від проходження стажування (дублювання) працівника, який має стаж роботи за відповідною професією не менше 3 років або переводиться з одного цеху до іншого, де характер його роботи та тип обладнання, на якому він працюватиме, не змінюються.

Стажування (дублювання) проводиться за програмами для конкретної професії, посади, робочого місця, які розробляються на підприємстві і затверджуються керівником підприємства (структурного підрозділу) на робочих місцях свого або іншого подібного за технологією підприємства. У процесі стажування працівники повинні виконувати роботи, які за складністю, характером, вимогами безпеки відповідають роботам, що передбачаються функціональними обов'язками цих працівників.

4.2 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки

технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [29].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, струмпрроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцією) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи.

Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.3 Концепція захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного походження

8 червня 2012 р. Президент України підписав Закон України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру" [30].

Цей Закон визначає організаційні та правові основи захисту громадян України та громадян інших держав, які перебувають на території України, захисту об'єктів виробничого і соціального призначення, довкілля від захисту об'єктів виробничого і соціального призначення, довкілля від надзвичайних ситуацій природного характеру .

Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру це — система організаційних, технічних, медико-біологічних, фінансово-економічних та інших заходів для запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру і ліквідації їх наслідків, що реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, відповідними силами та засобами підприємств, установ та організацій, незалежно від форм власності й господарювання, добровільними формуваннями і спрямовані на захист населення і територій, а також матеріальних і культурних цінностей та довкілля.

Законодавство України у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру базується на Конституції

України, цьому Законі й Законі України "Про правовий режим надзвичайного стану" та інших нормативно-правових актах.

Основними завданнями у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру є:

- здійснення комплексу заходів для запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру та реагування на них;
- забезпечення готовності та контролю за станом готовності до дій і взаємодій органів управління у цій сфері, сил та засобів, призначених для запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру і реагування на них.

Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру здійснюється на принципах:

- пріоритетності завдань, спрямованих на рятування життя та збереження здоров'я і довкілля;
- надання переваги раціональній та превентивній безпеці;
- вільного доступу населення до інформації щодо захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій;
- урахування економічних, природних та інших особливостей територій і ступеня реальної небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій;
- максимально можливого ефективного і комплексного використання наявних сил і засобів, призначених для запобігання надзвичайним ситуаціям і реагування на них.

У питаннях захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру громадяни України мають право на:

- отримання інформації про надзвичайні ситуації, що виникли або можуть виникнути, та про заходи необхідної безпеки;
- забезпечення та використання засобів колективного й індивідуального захисту, які призначені для захисту населення від надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;
- соціально-психологічну підготовку та медичну допомогу;

— інші права у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру відповідно до законів України. Для забезпечення реалізації державної політики захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій створюється єдина державна система органів виконавчої влади з питань запобігання надзвичайним ситуаціям природного характеру і реагування на них (далі єдина державна система), яка складається з територіальних і функціональних підсистем.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Підвищення робочої температури фотоелектричної панелі впливає на ефективність сонячної системи в цілому.

2. Наявність теплообмінника фотоелектричної установки з водяним охолодженням може значно змінити ефективність системи. За допомогою розробленої електронної таблиці було перевірено різні фізичні параметри системи, щоб побачити вплив на ефективність фотоелектричної системи. Результати розрахунків показали, що при збільшенні швидкості потоку теплоносія підвищується ефективність.

3. Встановлено, що окрім властивостей теплообмінника, важливу роль у роботі системи відіграє температура води на вході, а також температура навколишнього середовища. Як було схематично показано під час аналізу, коли температура води на вході мала, теплова ефективність висока. Отже, коли вхідна температура теплоносія стає вищою, ККД падає. Подібний результат стосується випадку температури навколишнього середовища.

4. В результаті чітко встановлено, що потужність, отримана від звичайної системи, менша, ніж з охолоджуваною панеллю.

5. Аналіз фотоелектричної системи для автономного будинку показав, що звичайна фотоелектрична система може забезпечити електроенергією звичайний будинок і задовольнити щоденну потребу. Були розраховані різні інші параметри, такі як площа, необхідна для панелей, і кількість акумуляторних батарей, що використовуються для накопичення енергії, і доведено, що таку систему можна встановити. Результати цього аналізу показали, що для запропонованої фотоелектричної системи автономність її в умовах сонячного світла становить 7 днів. Після цього інтервалу часу можна використовувати допоміжний генератор. Використання такого генератора, а також його споживання електроенергії не розраховувалися, оскільки це виходило за межі аналізу.

6. Підводячи підсумок, можна сказати, що фотоелектрична установка

з водяним охолодженням має хороший потенціал у забезпеченні електроенергією, а також теплою водою для попереднього нагріву. Вода як теплоносіє відбирає тепло ефективніше, ніж повітря. Тим не менш, вся конфігурація більш складна і вартість такої системи може бути дуже великою. Порівняння між двома системами показало перевагу PV/W над PV/T у таких сферах, як теплова, електрична та ефективність елементів. Крім того, гібридна PV/W система значною мірою залежить від властивостей теплообмінника. Доведено, що кожна зміна останнього впливає на ефективність системи. Окрім таких фізичних властивостей, як діаметр і довжина труби, також дуже важливі швидкість потоку води та температура. Розробник такої системи повинен враховувати все вищезазначене, щоб розробити оптимальну систему.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шляхи підвищення енергоефективності фотоелектричних систем / Д. П. Драпалюк, А. В. Коваль, В. О. Ковальчук, М. В. Королевич // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 224. — (Електротехніка та енергозбереження).

2. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021“, 2021.

3. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing / Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin // ICAAEIT 2021, 15-17 December 2021. — Tern.: TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk“» LLC, 2021. — P. 14–19.

4. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10.

5. Коваль В. П. Енергоефективність системи позиціонування фотоелектричних батарей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, Ю. О. Пилипчук // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 3. — С. 139.

6. Гергега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Гергега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування—, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.

7. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження

професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.

8. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53

9. Філюк Я. О. Автономне живлення зовнішнього освітлення з використанням світлодіодних джерел світла / Ярослав Філюк, Вадим Коваль // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 19–21 травня 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — С. 191-192.

10. Коваль В.П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів / В.П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Я.М. Осадца, Л.М. Костик // Вісник Хмельницького національного університету – 2022. - №5. – С.168–173.

11. Енергоощадна інтелектуальна система керування механічною системою / Богдан Оробчук, Іван Сисак, Ярослав Осадца, Вадим Коваль, Сергій Бабюк // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 128–130. — (Прикладні застосування механіки в задачах енергозбереження).

12. Керя Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі //Ю.Б.Керя, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.

13. Рудик А.І. Енергоефективність двороторної вітроенергетичної установки // А.І.Рудик, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 70.

14. Стельмах С.С. Енергоефективність гідроакумуючих установок малої потужності // С.С.Стельмах, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 71.

15. Vadym Koval, Serhii Martsenko, Myroslav Zin (2023). Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.

16. Потапенко, М. В., & Шаршонь, В. Л. (2024, September). АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ. In The 2rd International scientific and practical conference “Integration of science and practice as a mechanism of effective development”(September 10–13, 2024) Copenhagen, Denmark. International Science Group. 2024. 255 p. (p. 251).

17. Чепурний М. М. Тепломасообмін в прикладах і задачах : навчальний посібник / М. М. Чепурний, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 128 с.

18. Лабай В. Й. Тепломасообмін / Лабай В. Й. – Львів : Триада Плюс, 2004. – 258 с.

19. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П. Коваль//Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій —, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.— С. 80–81.

20. Mittelman, G., Alshare, A., & Davidson, J. H. (2009). A model and heat transfer correlation for rooftop integrated photovoltaics with a passive air cooling channel. Solar Energy, 83(8), 1150-1160.

21. Fakouriyan, S., Saboohi, Y., & Fathi, A. (2019). Experimental analysis of a cooling system effect on photovoltaic panels' efficiency and its preheating water

production. Renewable Energy, 134, 1362-1368.

22. Eastop & McConkey, Applied thermodynamics for engineering technologists, Longman, 1193, 5th edition.

23. Понтус О.В. Особливості проектування та введення в експлуатацію промислової сонячної електростанції // О.В. Понтус, Р.А. Карпишин, В.П.Коваль / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С 19-21.

24. Bohdan Orobchuk, Oleh Buniak, Ivan Sysak, Serhii Babiuk, Ihor Bodnarchuk, Vadym Koval (2024) Development of Software for the Implementation of Automated Reserve Input Modes Operation. 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 12-14, Vol. 3742, Pages 316-336.

25. Робота фотоелектричної станції на основі гібридного інвертора з різною ємністю системи накопичення електроенергії. Коваль, В., Оробчук, Б., Буняк, О., Гетманюк, В. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. 343(6(1), (2024). С. 208-214.

26. Коваль В.П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб // В.П. Коваль, Д.Ф.Паловці, Abul Kalam Azad / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С .

27. Коваль В.П. Вплив ємності акумулятора на ефективність роботи фотоелектричної станції//В.П.Коваль / Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р. / Нац. акад. наук вищ. освіти України, Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Нац. наук. центр «Ін-т метрології» [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 75-77.

28. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

29. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка ; МОН України. – 4-е видання. – К. : Каравела, 2008. – 384 с.

30. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Файл

Основне

Вставлення

Макет сторінки

Формули

Дані

Рецензування

Подання

Вставити

Буфер обміну

Times New Roman

12

A

A

Ж

К

П

Шрифт

Вирівнювання

Загальний

%

000

Число

H6

</

