

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 ГІБРИДНИХ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНО-ТЕПЛОВИХ
СОНЯЧНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ**

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

(шифр і назва спеціальності)

_____ Бартків В.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль _____ Вакуленко О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Шелестовський Б.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 69 сторінок, аркуші презентації, 31 ілюстрація та 30 використаних першоджерел.

Метою даної роботи є дослідження і аналіз впливу конструктивних особливостей на енергоефективність теплообміну та накопичення теплової та електричної енергії сонячного ФЕ/Т колектора.

У роботі представлено дослідження гібридного сонячного ФЕ/Т колектора, що встановлюють на даху будівель. Проведено аналіз виконаного експериментального дослідження електричної та теплової ефективності. Фотоелектричний модуль, що використовується для виробництва електроенергії, з'єднаний з блоком рекуперації тепла з циркулюючим насосом для охолодження цього модуля, а отримане тепло може використовуватися для гарячого водопостачання.

Ключові слова: ГІБРИДНА ФОТОЕЛЕКТРИЧНА/ТЕПЛОВА (ФЕ/Т) СОНЯЧНА СИСТЕМА, ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Сонячні колектори	9
1.2 Аналіз досліджень гібридних фотоелектрично/теплових сонячних систем та їх життєвого циклу	13
1.3 Аналіз досліджень ФЕ/Т циркуляційних насосів у колекторах.....	17
1.4 Висновки до розділу	19
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	19
2.1 Установа для дослідження залежності ефективності ФЕ/Т колектора від скління та типу циркуляції теплоносія.....	19
2.1.1 Проектування та конструкція приладів ФЕ/Т	19
2.1.2 Експериментальна установка та дослідження	22
2.2 Установа для дослідження залежності енергоефективності ФЕ/Т колектора від способів живлення циркуляційного насос	24
2.2.1 Сонячні системи гарячого водопостачання із різними джерелами електричного живлення	24
2.2.2 Оцінка роботи фотоелектричної/теплової системи.....	27
2.3 Висновки до розділу	31
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	32
3.1 Експериментальні результати дослідження залежності ефективності ФЕ/Т колектора від скління та типу циркуляції теплоносія	32
3.1.1 Експериментальні результати в стаціонарних умовах.....	32
3.1.2 Експериментальні результати щоденної роботи колектора.....	37
3.2 Результати дослідження залежності енергоефективності ФЕ/Т колектора від способів живлення циркуляційного насос	43

3.2.1 Порівняння миттєвих значень продуктивності трьох ФЕ/Т систем	43
3.2.2 Порівняння добової продуктивності трьох ФЕ/Т систем	53
3.2.3 Аналіз шляхів підвищення продуктивності ФЕ/ Т сонячної системи гарячого водопостачання.....	56
3.3 Висновки до розділу	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
4.1 Інструктажі з охорони праці	59
4.2 Захист від статичної електрики	61
4.3 Запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного походження на об'єктах електроенергетики	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67

ВСТУП

Актуальність роботи. Щоб використати енергію сонця для енергетичних цілей необхідне застосування сонячних панелей або батарей. Сонячна енергетика найбільш перспективний напрямок енергозберігаючих технологій, що зумовило таку її популярність у всьому світі.

Використання сонячної енергії для теплопостачання є одним з провідних трендів розвитку світової енергетики на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). На підставі огляду світового ринку сонячного електропостачання та теплопостачання, серед найбільш вживаних технологій використання ВДЕ, сонячна енергетика знаходиться на першому місці.

Завдяки сонячній енергії можна зменшити витрати на опалення і на отримання гарячої води в кілька разів, а також заощадити до 90% традиційного палива щороку.

На сьогоднішній день найбільш ефективні пристрої з використання енергії сонця - сонячні колектори (СК). Ефективність сонячних колекторів в деяких випадках досягає 70 - 85%, тоді як фотоелектричні панелі використовують всього лише 14 - 18% поступаючої сонячної радіації.

Сонячних ресурсів Україні досить для цілорічної роботи, такий висновок можна зробити з аналізу середньорічного надходження сонячної енергії в різних частинах України. На практиці можливий ряд труднощів, так як в реальних умовах сонячна панель може не видавати ті характеристики, які заявлені підприємством - виробником. Це залежить від багатьох факторів, таких як широта місцевості, де розташована установка, кут нахилу по відношенню до Сонця, спектральний склад випромінювання, погода, час доби і температура. Тому рішення даного питання є актуальним.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є дослідження і аналіз впливу конструктивних особливостей на енергоефективність теплообміну та накопичення теплової та електричної енергії сонячного ФЕ/Т колектора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Провести аналіз інженерних рішень та наукових досліджень за темою роботи.
- Запропонувати конструкції експериментальних установок для дослідження впливу конструктивних особливостей на ефективність роботи ФЕ/Т колектора.
- Запропонувати методику оцінки ефективності ФЕ/Т системи.
- Дослідити вплив наявності скління на ефективність ФЕ/Т колектора.
- Дослідити різні способи циркуляції теплоносія у системі охолодження фотоелектричних модулів в тому числі і ФЕ-насос, тобто насос, що живиться на пряму від ФЕ модуля.

Об’єкт дослідження – процес перетворення сонячної енергії у електричну та теплову.

Предмет дослідження – фотоелектрично/теплові сонячні колектори та системи гарячого водопостачання і електропостачання на їх основі.

Наукова новизна отриманих результатів.

Запропоновано методику оцінки ефективності системи на основі ФЕ/Т колекторів, яка використана при опрацюванні експериментальних даних.

Практичне значення отриманих результатів.

Впровадження результатів досліджень отриманих в результаті виконання даної роботи дозволить підвищити ефективність системи одночасного виробництва електричної і теплової енергії з однієї світлопоглинаючої площі та підвищити енергонезалежність цієї системи від зовнішніх джерел енергії.

Використання циркуляційного насоса у індивідуальних сонячних системах енергопостачання, що живиться від окремого ФЕ модуля, забезпечує автоматичне регулювання швидкості потоку теплоносія в залежності від кількості енергії, яка поступає на поверхню ФЕ/Т колектора.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада

2020 року. ТНТУ [1].

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

Загальний обсяг текстової частини – 69 сторінок, 8 таблиць, 31 рисунок.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сонячні колектори

Сонячне теплопостачання в світі є другим видом поновлюваних джерел енергії за обсягами використання. Сонячна енергія у вигляді спрямованого потоку сонячного випромінювання досягає межі верхніх шарів атмосфери Землі. В середньому тепловий потік складає 1395 Вт/м^2 - сонячна стала. Частина випромінювання поглинається. На поверхні землі вимірюють пряму і розсіяну складові променевого потоку.

Геліосистема (ГС) або геліоустановка ГУ - це пристрій для перетворення енергії сонячної радіації в інші види енергії, теплову або електричну, призначена для опалення будинку, ГВП та підігріву води в басейні (рис. 1.1).

Відомо, що використання ГУ, що складаються з СК, дозволяє економити традиційні джерела енергії і знижує шкідливий вплив на атмосферу при виробленні енергії. Завдяки, використанню практично невичерпної енергії сонця, можна досягти позитивного економічного ефекту.



Рисунок 1.1 – Комбінована геліоустановка

Конструктивно ГУ являє собою замкнутий трубчастий контур, по якому

циркулює теплоносієм (ТН). Сонячні промені, потрапляючи на поверхню колектора, поглинаються абсорбером, нагріваючи ТН, який з колектора по трубопроводах надходить в бак, нагріваючи в ньому воду.

Конструктивно будь-яка ГУ гарячого водопостачання складається з сонячної панелі - основний елемент в конструкції ГС, і резервуара для нагрітої води (баки бувають з теплообмінником при використанні в якості ТН (антифризу) (рис.1.2).

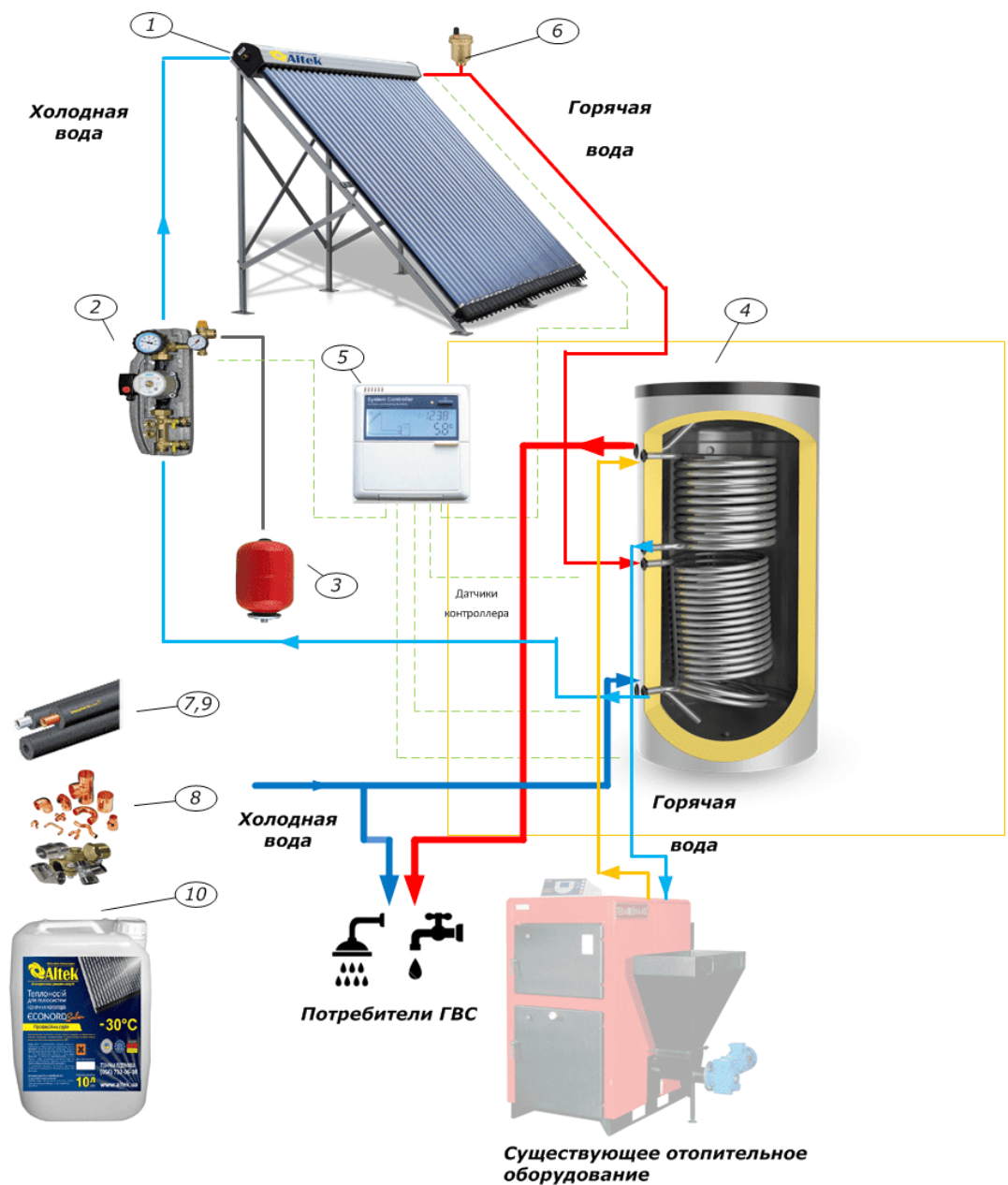


Рисунок 1.2 – Геліоустановка гарячого водопостачання

За способом використання сонячної радіації системи сонячного

теплопостачання бувають пасивні і активні.

Комбіновані ГС зазвичай цілорічної дії, використовують для цілей теплохолодопостачання будівель, включають додаткове джерело теплоти у вигляді традиційного теплогенератора, що працює на органічному паливі, або трансформатора теплоти.

На сьогоднішній день сонячні колектори (СК) є найбільш ефективними пристроями, що використовують енергію сонця (рис. 1.3). Для порівняння, ККД фотоелектричних панелей складає близько 14 – 18 %, на СК ефективно використовується приблизно 70 - 85% поглиненої сонячної енергії.

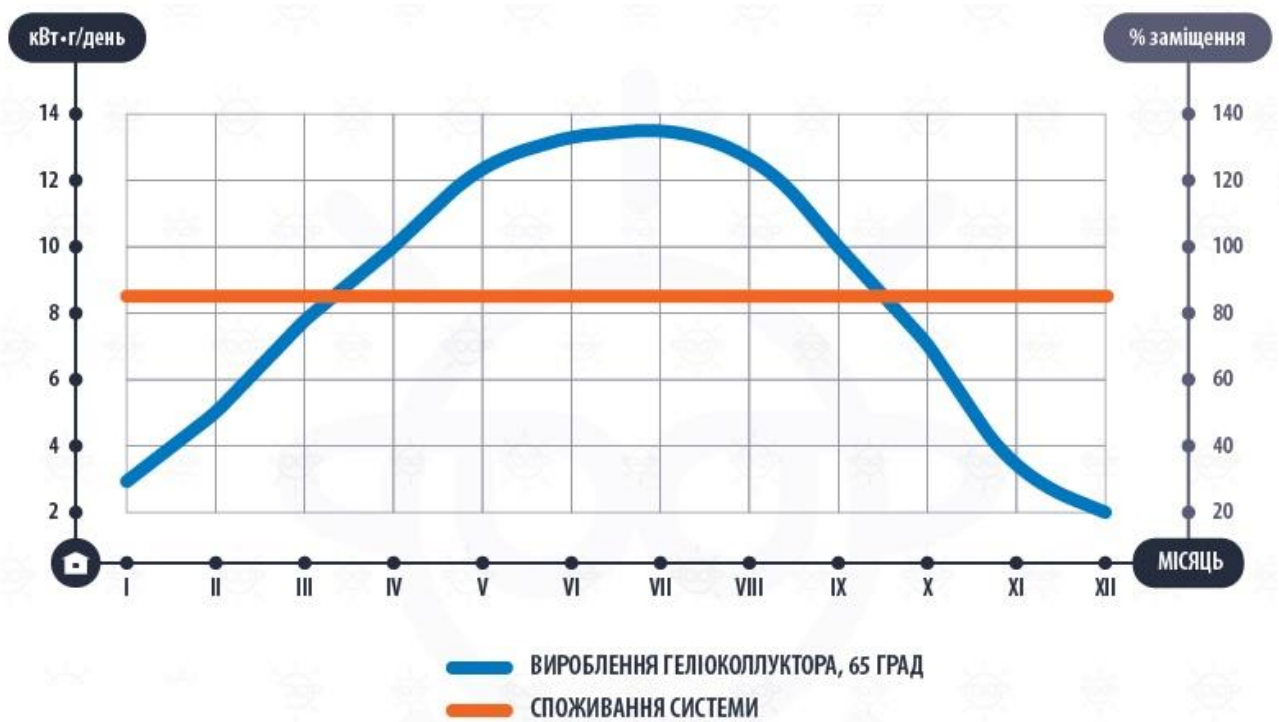


Рисунок 1.3 – Вироблення і заміщення теплового навантаження системи

За конструктивними особливостями СК бувають: повітряні і водяні. Водяні СК поділяються на вакуумні і плоскі. Повітряний СК призначений для нагріву повітря, що безпосередньо подається в систему теплопостачання, застосовується в осушувальних апаратах, в системах з повітряним опаленням, і з рекуперацією повітря в приміщеннях.

Конструкція СК є плоскою панеллю, вмонтованою в південний фасад

будівлі. Абсорбер виконаний з пластин добре провідного металу (мідь, алюміній), рідше з пластика. Повітря нагрівається безпосередньо при контакті з пластиною абсорбера. Для збільшення площі тепловіддачі абсорбер має ребристу форму або перфорацію. СК повинен бути добре ізольований для зменшення теплових втрат. Циркуляція повітря в таких системах може бути як природною, так і примусовою із застосуванням вентиляторів. Повітряний колектор працює при значно менших температурах, для початку роботи ГС температура на колекторі повинна бути 25 - 30 ° С. Зниження теплових втрат підвищує ефективність системи. Однак з огляду на те, що теплопровідність повітря мала застосування таких систем досить обмежена. Завдяки повітряним колекторам можна добитися значної економії енергоресурсів в системах повітряного опалення. Переваги повітряних колекторів: простота; дешевизна; ефективність при використанні в системах сушки.

1.2 Аналіз досліджень гібридних фотоелектрично/теплових сонячних систем та їх життєвого циклу

Гібридні фотоелектричні/теплові (ФЕ/Т) сонячні колектори поєднують фотоелектричні модулі (ФЕ) та теплові (Т) колектори в одному блоці, виробляючи як електрику, так і теплову енергію, в основному для побутових потреб. Ідея роботи таких пристроїв полягає в тому, що вони, крім виробленої електроенергії, накопичують у теплоносії «відходи» тепла, що утворюються у фотоелектричних елементах [2]. Часто замість рідкого теплоносія можна використовувати повітря із високим значенням швидкості потоку, досягаючи зниження температури фотоелементів та підвищення загальної ефективності системи [3]. Головною перевагою цих систем є їх здатність виробляти більше корисної енергії на одиницю поверхні, використовуючи окремі фотоелектричні панелі та сонячні теплові колектори. Більше того, за рахунок відібраного тепла в наслідок циркуляції рідини, знижується температура сонячних елементів, що призводить до підвищення електричної ефективності приладів.

Оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) (рис. 1.4) - це методологічний інструмент, який широко використовується для оцінки впливу на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу системи, починаючи від видобутку сировини та закінчуючи виробничими процесами і, нарешті, до утилізації або переробки [4]. Відповідно до методології, визначеної ISO 14040, повне дослідження ОЖЦ повинно містити такі етапи:

- Визначення цілі та сфери застосування (ЦЗЗ);
- Аналіз інвентаризації життєвого циклу (АЖЦ);
- Оцінка впливу на життєвий цикл (ОВЖЦ);
- Інтерпретація.



Рисунок 1.4 – Життєвий цикл системи

Визначення цілі та сфери застосування ОЖЦ визначає межі досліджуваної системи та визначає її функціональну одиницю, яка забезпечує основу для порівняння з альтернативними товарами чи послугами. Комплексний аналіз життєвого циклу пристрою проводиться з метою кількісної

оцінки всіх утворених входів (сировина та енергія) та вироблених продуктів (повітря, рідина та тверді викиди) протягом життєвого циклу пристрою.

На етапі ОВЖЦ отримують показники та основу для аналізу необхідних ресурсів, утворених відходів/викидів та аналізу потенційних наслідків. Наслідки встановлюються шляхом характеристики, оцінки, класифікації та зважування. В результаті отримується оцінка життєвого циклу продукту, як функціональної одиниці, з точки зору кількох категорій впливу (таких як зміна клімату, токсикологічний стрес, евтрофікація тощо). Нарешті, шляхом інтерпретації оцінюються результати всіх вищезазначених етапів, щоб оцінити глобальний екологічний профіль товару.

Процедура, використана в цьому дослідженні, відповідає стандартам ISO 14040 та 14044 і вона була реалізована за допомогою програмного забезпечення SimaPro8.2 [5], яке включає базу даних Ecoinvent 3.3.

Поточна робота включає методологію Еко-індикатора 99 для класифікації та зважування впливів на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу системи та присвоєння їм конкретних показників, що відносяться до різних категорій впливу [6]. Категоріями впливу є: канцероген, неорганічні органи дихання, органічні органи дихання, зміна клімату, радіація, озоновий шар, підкислення/евтрофікація, екотоксичність, землекористування, використання мінеральних речовин та викопне паливо.

Переваги поєднаного енергетичного та екологічного аналізу, застосованого до технологій відновлюваної енергетики, були обговорені в кількох дослідженнях, і їх можна класифікувати на три основні категорії:

1) оцінка екологічних та енергетичних показників гібридних фотоелектричних (ФЕ) та вітрових турбін (ВТ) або гібридних технологій (поєднання ФЕ та ВТ);

2) оцінка екологічних та енергетичних показників сонячних теплових технологій;

3) оцінка екологічних та енергетичних показників гібридних фотоелектричних/теплових (ФЕ/Т) систем.

У першій категорії увагу звертають на аналіз матеріалів фотоелементів та енергії високоефективних фотоелектричних систем, оцінюючи термін окупності та викиди парникових газів, тоді як були розглянуті дві різні сфери впровадження: земля та вода. Дослідження, представлене Тремеаком та Менсьє, стосується екологічного аналізу систем ВТ. Методика ОЖЦ була використана для порівняння двох різних систем ВТ (4,5 МВт та 250 Вт), що оцінюють вплив на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу. Були досліджені всі стадії (виробництво, транспортування, встановлення, обслуговування та утилізація) та проведено аналіз чутливості. У роботі Гезурага та співавт. досліджено вплив на навколишнє середовище двох ВТ. Методологія ОЖЦ застосовувалась протягом усього життєвого циклу систем, від виробництва до демонтажу, з метою підтвердження найбільшій енергоефективності на всіх стадіях. Обидва дослідження показують, що найменш екологічно чистою стадією ОЖЦ є фаза виробництва, яка представляє найбільшу енергоємну частину загального життєвого циклу систем ВТ.

Друга категорія включає всі дослідження, що вивчають екологічні та енергетичні показники сонячних колекторів та системи на їх основі. Артенде та ін. [7] розраховували вплив на навколишнє середовище фаз виробництва, монтажу, технічного обслуговування та утилізації сонячного термосифонного пристрою на основі плоского сонячного колектора. Метою статті було синтезувати екопрофіль колектора, оцінюючи основну енергію та вплив на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу продукту.

Інше дослідження [8] стосується енергетичного та екологічного балансу під час роботи тих самих систем. Ця стаття зосереджена на оцінці енергетичних показників, зокрема, на вивченні "глобального енергоспоживання" системи. Калогіру [9] вивчав аналіз екологічного життєвого циклу сонячних водонагрівачів. Конкретна система включала плоский колектор та резервуар для води і він був встановлений на даху будинку з 4 мешканцями в Малі. Моделювання виконане за допомогою програмного забезпечення TRNSYS і застосована в місті Бамако. Той самий автор вивчав екологічні показники у

процесі виробництва теплової енергії водонагрівача. Ці системи задовольняли потреби гарячої води у сім'ї з 4 осіб. У першому дослідженні аналізувались екологічні, економічні та теплові показники системи гарячого водопостачання, встановленої на Кіпрі, тоді як друге дослідження зосереджене на оцінці впливу на навколишнє середовище в режимі роботи сонячних теплових систем, встановлених у місті Кіото. Крім того, Арнаотакіс [10] вивчав екологічні наслідки дії двох комерційних типів сонячних теплових систем, термосифонної системи з плоским колектором та сонячного водонагрівача з інтегрованим колекторним накопичувачем. Стаття була зосереджена на експериментальному дослідженні теплової поведінки досліджуваних систем і перейшла до екологічного аналізу протягом їх повного життєвого циклу. Цуцос та ін. [11] описували вплив на довкілля для життєвих циклів сонячних енергетичних технологій (фотоелектрики, сонячної теплової та сонячної енергії), наголошуючи на оцінці та впливі сонячних водонагрівачів на навколишнє середовище, на екосистему та людей.

1.3 Аналіз досліджень ФЕ/Т циркуляційних насосів у колекторах

Багато досліджень ФЕ системи проводились Фіратоглу [12], Гонейм [13] та ін. окремо розробили імітаційні моделі системи ФЕ для живлення насоса та спробував оптимізувати продуктивність ФЕ-насоса шляхом регулювання нахилу ФЕ панелей. Хамідат [14] та ін. представив дві математичні моделі для моделювання характеристик ФЕ-насосних систем, а результати моделювання системи з відцентровим насосом та насосом з додатнім переміщенням добре узгоджуються з результатами випробувань. Саллем та ін. [15] представив оптимальний алгоритм управління для ФЕ системи прокачування води. Алгоритм приймав рішення за нечіткими правилами на основі прогнозування генерування фотоелектричними панелями енергії протягом певного дня. На основі алгоритму управління час прокачування фотоелектричного насоса можна продовжити більш ніж на 5 годин на день. А це може збільшити 97%

Калделліс та ін. [16] представив енергетичний аналіз ФЕ-насосної системи. І результати показали, що енергоефективність ФЕ системи циркуляції в основному регулюється ФЕ ефективністю модуля. Бенганем та ін. [17] експериментально вивчили вплив циркуляційного насоса на ФЕ систему накачування. Тестові результати показали, що ефективність системи зростає, коли напір насос збільшиться з 50м до 80м. Тіварі та ін. експериментально вивчили вплив конфігурацій ФЕ [18], загальної напруги та сонячного випромінювання [19] на ефективність ФЕ системи накачування. Більше того, оскільки ФЕ-насос має багато переваг, інженери та науковці намагаються застосовувати ФЕ-насос до сонячних водяних систем опалення. Наприклад, Аль-Ібрагім та ін. [20] представив методологію пошуку оптимальної конфігурації ФЕ-насосної системи, що використовується в системі гарячого водопостачання. Результати показали, що в порівнянні зі звичайною сонячною водонагрівальною системою, сонячна водяна система опалення в поєднанні з оптимальним ФЕ-насосом може заощадити мінімум 3 Вт год на годину роботи насоса. Грассі та співавт. [21] розробили ФЕ керовану систему гарячого водопостачання, з постійною температурою на виході з колектора. І вони представили алгоритм прогнозування температури на виході з колектора щодо ФЕ пікової вихідної потужності, ступеня контролю, освітленості та характеристик ефективності колектора в ході дослідження.

1.4 Висновки до розділу

1. Ефективність сонячних колекторів в деяких випадках досягає 70 - 85%, тоді як фотоелектричні панелі використовують всього лише 14 - 18% від сонячної радіації, яка надходить. А використання спільної енергопоглинаючої площі дозволить підвищити сумарну енергоефективність отримання корисних видів енергії із сонячної.

2. Підвищення ККД фотоелектричних систем можливо шляхом зменшення їх робочої температури нижче за 70 °С.

3. Енергоефективність ФЕ системи циркуляції в основному регулюється ФЕ ефективністю модуля.

4. В порівнянні зі звичайною сонячною водонагрівальною системою, сонячна водяна система опалення в поєднанні з оптимальним ФЕ-насосом може заощадити мінімум 3 Вт·год на годину роботи насоса.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Установа для дослідження залежності ефективності ФЕ/Т колектора від скління та типу циркуляції теплоносія

2.1.1 Проектування та конструкція приладів ФЕ/Т

Досліджувана установка базується на системі ФЕ/Т, яка зображена на рис. 2.1 і містить колектор ФЕ/Т та резервуар для зберігання (бак-акумулятор). Колектор ФЕ/Т складається з полікристалічного ФЕ-модуля (характеристики наведені у табл. 2.1) та блоку відводу тепла (бондарний лист із трубами), ламінованою задньою поверхнею ФЕ-модуля для досягнення теплового контакту.

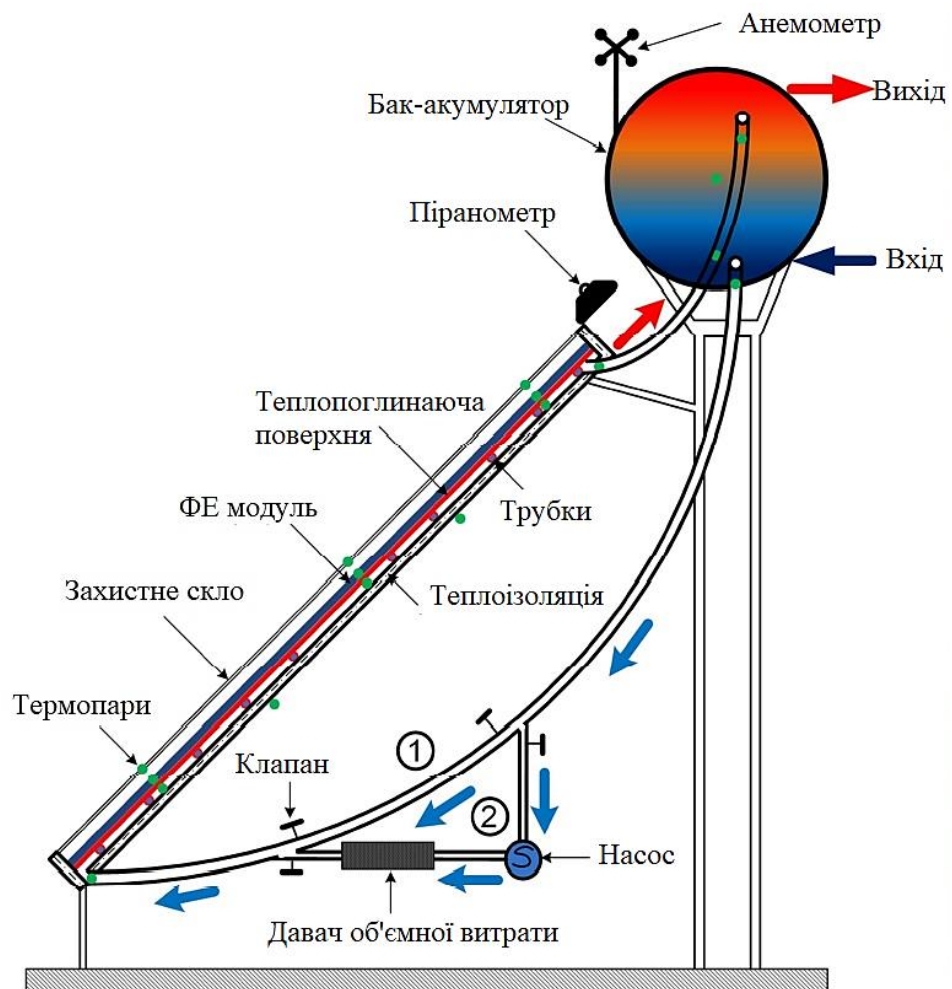


Рисунок 2.1 - Поперечний переріз досліджуваного ФЕ/Т колектора, і деталі систем та контрольно-вимірювальні прилади

Проведено дослідження двох типів колекторів ФЕ/Т, відкритого та із захисним склом. Скло має низький вміст оксиду заліза товщиною 2 мм із загальним коефіцієнтом пропускання $\tau = 92$ (при нормальній частоті сонячного випромінювання). Світлопоглинаюча поверхня ФЕ-модуля становить $0,9 \pm 0,01 \text{ м}^2$, а габаритні розміри - 1490 x 670 x 46 мм. Теплоносієм є вода, що протікає по трубах (рис. 2.1). Колектор ФЕ/Т теплоізолюваний за допомогою азбесту на задній панелі та по краях для зменшення тепловтрат у навколишнє середовище і з'єднаний з циліндричним резервуаром для води. Система працює або при примусовій (накачувальній) циркуляції або за природним (термосифонічним) потоком води. Важливо зазначити, що вода, яка протікає по трубах, зберігається в циліндричному резервуарі, таким чином, весь агрегат працює як відкрита система.

Таблиця 2.1 - Електричні характеристики фотоелектричного модуля під час роботи в стандартних умовах випробувань (СУВ)

Максимальна електрична потужність,	$P_{\text{mpp}} = 123,8 \text{ Вт (+3\%/-0\%)}$
Напруга в точці максимальної потужності	$V_{\text{mpp}} = 16,5 \text{ В}$
Максимальна напруга (розімкнута ланцюг),	$V_{\text{oc}} = 21,9 \text{ В}$
Максимальний струм (коротке замикання),	$I_{\text{sc}} = 8,08 \text{ А}$
Струм при точці максимальної потужності,	$I_{\text{mpp}} = 7,49 \text{ А}$
Максимальний допуск напруги	880 В
Відхилення напруги (розімкнута ланцюг)	-0,35 (%/К)
Відхилення струму (коротке замикання)	+0,07 (%/К)

Для роботи сонячних теплових приладів, спрямованих на покриття енергетичних потреб для побутового використання, співвідношення об'єму накопиченої води на площу світлопоглинаючої поверхні, V_T / A_a та часу на підвищення температури відіграє важливу роль, а також кінцева температура гарячої води [19]. Колектор ФЕ/Т з додатковим склінням демонструє менші теплові втрати порівняно з незаскленним корпусом, що призводить до вищих значень температури води, яка зберігається; таким чином, засклений колектор було обрано для поєднання з резервуарами для зберігання. Для визначення оптимального значення V_T / A_a було випробувано два резервуари для зберігання (з об'ємом $30,17 \pm 0,01$ л та $40,82 \pm 0,01$ л відповідно). Отже, відповідні співвідношення V_T / A_a для систем ФЕ/Т були визначені як 30.48 ± 0.01 л/м² і 41.23 ± 0.01 л/м².

У звичайних (термосифонних або примусово циркулюючих) сонячних водонагрівачах співвідношення об'єму накопичувального резервуара на площу світлопоглинаючої поверхні варіюється в межах від 50 до 75 л/м², залежно від режиму циркуляції, разом із типом теплового колектора (плоска пластина, вакуумна трубка тощо).

Оскільки тепла поглинаюча здатність фотоелектричного модуля становить приблизно 0,7, це знижує тепловий ККД системи. Як результат, зменшення вищезазначеного співвідношення розглядається як необхідний компроміс для того, щоб забезпечити достатнє підвищення температури під час щоденної роботи. Враховуючи також циркуляцію потоку рідини від колектора до резервуару для води та об'єм резервуара, експериментальні моделі розрізняють як: систему ФЕ/Т 30А з природною циркуляцією та резервуар для води 30,17 л, систему ФЕ/Т 40А з природною циркуляцією та бак для води 40,82л, система ФЕ/Т 30В з примусовою циркуляцією та резервуар для води 30,17 л. та система ФЕ/Т 40В з примусовою циркуляцією та резервуар для води 40,82 л. У випадках ФЕ/Т 30А та ФЕ/Т 40А системи використовують термосифонний потік для транспортування теплової рідини від колектора до

резервуарів і навпаки, тоді як у випадках ФЕ/Т 30В та ФЕ/Т 40В, циркуляція потоку рідини від колектора до резервуарів здійснюється за допомогою водяного насоса. На рис.2.1 вказані шляхи циркуляції рідини ((1) для термосифонного та (2) для примусового), вхід і вихід накопиченої води, деталі систем та приладів.

2.1.2 Експериментальна установка та дослідження

Технічна життєздатність гібридних систем ФЕ/Т залежить від двох основних факторів: від досягнення необхідної теплової енергії і, що найважливіше, від виробництва електричної енергії, що досягає максимально високої електричної ефективності. Теплова енергія визначається кількістю виробленого тепла через систему ФЕ/Т, тоді як сама температура визначає якість енергії. З іншого боку, температура впливає на електричну ефективність системи та на загальну вироблену електричну енергію. Вплив на довкілля є додатковим фактором життєздатності відповідних систем..

Таким чином, необхідно перейти до експериментального вивчення запропонованих гібридних систем з урахуванням їх теплової та електричної поведінки, щоб визначити відповідні параметри, що впливають на виробництво енергії. Спочатку досліджували електричну поведінку гібридного колектора ФЕ/Т при різних температурах фотоелектричного модуля, що призвело до формулювання відповідних рівнянь, що описують варіацію його максимальної електричної ефективності. Далі було вивчено теплову поведінку колектора ФЕ/Т у стаціонарному стані, щоб визначити його миттєву теплову ефективність. Додатково було розроблено варіацію миттєвої теплової ефективності з урахуванням робочих умов, з електричним навантаженням або без нього. Останній етап експериментального дослідження стосувався визначення середньодобової ефективності систем ФЕ/Т (колектор ФЕ/Т та резервуари для зберігання), а також їх варіації з урахуванням переважаючих погодних умов та вивченням бажаної температури води, що зберігається.

Для експериментального дослідження були виміряні такі параметри: вхідна та вихідна температура циркулюючої води в колекторі ФЕ/Т (T_{in} , T_{out} в °С), температура модуля ФЕ ($T_{ФЕ}$ в °С), температура накопиченої води (T_{tank} в °С), температура навколишнього середовища (T_a в °С), сонячна радіація (G в Вт·м⁻²), швидкість вітру (v_w у м/с), об'ємна швидкість потоку (dV/dt в л/с) та максимальної електричної потужності фотомодуля (P_m у Вт). Для вимірювання сонячного випромінювання G та швидкості вітру використовували пінометр SMP6 (Kipp & Zonen) з очікуваною добовою невизначеністю < 5% та анемометр A100LK (Windspeed Limited/Vector Instruments) з точністю $\pm 0,1$ м/с. Для вимірювання температур у декількох положеннях у системах ФЕ/Т застосовувались термопари типу 1 мідно-константанові (Cu-CuNi) з точністю $\pm 0,5$ °С. Для вимірювання температури ФЕ-модуля було встановлено шість термопар; три на лицьовій стороні і три на задній панелі фотоелектричної панелі, і була розрахована середня температура. Тоді як для вимірювання температури води, що зберігається, були встановлені дві термопари всередині накопичувального бака, а також розрахована середня температура води. Для визначення об'ємної витрати під час роботи примусової циркуляції систем ФЕ/Т (ФЕ/Т30В та ФЕ/Т40В) був встановлений електромагнітний датчик об'ємного потоку SM6000 (ifm Inc.) з точністю $\pm 0,8$ %. Електричні характеристики колектора ФЕ/Т вимірювали та реєстрували за допомогою приладу для вимірювання ВАХ модуля. Прилад для вимірювання ВАХ модуля дозволяє вимірювати криву ФЕ-модуля, а також може вимірювати та обчислювати пікову потужність P_m . Результати розрахунку та діаграма кривої ВАХ можуть відображатися на екрані ПК. Більшість датчиків та приладів експериментальної установки, включаючи їх позиціонування, зображені на рис.2.1. Експериментальні вимірювання були записані за допомогою реєстратора даних.

2.2 Установка для дослідження залежності енергоефективності ФЕ/Т колектора від способів живлення циркуляційного насосу

Експериментальні установки трьох ФЕ/Т систем сонячного гарячого водопостачання показані на рис. 2.2. Кожна з ФЕ/Т систем складається з ФЕ/Т сонячного колектора, ємності для зберігання води ємністю 100 л, акумулятора 12 В і 12 В ФЕ та контролера. Ефективна площа збору опромінення ФЕ/Т сонячного колектора становить $0,6579 \text{ м}^2$. ФЕ модуль ФЕ/Т сонячного колектора складається з 36 частин невеликих монокристалічних кремнієвих фотоелементів, які розташовані послідовно. Площа ФЕ фотомодуля становить $0,5573 \text{ м}^2$. Пікова потужність фотомодуля в стандартних умовах випробування (при інтенсивності опромінення 1000 Вт/м^2 і температурі $25 \text{ }^\circ\text{C}$) становить $82,9 \text{ Вт}$ (відповідний коефіцієнт корисної дії - $14,9 \%$, напруга - $17,5 \text{ В}$, а струм - $4,7 \text{ А}$), струм короткого замикання та напруга холостого фотомодуля становлять $5,1 \text{ А}$ та $22,4 \text{ В}$ відповідно.

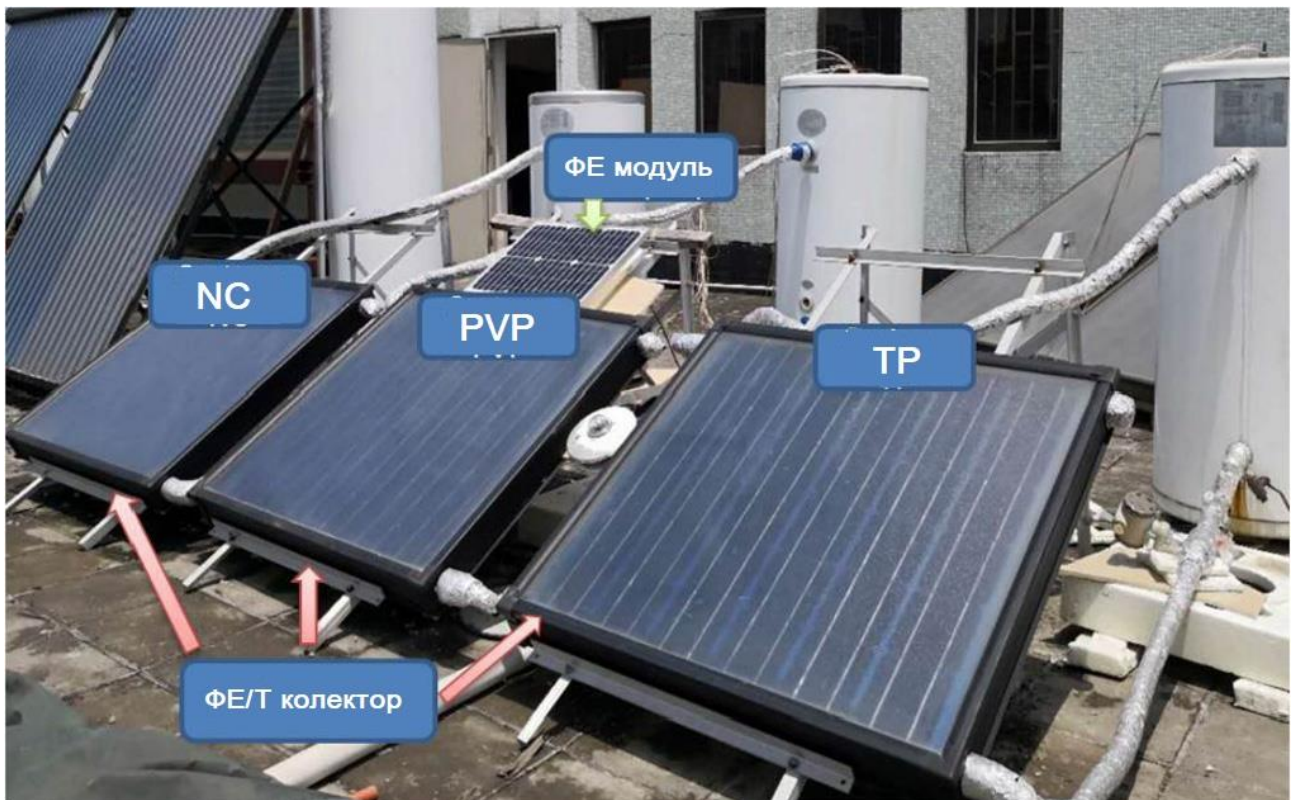


Рисунок 2.2 - Випробувальні установки трьох систем

Характеристики трьох ФЕ/Т систем сонячного водяного опалення показані наступним чином:

Система NC: система ФЕ/Т з природною циркуляцією (рис. 2.3);

Система PVP: ФЕ/Т система з безпосередньо зв'язаним ФЕ-насосом (рис. 2.4). ФЕ насос складається з автономного ФЕ-модуля (ФЕ площа становить $0,146 \text{ м}^2$), безщіткового насоса постійного струму 12 В з номінальною споживаною потужністю 10 Вт та максимальною швидкістю потоку 8 л/хв. Характеристики окремого ФЕ модуля за стандартних умов випробування такі: $I_{sc} = 1,7\text{A}$, $V_{oc} = 22,3\text{V}$, $P_{mp} = 20\text{W}$. У ФЕ-наосі ФЕ-модуль безпосередньо з'єднаний з насосом постійного струму без будь-якого елемента управління.

Система TP: ФЕ/Т система із традиційним безколекторним насосом постійного струму (рис. 2.5). Робоча напруга насоса постійного струму становить 12 В, номінальне споживання енергії - 10 Вт, а максимальна швидкість потоку - 8 л/хв. Під час експериментів насос постійного струму постійно працює на постійній потужності біля номінальної потужності, а живиться насос постійним струмом від ФЕ/Т колектора. Якщо потужності фотоелектричної енергії недостатньо для живлення насоса постійного струму, частина енергії буде надходити від акумулятора.

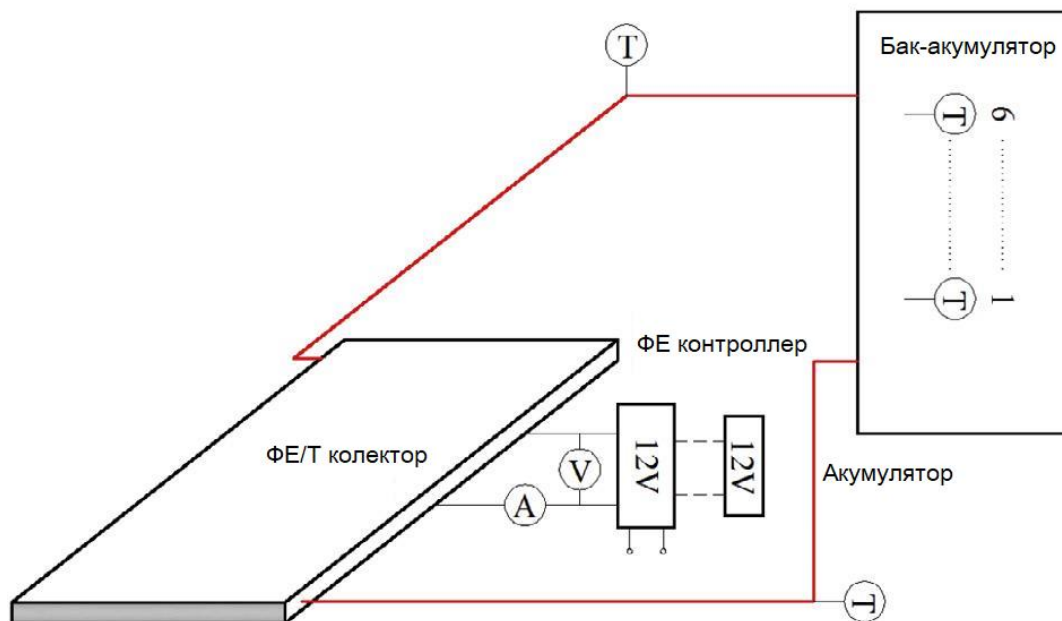


Рисунок 2.3 - Система з природною циркуляцією (NC)

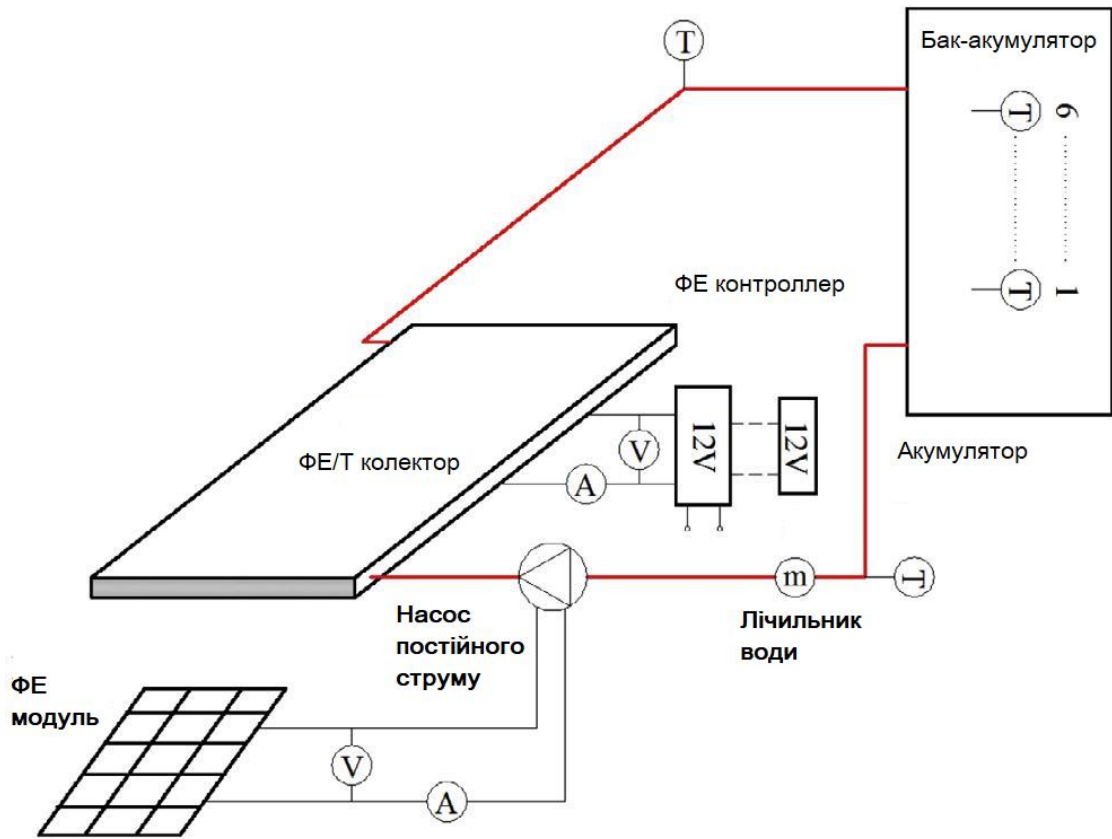


Рисунок 2.4 - Система з насосом, який живиться від ФЕ

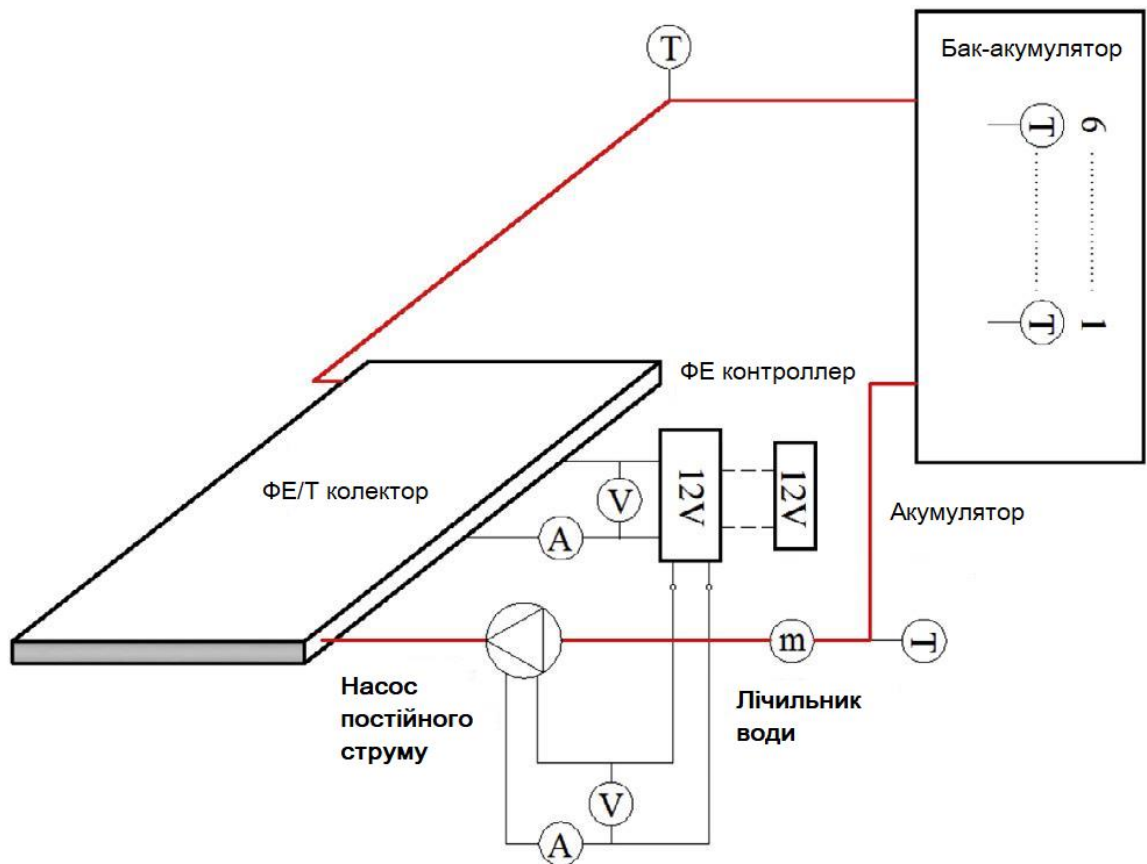


Рисунок 2.5 - Система з типовим насосом постійного струму

Пристрої для тестування та контролю, що використовуються в експерименті, перераховані в таблиці 2.2. У кожному резервуарі для води є шість термопар типу Т, які встановлені вертикально. Дані вимірювань збираються реєстратором даних кожну 1 хв протягом експериментального періоду.

Таблиця 2.2 - Список приладів для випробувань та контролю

Пристрій	Специфікація	Точність	Розташування
Термопара	Т-тип (клас I)	$\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$	Вхід та вихід сонячних колекторів; резервуар для зберігання; навколишнє середовище тощо.
Піранометр	TQB-2 (Sunlight, Китай)	2 %	Біля сонячного колектора з однаковим кутом нахилу
Витратомір	LWGY-10 (Сміт, Китай)	1 %	Вихід з бака-акумулятора
Датчик постійного струму	WBI342U01 (WeiBo, Китай)	0,5 %	Вихід фотоелектричної енергії, вхід насоса постійного струму

2.2.2 Оцінка роботи фотоелектричної/теплової системи

ФЕ потужність ФЕ/Т сонячного колектора визначається як:

$$\dot{E}_{pv} = I_{pv} \cdot V_{pv}, \quad (2.1)$$

а щоденне виробництво електричної енергії ФЕ/Т сонячного колектора буде рівне:

$$E_{pv} = \sum_N \dot{E}_{pv} \cdot \Delta t \times 10^{-6}, \quad (2.2)$$

де Δt – інтервал збору даних;

N – порядковий номер збору даних.

Щоденна електрична ефективність ФЕ/Т сонячного колектора визначається як:

$$\eta_{pv} = \frac{E_{pv}}{A_{pv} H_t} \times 100\%, \quad (2.3)$$

де H_t - добова сумарна кількість сонячного опромінення на одиницю площі ФЕ/Т колектора, яка визначається як:

$$H_t = \sum_N G \cdot \Delta t \times 10^{-6}. \quad (2.4)$$

Щоденний приріст тепла в ФЕ/Т системі виражається як:

$$Q_w = M_w c_{p,w} \bar{T}_{wt,f} - \bar{T}_{wt,i} \times 10^{-6}, \quad (2.5)$$

де $\bar{T}_{wt,i}$ та $\bar{T}_{wt,f}$ - початкова та кінцева середні температури води у баку-акумуляторі, відповідно;

$c_{p,w}$ - питома теплоємність води.

Щоденна теплова ефективність ФЕ/Т системи становить:

$$\eta_w = \frac{Q_w}{A_c H_t} \times 100\%. \quad (2.6)$$

Чисте загальне виробництво енергії ФЕ/Т системи становить:

$$Q_{tot.net} = Q_w + E_{net}, \quad (2.7)$$

де E_{net} - це чиста вихідна фотоелектрична енергія ФЕ/Т системи.

Для ФЕ/Т систем з природною циркуляцією та ФЕ-насосом, $E_{net} = E_{pv}$; а для системи з традиційним насосом постійного струму E_{net} визначається наступним чином:

$$E_{net} = E_{pv} - P_c. \quad (2.8)$$

Загальна енергетична ефективність ФЕ/Т системи розраховується як:

$$\eta_{en} = \frac{Q_{tot,net}}{A_e H_t} \times 100\%, \quad (2.9)$$

де A_e - загальна ефективна площа колектора ФЕ/Т системи.

Для ФЕ/Т систем з природною циркуляцією та традиційним насосом постійного струму, $A_e = A_c$; а для ФЕ/Т системи з ФЕ-насосом враховується сонячне випромінювання, яке падає на ФЕ-модуль ФЕ-насоса, отже

$$A_e = A_c + A_{pv,p}$$

де $A_{pv,p}$ - площа ФЕ-модуля ФЕ-насоса.

Загальний добовий ексергетичний вихід ФЕ/Т системи такий:

$$E_{tot} = Q_w \left(1 - \frac{\bar{T}_a + 273,15}{\bar{T}_{wt,f} + 273,15} \right) + E_{net}. \quad (2.10)$$

Загальна ексергія добової падаючої сонячної радіації розрахована за посиланням [22]:

$$E_s = A_e H_t \left(1 - \frac{4}{3} \left[\frac{\bar{T}_a + 273,15}{\bar{T}_{sun} + 273,15} \right] + \frac{1}{3} \left[\frac{\bar{T}_a + 273,15}{\bar{T}_{wt,f} + 273,15} \right]^4 \right), \quad (2.11)$$

де \bar{T}_{sun} - температура сонця, $\bar{T}_{sun} = 5505$ °С.

Загальна ексергетична ефективність ФЕ/Т системи визначається як:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{net}}{E_s} \times 100\%. \quad (2.12)$$

У даному дослідженні для кореляції добової теплової ефективності використовується напівемпірична модель ефективності системи, дана Хуангом та Ду [23]. Співвідношення має вигляд:

$$\eta_w = \alpha - U \frac{\bar{T}_{wt,i} - \bar{T}_a}{H_t}, \quad (2.13)$$

де α - добова тепла ефективність, коли початкова температура води дорівнює середньодобовій температурі навколишнього середовища;

U - еквівалентний коефіцієнт теплових втрат.

Крім того, метод вводу-виводу також використовується для оцінки теплових характеристик ФЕ/Т системи. Цей метод заснований на лінійній функції, яка співставляє добовий приплив тепла з добовою сонячною радіацією та різницею температур між навколишнім середовищем та водою в резервуарі. Лінійна залежність виражається як [24,25]:

$$Q_w = \alpha_1 H_t + \alpha_2 \bar{T}_a - \bar{T}_{wt,i} + \alpha_3. \quad (2.14)$$

Де коефіцієнти a_1 , a_2 і a_3 можуть бути визначені за серіями щоденних результатів випробувань. Коефіцієнт a_1 представляє теплові характеристики

системи; коефіцієнти a_2 і a_3 пов'язані з тепловтратами та тепловою інерцією системи відповідно.

2.3 Висновки до розділу

1. Представлено структуру та основні вимірювальні прилади двох установок які використовувалися для дослідження роботи ФЕ/Т колекторів із природньою циркуляцією теплоносія та примусовою, а також із додатковим захистним склінням та без нього.

2. Запропоновано методику оцінки ефективності системи на основі ФЕ/Т колекторів, яка використана при опрацюванні експериментальних даних.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Експериментальні результати дослідження залежності ефективності ФЕ/Т колектора від скління та типу циркуляції теплоносія

3.1.1 Експериментальні результати в стаціонарних умовах

Як згадувалося вище, гібридні ФЕ/Т системи можуть забезпечувати електричну та теплову енергію, таким чином досягаючи більш високої швидкості перетворення поглиненої сонячної радіації. Сонячні колектори ФЕ/Т без додаткового скління виробляють більшу кількість електричної енергії (залежно від умов експлуатації), порівняно із зашкєними. Тим не менше, їх миттєва теплова ефективність знижується для більш високих робочих температур, через збільшені теплові втрати від передньої (головним чином) і задньої поверхні фотоелектричного модуля до навколишнього середовища. Навпаки, додавання додаткового скління над передньою поверхнею фотоелектричного модуля збільшує миттєву теплову ефективність для більш широкого діапазону робочих температур, тоді як додаткові оптичні втрати зменшують електричну потужність фотоелектричних модулів.

Випробування в стаціонарному режимі проводили на відкритому повітрі, і результатами є електричні та теплові характеристики двох типів колекторів ФЕ/Т. Як згадувалося в розділі 2, перший тип був відкритим колектором (ФЕ/Т UNGL), а другий - зашкєним колектором ФЕ/Т (ФЕ/Т GL). На першому етапі дослідження було вивчено електричні характеристики двох установок. За допомогою пристрою вимірювання електричних характеристик були отримані вольт-амперна (ВАХ) та вольт-ватна (ВВХ) характеристики, при умові, що падаюча сонячна радіація була близькою до 1000 Вт/м^2 , тоді як температура ФЕ-модуля знаходилася в діапазоні від 16 до 97 °С. Результати представлені на рис. 3.1, демонструють залежність електричних характеристик установок від наявності або відсутності додаткового скління і, звичайно, від температури фотомодуля.

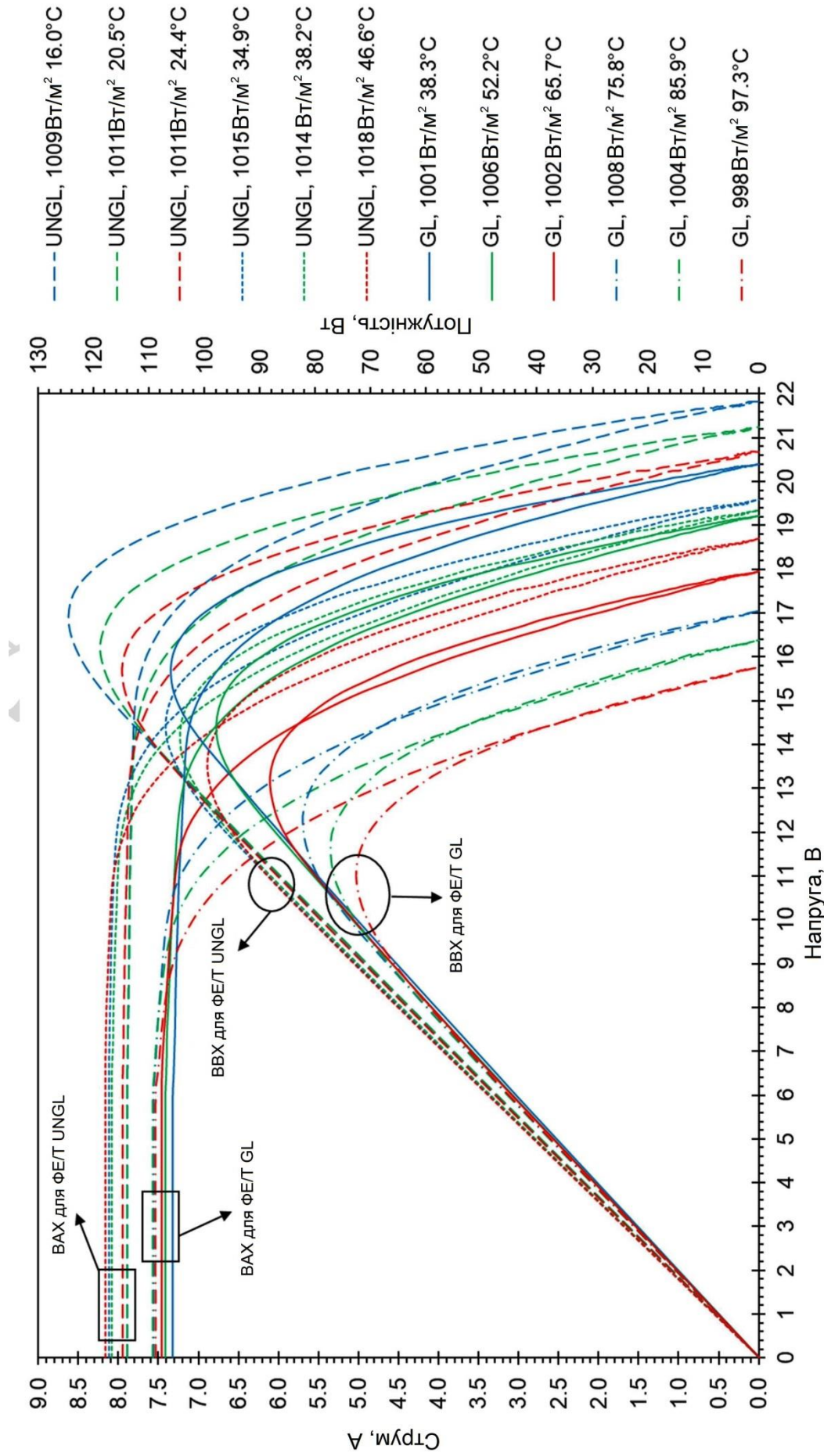


Рисунок 3.1- ВАХ та BBX колекторів ФЕ/Т (GL та UNGL) для $G \sim 1000 \text{ Вт/м}^2$ та $T_{\text{фe}}$ в діапазоні між 16... 97 °C

Згідно з результатами, існує різниця для максимальних значень вимірюваного струму у двох установок, в діапазоні напруг від 0 до 8 В, через нижче значення коефіцієнта пропускання додаткового скління. У міру підвищення температури характеристики кривої ВВХ змінюються, даючи нижчі значення максимальної потужності, тоді як форма кривих диференціюється відповідно до коефіцієнта пропускання додаткового скління.

Характерні криві ВАХ та ВВХ на рис. 3.1 дозволили розрахувати максимальний електричний ККД, η_{el} результати представлені на рис. 3.2.

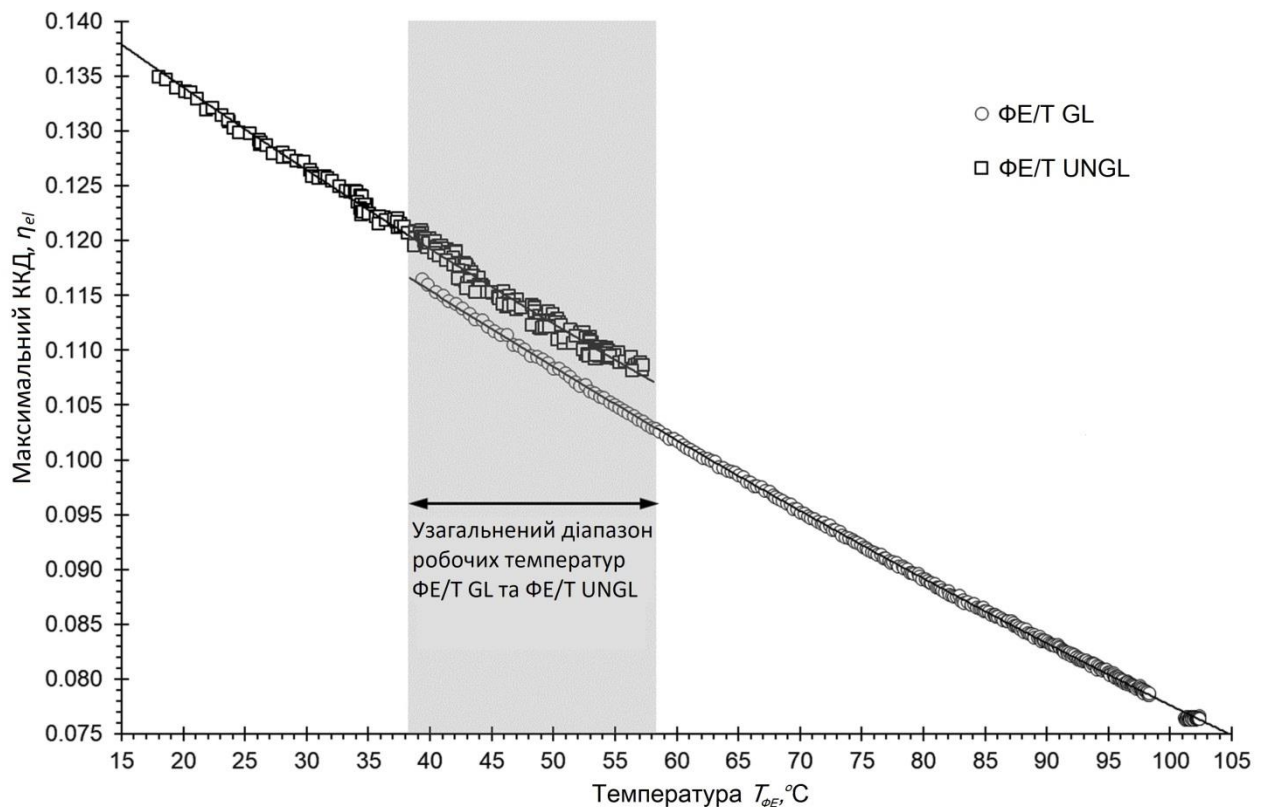


Рисунок 3.2 – Графік залежності максимального електричного коефіцієнта корисної дії, η_{el} , колектора ФЕ/Т від температури фотоелектричного перетворювача $T_{\text{ФЕ}}$

Відповідно до них, температура ФЕ-модуля суттєво впливає на значення максимального електричного ККД обох моделей; відповідне значення для

моделі ФЕ/Т UNGL вище, ніж у моделі ФЕ/Т GL, тоді як модель ФЕ/Т UNGL працює при нижчому діапазоні температур у порівнянні з відповідним діапазоном робочих температур моделі ФЕ/Т GL. Загальний діапазон робочих температур для обох моделей ФЕ/Т вказаний на рис. 3.2; у цьому діапазоні незасклена установка представляє дещо вищу електричну ефективність завдяки вищим значенням загального коефіцієнта пропускання. Однак різниця між фактичними значеннями максимальних електричних коефіцієнтів корисної дії для обох установок, для загального діапазону робочих температур, є низькою і коливається між 0,3 і 0,4 %. Максимальна електрична ефективність обох установок коливається від $8,0 \pm 0,5$ % до $13,5 \pm 0,9$ % для загального діапазону температур фотоелектричних модулів. Рівняння, зазначені в таблиці 3.1, відображають ці варіації.

Таблиця 3.1 - Максимальна електрична ефективність (ККД) для ФЕ/Т колектора

Установка	Апроксимована залежність максимальної електричної ефективності (η_{el}) від температури фотоелектричного модуля ($T_{\Phi E}$)	Коефіцієнт регресії, R
ФЕ/Т UNGL	$0.150 - 8 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\Phi E} + 2 \cdot 10^{-6} (T_{\Phi E})^2$	0,9955
ФЕ/Т GL	$0.146 - 8 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\Phi E} + 1 \cdot 10^{-6} (T_{\Phi E})^2$	0,9998

Наступним кроком під час стаціонарного експериментального дослідження двох типів ФЕ/Т колекторів був розрахунок їх миттєвої теплової ефективності за різних умов експлуатації.

Теплова ефективність визначається як функція сонячної радіації, температури вхідної рідини та температури навколишнього середовища. Два колектори ФЕ/Т були випробувані з електричним навантаженням та без нього, щоб вивчити його вплив на відповідні теплові коефіцієнти корисної дії.

Контроль електричного навантаження дозволяв фотоелектричному модулю забезпечувати максимальну електричну потужність при різних умовах експлуатації. Для цього до модуля ФЕ було підключено пристрій відстеження точки максимальної потужності (MPPT), що імітувало реальну роботу системи. Рисунок 3.3 зображує зміну миттєвої теплової ефективності для згаданих колекторів ФЕ/Т в порівнянні з робочим параметром $\Delta T/G$ ($\Delta T/G = (T_{in} - T_a)/G$). Під час експериментів значення об'ємної витрати підтримувалось стабільним, на рівні $0,015 \pm 0,001$ л/с. Як видно, колектор ФЕ/Т GL представляє надзвичайно вищу теплову потужність порівняно з колектором ФЕ/Т UNGL, завдяки значно меншим конвективним тепловим втратам від передньої поверхні фотоелектричного модуля.

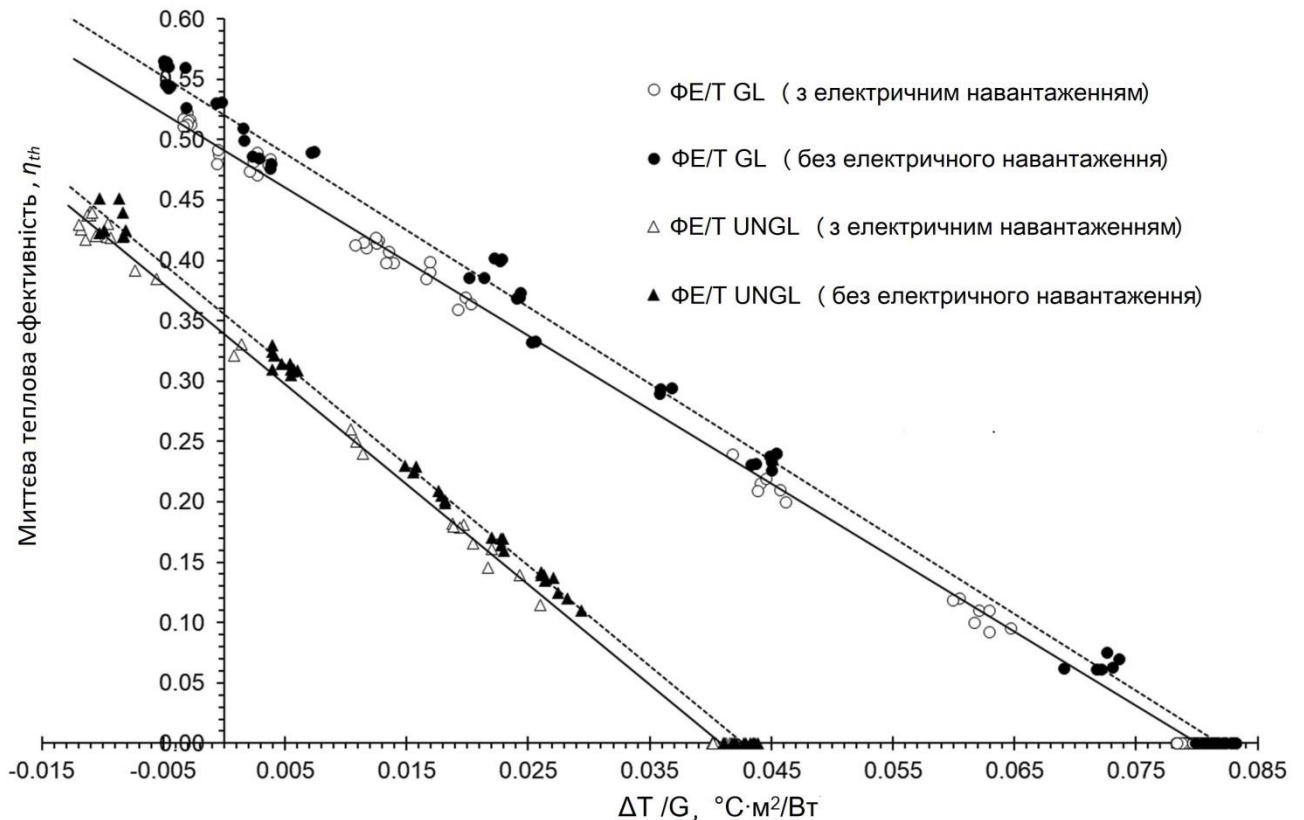


Рисунок 3.3 - Графік залежності миттєвої теплової ефективності ФЕ/Т, η_{th} від $\Delta T/G$

Для двох типів ФЕ/Т колекторів значення миттєвої теплової ефективності нижчі, коли вони працюють з електричним навантаженням. Це можна пояснити тим, що падаюча сонячна енергія перетворюється в електричну енергію в ФЕ до

досягнення теплового поглинача. Рівняння варіації теплової ефективності колекторів ФЕ/Т у порівнянні з параметром $\Delta T/G$ представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Графік залежності миттєвої теплової ефективності (η_{th}) для досліджуваних колекторів ФЕ/Т від $\Delta T/G$

Система	Миттєва тепла ефективність, η_{th}	Коефіцієнт регресії, R
ФЕ/Т UNGL (без електричного навантаження)	$0,356 - 8,336 \cdot (\Delta T/G)$	0,9988
ФЕ/Т UNGL (з електричним навантаженням)	$0,339 - 8,292 \cdot (\Delta T/G)$	0,9991
ФЕ/Т GL (без електричного навантаження)	$0,521 - 6,362 \cdot (\Delta T/G)$	0,9984
ФЕ/Т GL (з електричним навантаженням)	$0,491 - 6,134 \cdot (\Delta T/G)$	0,9993

Згідно з вищезазначеним аналізом можна стверджувати, що з точки зору загальної продуктивності (електричної та теплової) колектор ФЕ/Т GL працює ефективніше порівняно з ФЕ/Т UNGL. Тому колектор ФЕ/Т GL був обраний для поєднання з резервуарами для накопичувальної води.

3.1.2 Експериментальні результати щоденної роботи колектора

Окрім стабільного режиму роботи, колектор ФЕ/Т GL був підключений до резервуара з водою для типової повної роботи системи, із примусовим (насос) та/або природнім (конвекція) рухом води. Головною метою цього етапу експериментальних досліджень був розрахунок середньодобової ефективності сонячного колектора, а також перевірка того, як об'єм накопиченої води впливає на підвищення температури під час щоденної роботи пристрою. Як повідомляється вище, чотири комплектні системи (спрямовані на виробництво

гарячої води) випробовувались на відкритому повітрі: ФЕ/Т 30А, ФЕ/Т 30В, ФЕ/Т 40А та ФЕ/Т 40В (позначення А відноситься до термосифонічної потоку і В до умов примусового потоку). Результати, показані на рис. 3.4...3.7, представляють чотири типові діаграми профілю змін температури води в баку (T_{tank}), температури води на вході (T_{in}) і на виході (T_{out}) колектора, температури навколишнього середовища (T_a), швидкості вітру (v_w) та сонячне випромінювання (G) систем ФЕ/Т, для початкової температури близько $22 \pm 1^\circ \text{C}$ та $23 \pm 1^\circ \text{C}$ для систем ФЕ/Т 30 та ФЕ/Т 40 відповідно. Швидкість потоку під час роботи систем ФЕ/Т з примусовою циркуляцією була визначена як $0,015 \pm 0,001$ л/с до часу доби (близько 17:00), коли температура води, що зберігається, досягла максимального значення і згодом робота системи була припинена.

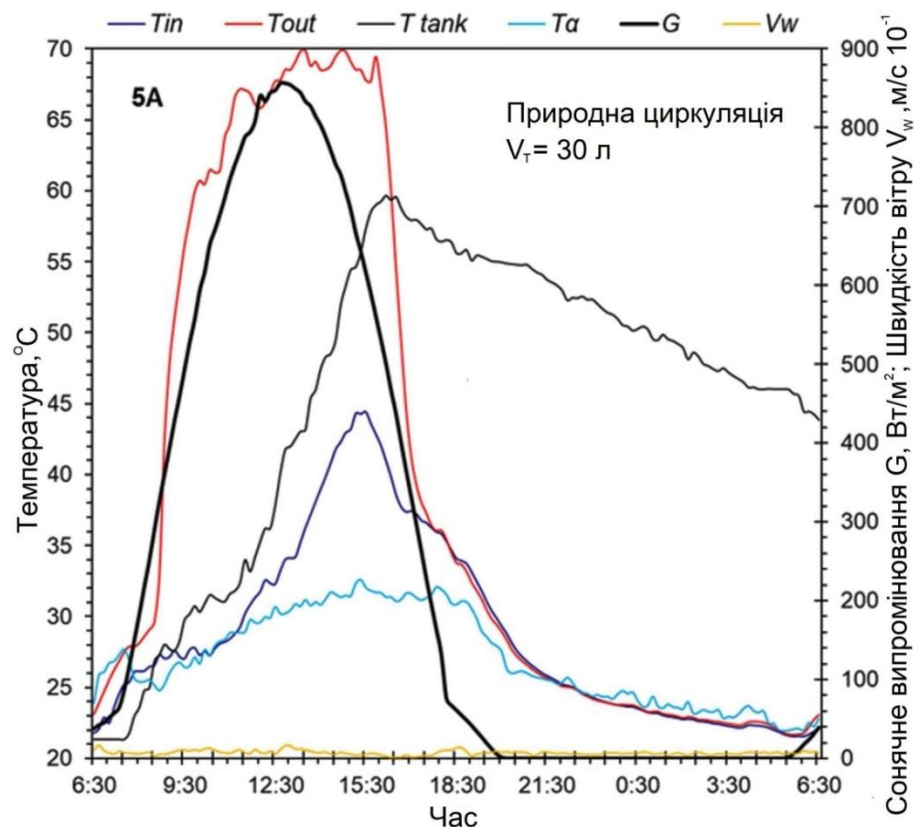


Рисунок 3.4 - Графік зміни температури води, що зберігається у баку-акумуляторі (без споживання), температури навколишнього середовища, інтенсивності сонячної радіації та швидкості вітру з часом, для систем ФЕ/Т 30А з початковою середньою температурою $\sim 22 \pm 1^\circ \text{C}$

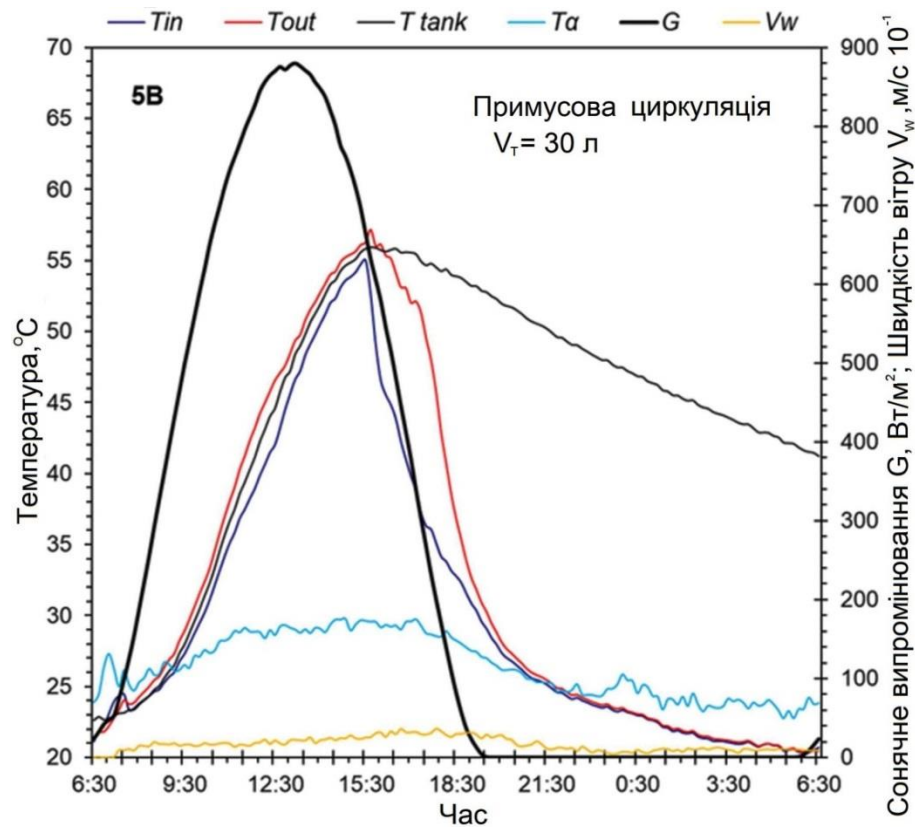


Рисунок 3.5 - Графік зміни температури води, що зберігається у баку-акумуляторі (без споживання), температури навколишнього середовища, інтенсивності сонячної радіації та швидкості вітру з часом, для систем ФЕ/Т 30В з початковою середньою температурою $\sim 22 \pm 1$ °C

З кривих, зображених на рис. 3.4...3.7, очевидно, що обидва експериментальні колектори працюють більш ніж ефективно і перевищують поріг температури води, що зберігається у баку-акумуляторі, 50 °C, що є середнім значенням загальноприйнятого діапазону температур від 40 до 60 °C для побутових споживачів. Що стосується інтенсивності підвищення температури води, ФЕ/Т 30 поводить краще, ніж ФЕ/Т 40, як для термосифонної, так і для примусової циркуляції, хоча спостерігаються незначні різниці в часі. Для термосифонної роботи систем коливання температури на вході, виході та накопиченій воді є досить різними, тоді як різниця між температурою води на вході та виході значно більша порівняно з відповідними різницями для систем, що працюють при примусовій циркуляції. Для систем

ФЕ/Т 30, як показано на рис. 3.4 та 3.5, ФЕ/Т 30А поводить краще порівняно з ФЕ/Т 30В щодо підвищення температури.

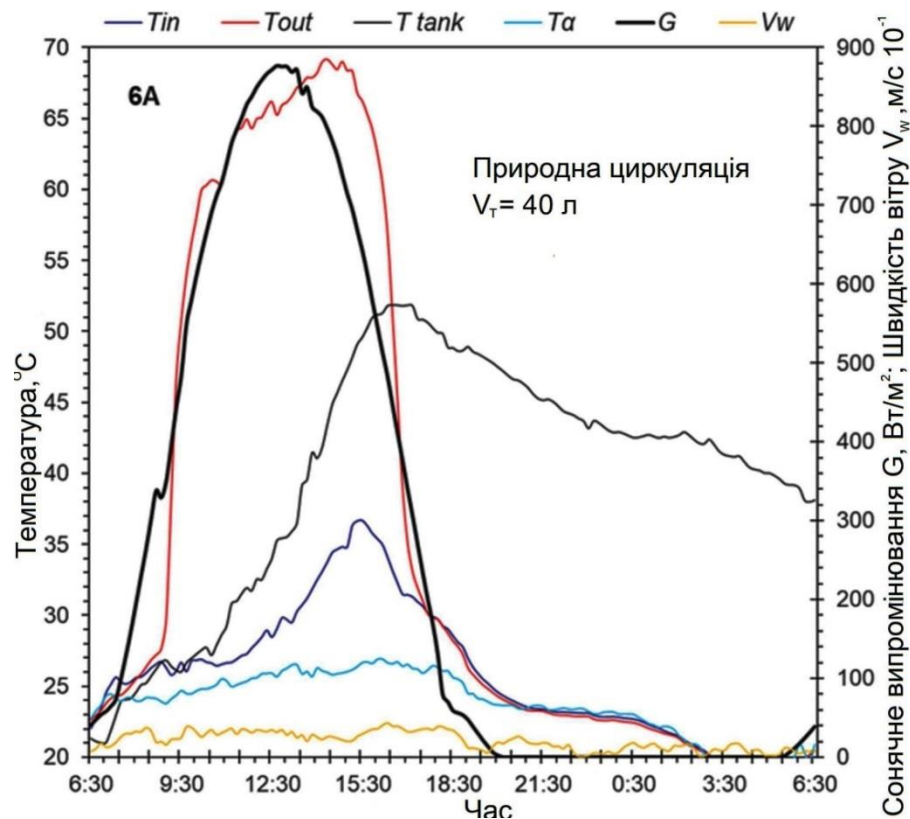


Рисунок 3.6 - Графік зміни температури води, що зберігається у баку-акумуляторі (без споживання), температури навколишнього середовища, інтенсивності сонячної радіації та швидкості вітру з часом, для систем ФЕ/Т 40А з початковою середньою температурою $\sim 22 \pm 1$ °С

Зазначимо, що різниця температур між ними, для всіх експериментів, лежить в діапазоні від 3 до 5 °С. Як показано на рис. 3.7 та 3.8, ФЕ/Т 40В навпаки досягає вищих кінцевих температур води, що зберігається у баку-акумуляторі, порівняно з ФЕ/Т 40А, тоді як різниця температур коливається від 3 до 5 °С. Результати показують, що відношення об'єму води, що зберігається, до площі світлопоглинаючої поверхні є критичним параметром для ефективної роботи систем. Загальний висновок, який випливає з проведених експериментальних досліджень добової роботи досліджуваних установок, полягає в тому, що для природної циркуляції, коли об'єм накопиченої води знижується, кінцева температура зростає. Оскільки системи ФЕ/Т з

примусовою циркуляцією можуть бути інтегровані в огороджувальні конструкції, то тут використовують переважно більш високі значення відношення об'єму накопиченої води до площі світлопоглинаючої поверхні.

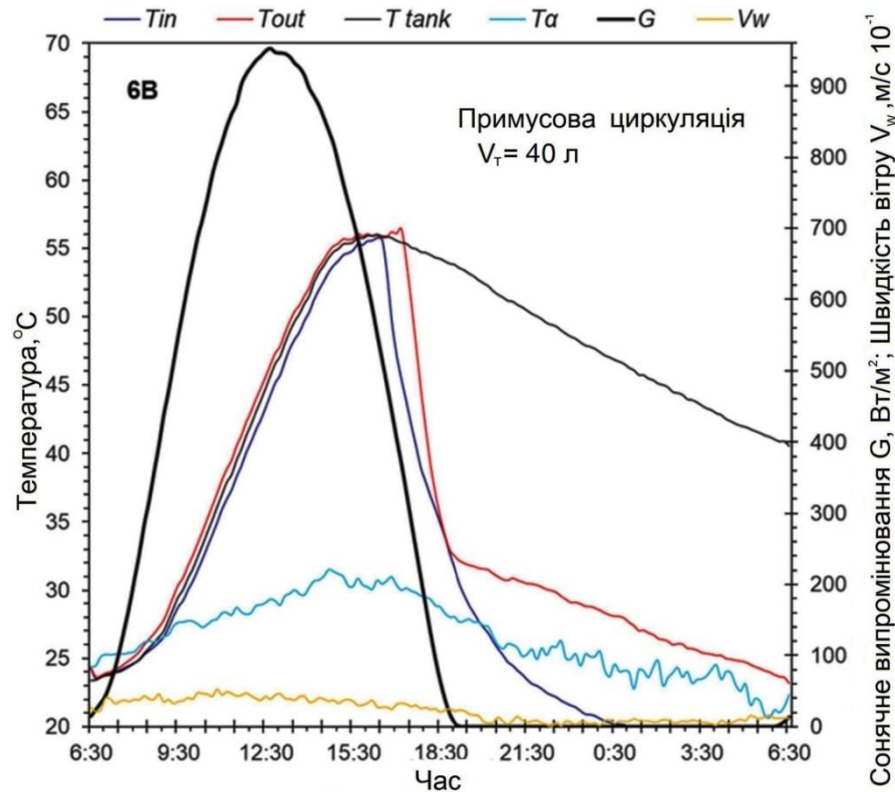


Рисунок 3.7 - Графік зміни температури води, що зберігається у баку-акумуляторі (без споживання), температури навколишнього середовища, інтенсивності сонячної радіації та швидкості вітру з часом, для систем ФЕ/Т 40В з початковою середньою температурою $\sim 22 \pm 1$ °С

Після ряду подібних щоденних експериментальних випробувань для різних умов експлуатації щодо початкової температури води, що зберігається у баку-акумуляторі, температури навколишнього середовища та сонячної радіації, були розраховані середні добові коефіцієнти корисної дії всіх систем ФЕ/Т.

Узагальнені результати експериментальних досліджень під час щоденної роботи приладів ФЕ/Т представлені на рис.3.8, на якому графічно представлено відхилення середньої добової ефективності від умов експлуатації. Експериментальні результати показують, що ФЕ/Т 40А представляє найкращі теплові показники в усьому діапазоні робочих умов. Середні добові теплові

показники системи ФЕ/Т 40В також вищі ніж у ФЕ/Т 30 А та ФЕ/Т 30В. Крім того, важливо зазначити, що системи з термосифонною циркуляцією мають вищу середньодобову ефективність порівняно з тими, що використовують примусову циркуляцію. У таблиці 3.3 представлені вирази, що апроксимують залежності рис. 3.8.

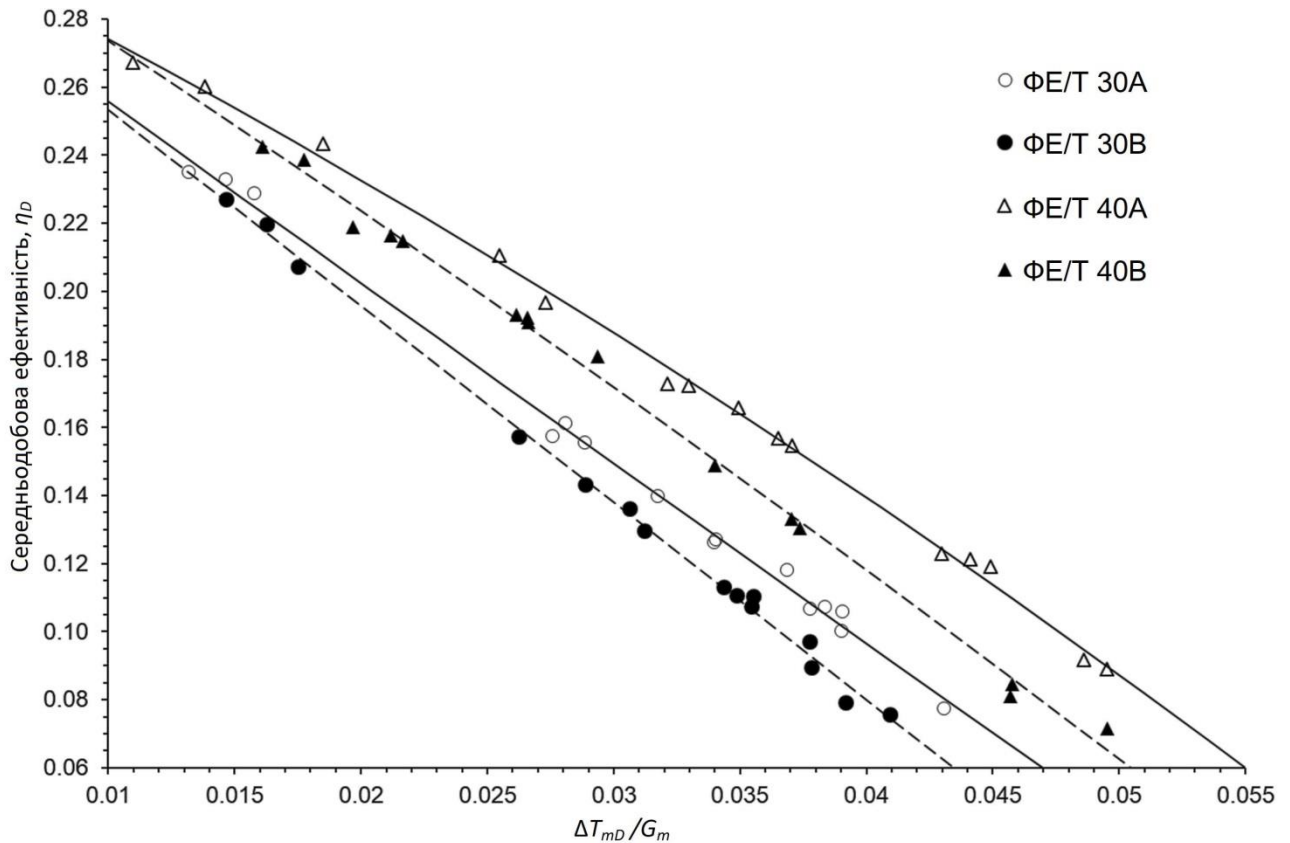


Рисунок 3.8 - Залежність середньої добової ефективності, η_D , систем ФЕ/Т від $\Delta T_{mD}/G_m$

Таблиця 3.3 - Вирази, що апроксимують залежність середньої добової ефективності, η_D , систем ФЕ/Т від $\Delta T_{mD}/G_m$

Система	Середня добова ефективність, η_D	Коефіцієнт регресії, R
PV/Т 30А	$0,309 - 5,375 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m) + 1,353 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m)^2$	0,9983
PV/Т 30В	$0,311 - 5,743 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m) - 0,615 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m)^2$	0,9985
PV/Т 40А	$0,312 - 3,608 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m) + 17,670 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m)^2$	0,9987
PV/Т 40В	$0,322 - 4,720 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m) - 9,211 \cdot (\Delta T_{mD}/G_m)^2$	0,9981

3.2 Результати дослідження залежності енергоефективності ФЕ/Т колектора від способів живлення циркуляційного насосу

3.2.1 Порівняння миттєвих значень продуктивності трьох ФЕ/Т систем

Для порівняльного аналізу миттєвої продуктивності було обрано два набори добових тестових даних, які були записані 17 вересня 2020 року та 04 жовтня 2020 року. Параметри навколишнього середовища наведені на рис. 3.9.

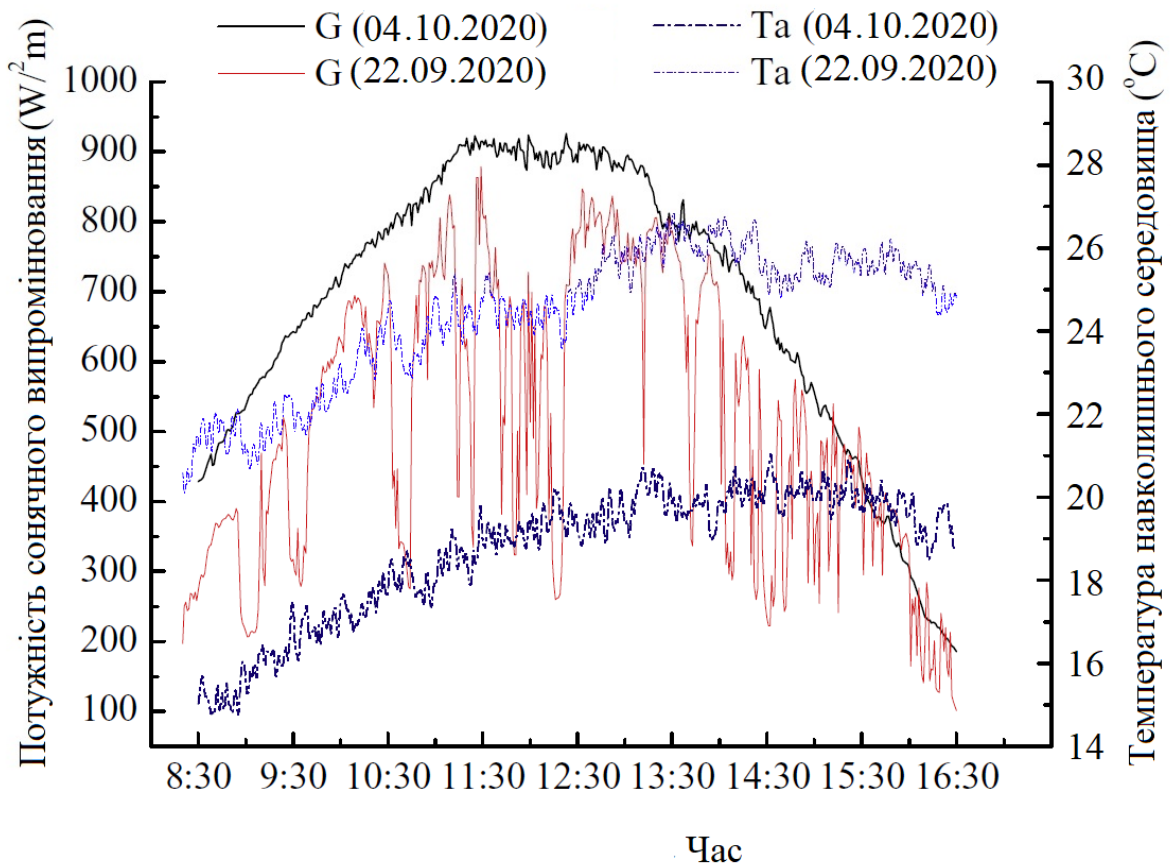
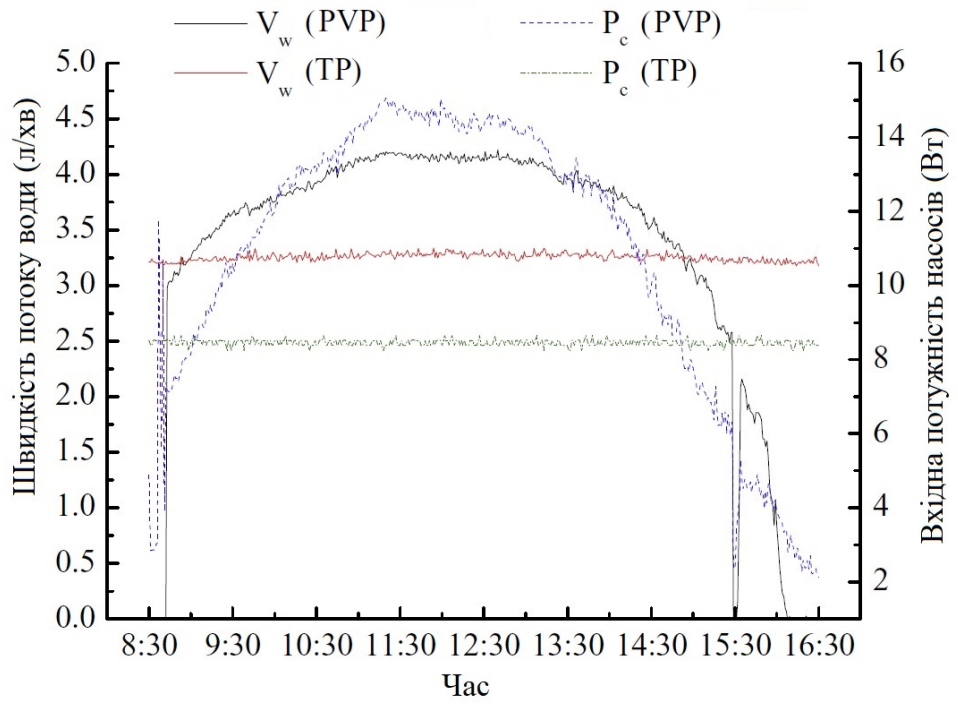
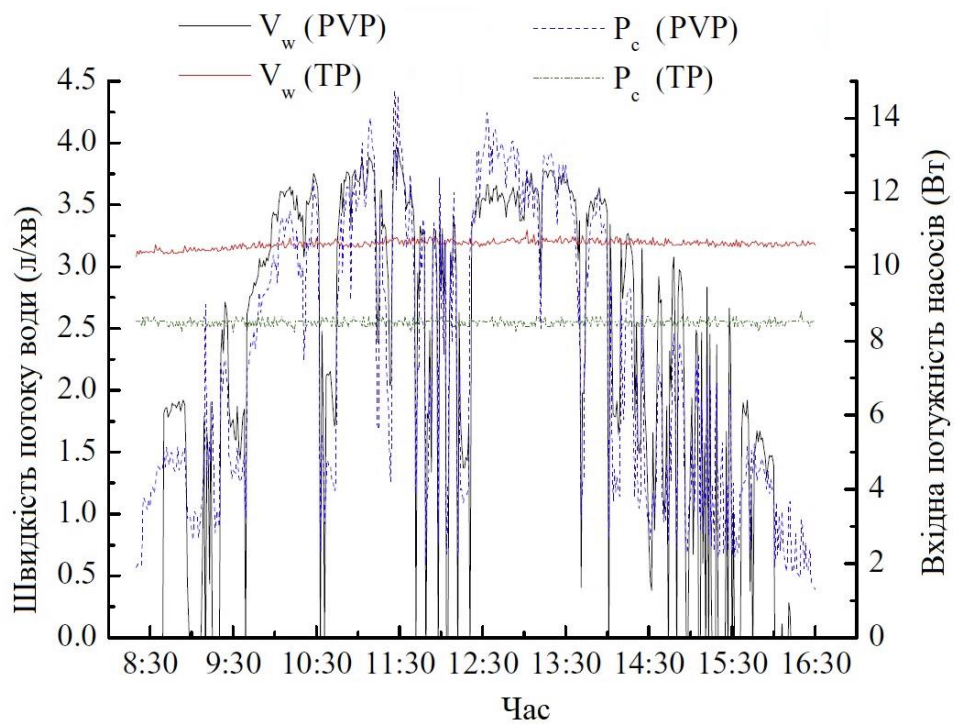


Рисунок 3.9 - Сонячне опромінення та температура навколишнього середовища

Вхідна потужність та витрата води водяних насосів показані на рис. 3.10.



а)



б)

Рисунок 3.10 - Витрата води та вхідна потужність насосів,
а) 04 жовтня; б) 17 вересня

Для ФЕ/Т системи з традиційним насосом швидкість потоку води підтримувалась до приблизно постійного значення 3,2 л/хв, а вхідна потужність

становила близько 8,5 Вт. Однак для ФЕ/Т системи з ФЕ-насосом, вхідна потужність ФЕ-насоса залежала від вихідної потужності окремого ФЕ модуля, а вихідна ФЕ-енергія залежала від сонячного опромінення і пропорційно змінювалася відповідно до сонячного опромінення (рис. 3.9). Отже, швидкість потоку води ФЕ-насоса також збільшуватиметься зі збільшенням сонячного опромінення. Однак із збільшенням інтенсивності сонячного опромінення динаміка наростання швидкостей поступово зменшуватиметься.

Температури води у баці-акумуляторі показані на рис. 3.11 та рис. 3.12. У порівнянні з ФЕ/Т системами з ФЕ-насосом та традиційним насосом, вода ФЕ/Т системи з природною циркуляцією мала очевидну температурну стратифікацію.

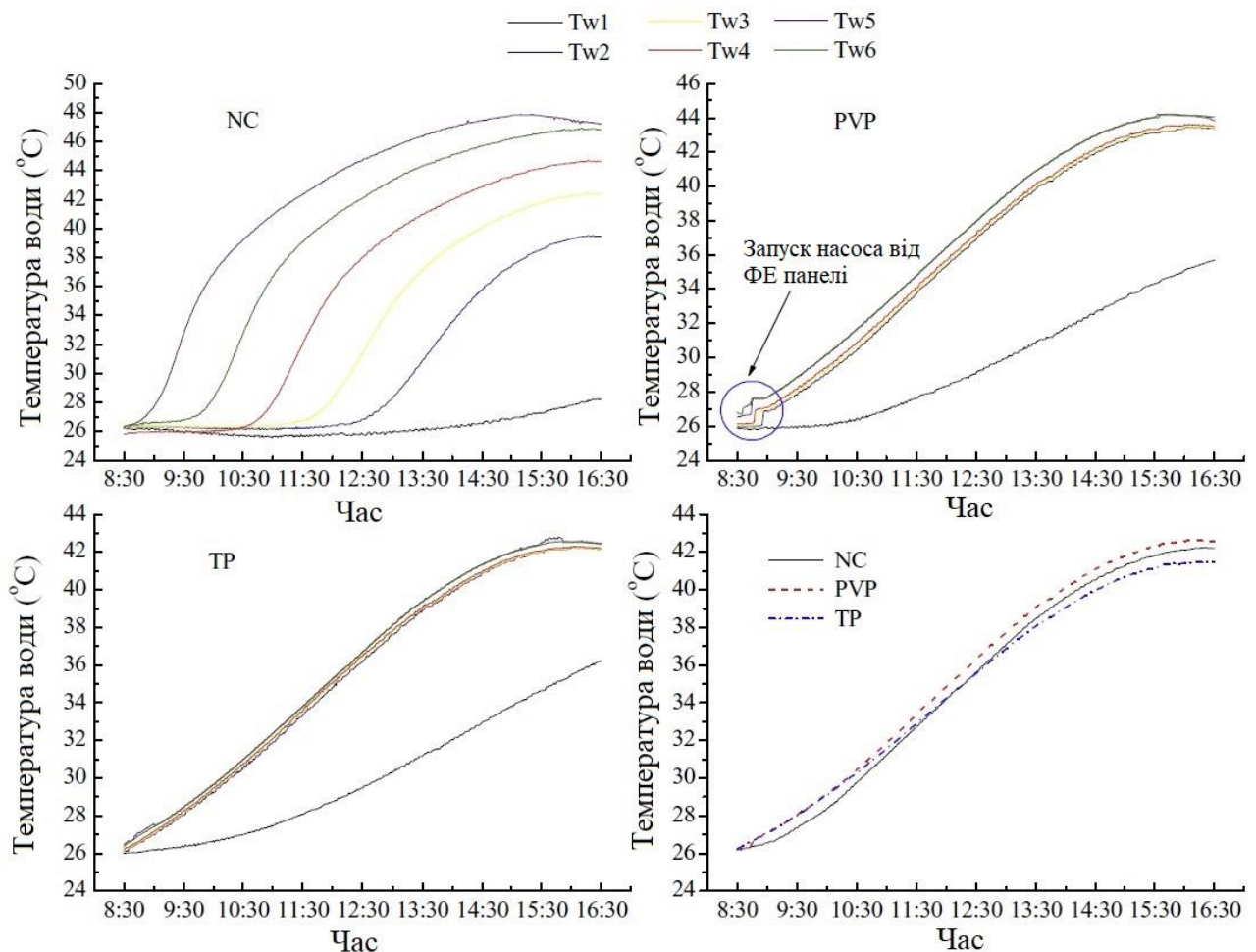


Рисунок 3.11 - Коливання температури води у резервуарі для води 04 жовтня

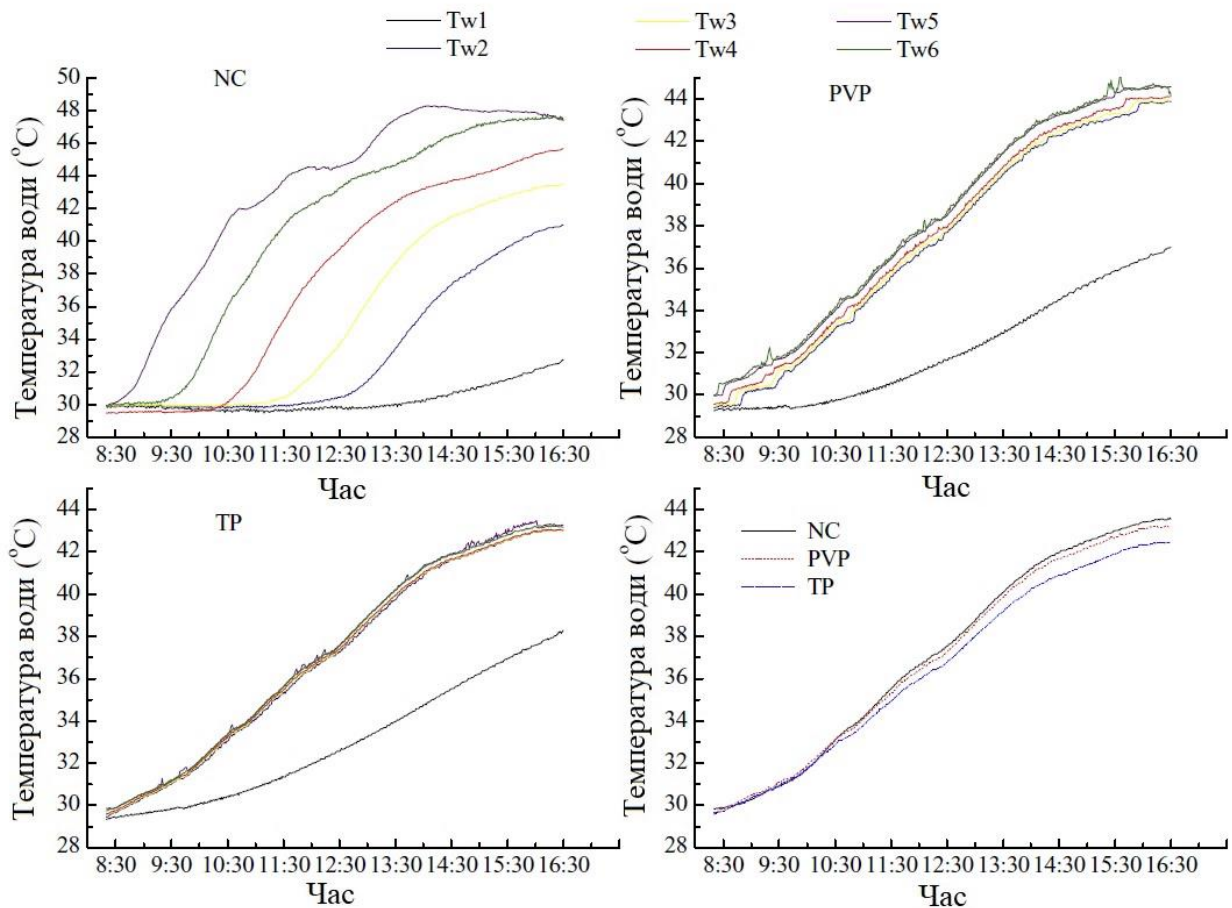


Рисунок 3.12 - Коливання температури води у резервуарі для води 17 вересня

Вода ФЕ/Т системи з ФЕ-насосом також мала очевидну температурну стратифікацію на момент запуску ФЕ-насоса, але зі збільшенням швидкості потоку води стратифікація температури поступово слабшала. Розшарування температури в резервуарі може посилити теплову ефективність сонячної системи гарячого водопостачання. Рано вранці сонячного дня, коли сонячне опромінення було слабшим (рис. 3.11), середня температура води ФЕ/Т системи з природною циркуляцією зростала повільніше, ніж у двох інших ФЕ/Т системах. Але зі збільшенням сонячного опромінення воно швидко зростало і навіть перевищувало температуру води ФЕ/Т системи з традиційним насосом. Цей процес також можна спостерігати на рис. 3.13 та рис. 3.14. Оскільки для ФЕ/Т системи з природною циркуляцією було встановлено лише слабку природну конвекцію між водою та стінкою труби ФЕ/Т колектора, коли

сонячне випромінювання було слабшим, а вода поглинає менше теплової енергії.

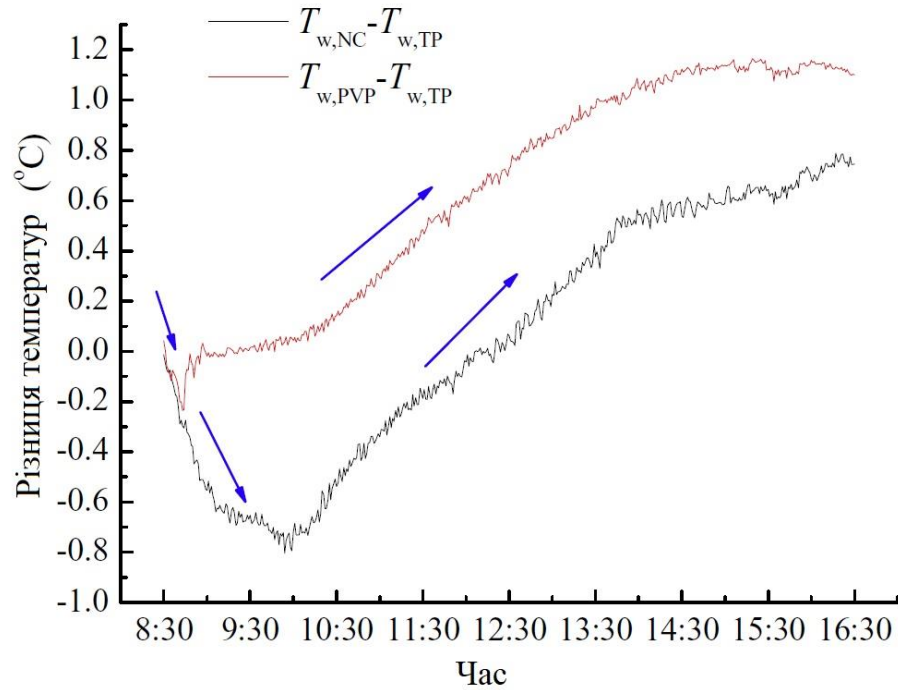


Рисунок 3.13 - Різниця температур води між різними ФЕ/Т системами 04

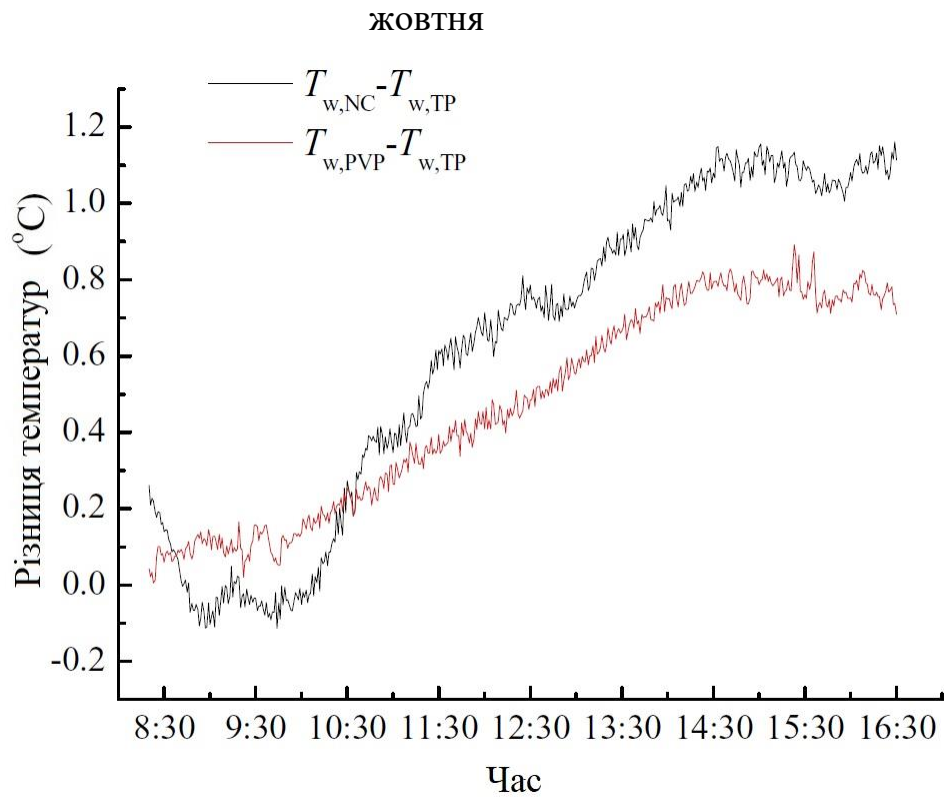


Рисунок 3.14 - Різниця температур води між різними ФЕ/Т системами 17 вересня

Більше того, це також призвело до повільної природної циркуляції води і змусило систему отримувати менше теплової енергії. Але зі збільшенням сонячного опромінення природна конвекція води поступово посилювалась і система з природною циркуляцією могла отримувати більше теплової енергії, а температура води швидко зростала.

Однак для ФЕ/Т системи з традиційним насосом, оскільки її витрата води підтримувалася на рівні постійного значення 3,2 л/хв (рис. 3.12), мало сприяло конвекції тепла зі збільшенням сонячного опромінення. Для трьох ФЕ/Т систем температура води в системі з ФЕ насосом майже найшвидше зростала протягом усього дня. Це пов'язано з тим, що при збільшенні сонячного опромінення швидкість потоку води фотоелектричного насоса збільшуватиметься (рис. 3.13 і 3.14), що посилюватиме конвекцію тепла між водою та ФЕ/Т колекторами та змушуватиме воду отримувати більше теплової енергії. А коли сонячне опромінення зменшиться, витрата води фотоелектричного насоса зменшиться, що зменшить коефіцієнт теплових втрат для традиційного насоса постійного струму. У похмурий день середні температури води трьох ФЕ/Т систем сильно варіювались до 10:20, коли сонячне опромінення було слабким (рис. 3.14). І за час від 10:20 до 14:30, коли сонячне опромінення стало сильнішим, середні температури води ФЕ/Т систем з природною циркуляцією та ФЕ-насосом також зростали швидше, ніж у системі з традиційним насосом. Середні температури води ФЕ/Т систем з природною циркуляцією та ФЕ насосом були вдень дуже близькими.

Миттєва вихідна потужність фотоелектричної енергії та ефективність фотоелектричної енергії ФЕ/Т систем показані на рис.3.15-3.18. Фотоелектрична потужність системи з ФЕ-насосом вища, ніж у інших, тому що система з ФЕ-насосом має кращі показники теплопередачі в теорії. Оскільки швидкість потоку води ФЕ-насоса збільшується при збільшенні сонячного опромінення, що підвищило б конвекцію тепла між водою та ФЕ/Т колекторами і відводило б більше тепла від ФЕ, ніж система з традиційним насосом постійного струму.

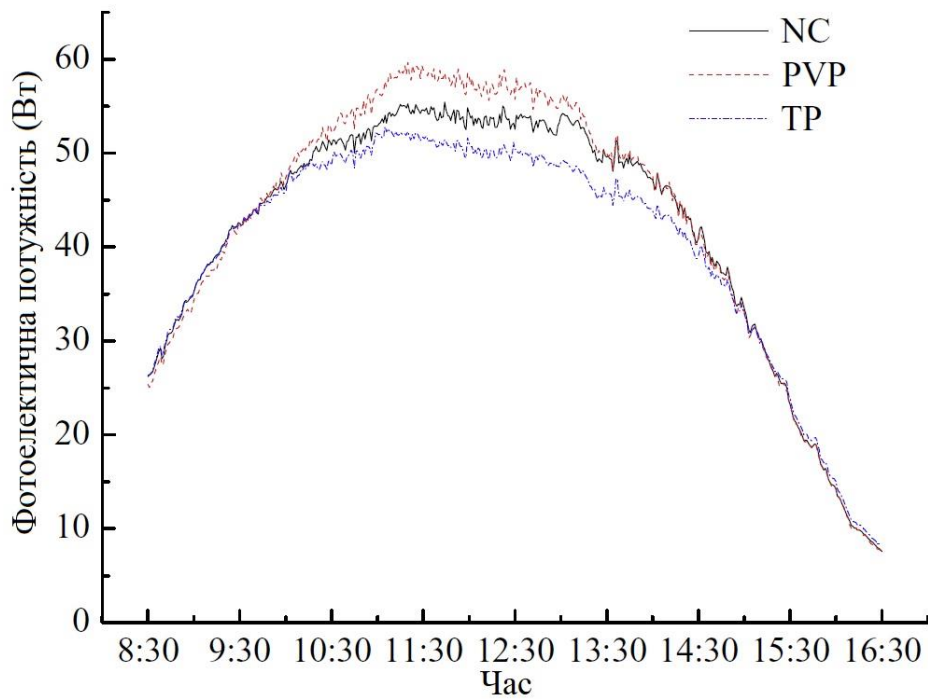


Рисунок 3.15 - Вихідна ФЕ потужність ФЕ/Т систем 04 жовтня

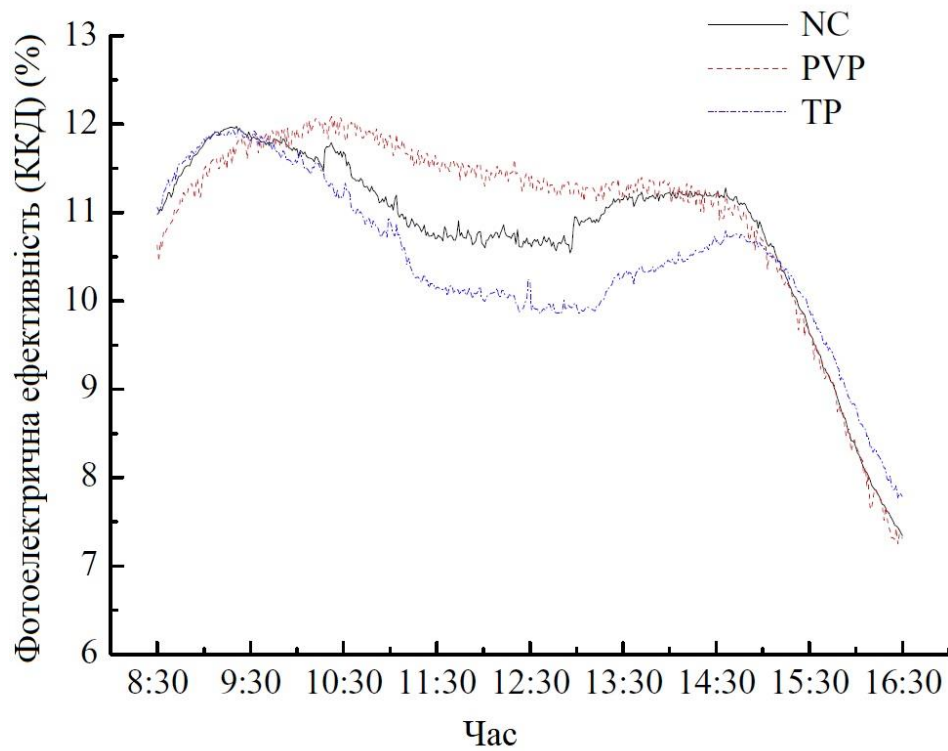


Рисунок 3.16 - Вихідна ФЕ ефективність ФЕ/Т систем 04 жовтня

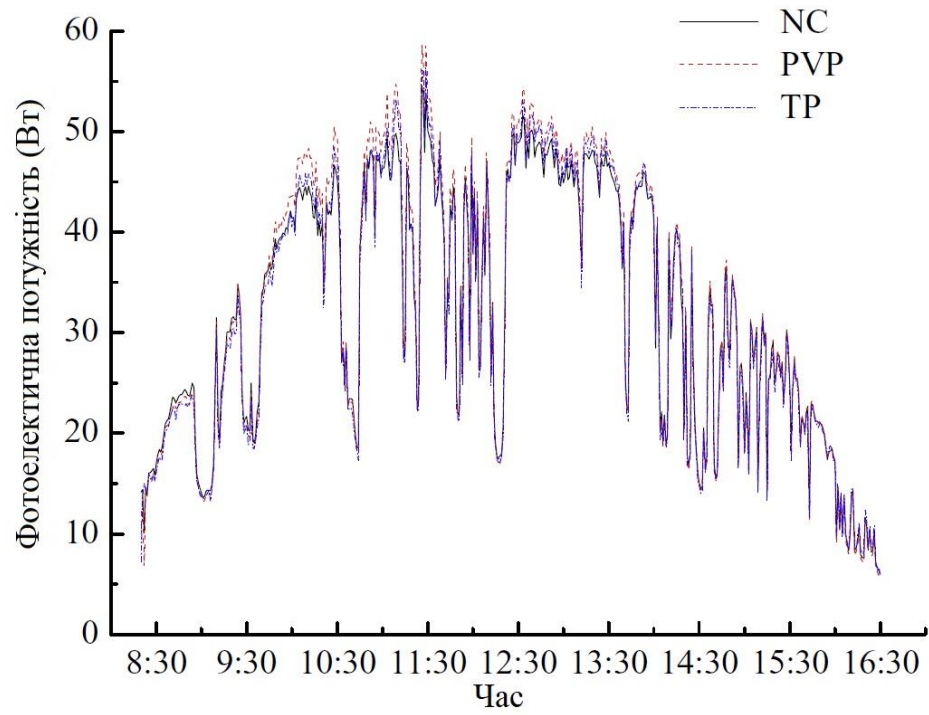


Рисунок 3.17 - Вихідна ФЕ потужність ФЕ/Т систем 17 вересня

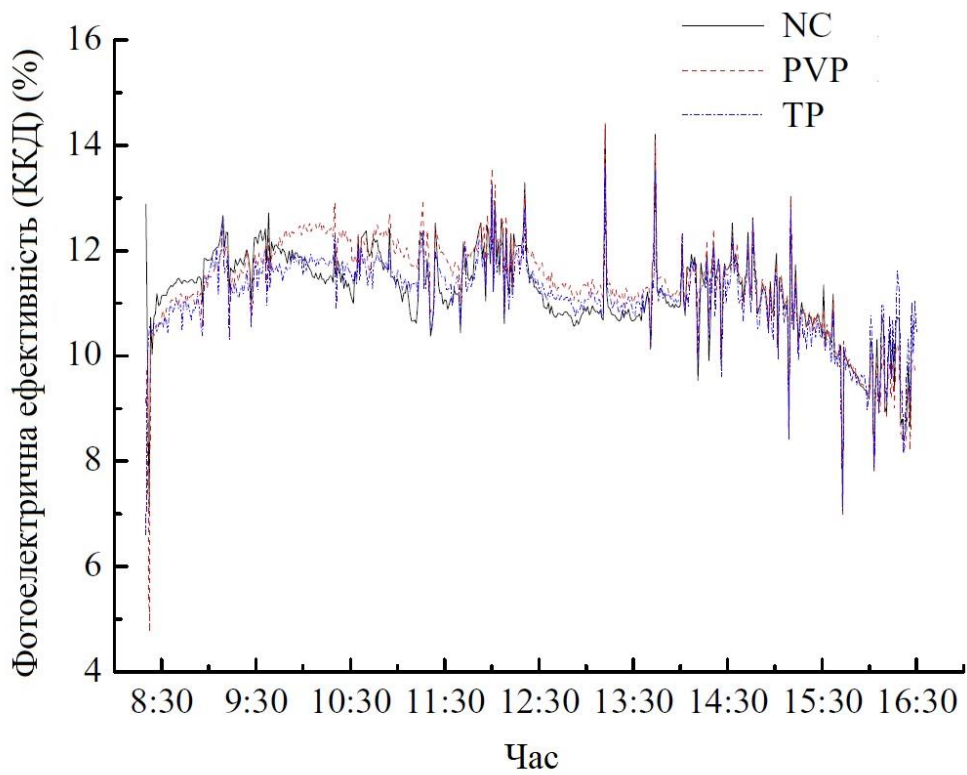


Рисунок 3.18 - Вихідна ФЕ ефективність ФЕ/Т систем 17 вересня

Миттєва теплова потужність та теплова ефективність трьох ФЕ/Т систем показані на рис. 2.19-2.22. Видно, що теплова потужність та теплоскоєektivність ФЕ/Т систем з природною циркуляцією та ФЕ-насосом були і вищі, ніж системи з традиційним насосом, коли сонячне опромінення було сильним, особливо в сонячний день. Причиною цього є те, що, швидкість потоку води у фотоелектричному насосі збільшується при збільшенні сонячного опромінення підсилюється конвекція тепла між водою та ФЕ/Т колекторами і вода отримує більше теплової енергії. Для природної циркуляційної системи збільшення сонячного опромінення також посилює б природну конвекцію води та пришвидшило циркуляцію води, отже, надходження тепла та теплова ефективність зросли б. Однак для системи з традиційним насосом, оскільки швидкість потоку води підтримувалась постійною і становила лише 3,2 л/хв, конвекція тепла покращилася обмежено, коли зростало сонячне опромінення. Для системи з традиційним насосом використання насоса великої потужності може підвищити свою теплову ефективність, але споживання енергії насоса також збільшиться.

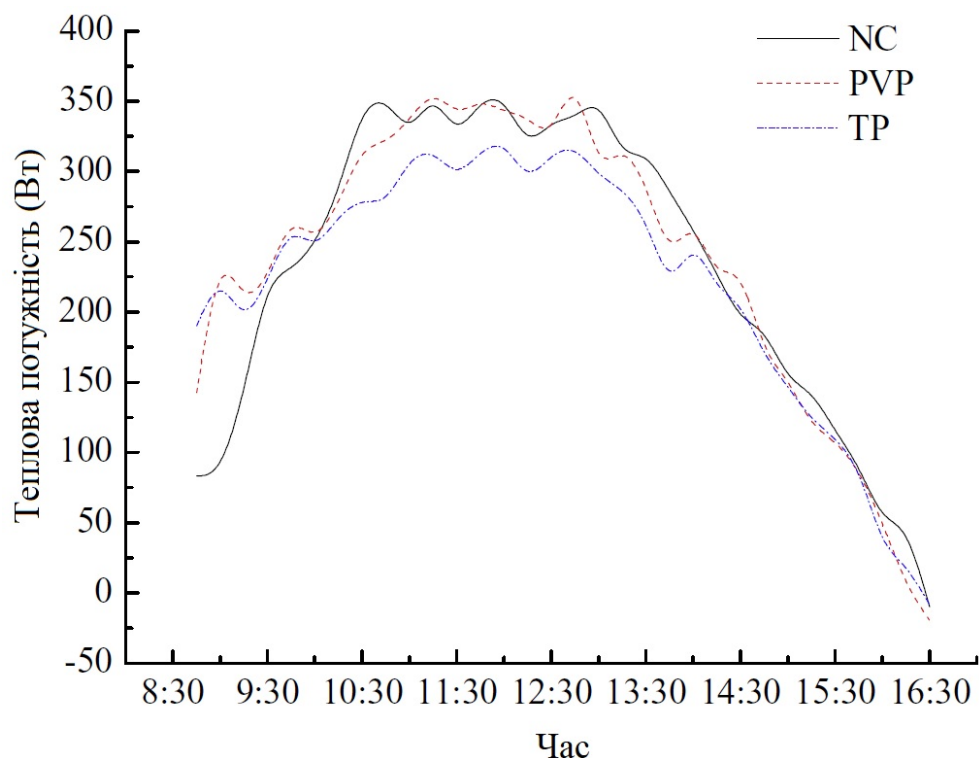


Рисунок 2.19 – Теплова потужність ФЕ/Т систем 04 жовтня

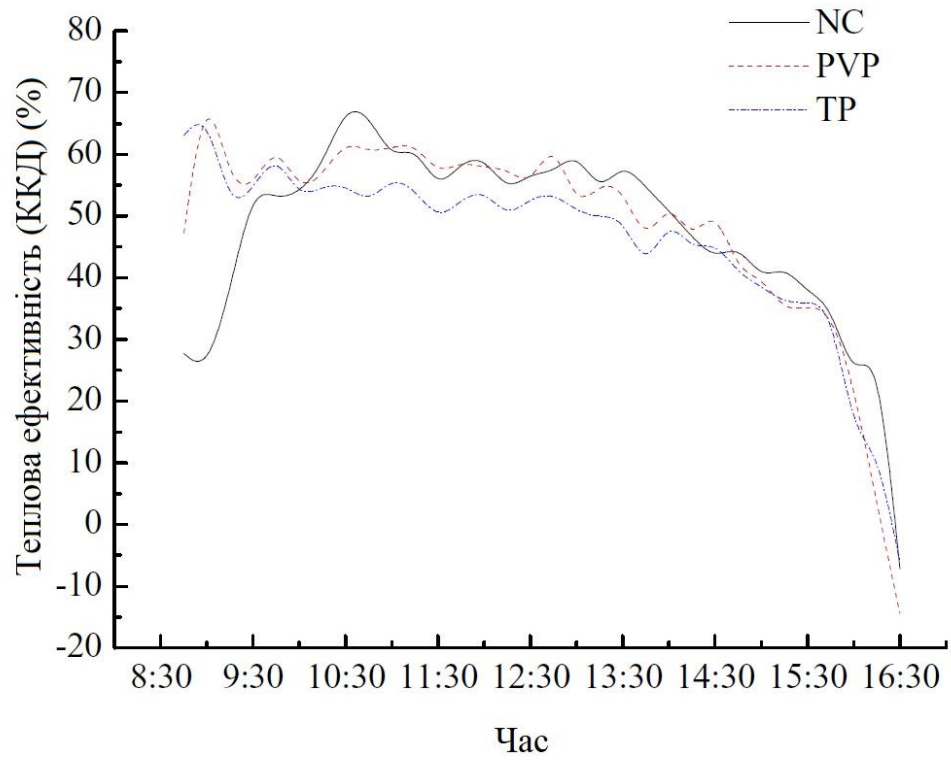


Рисунок 3.20 – Теплова ефективність ФЕ/Т систем 04 жовтня

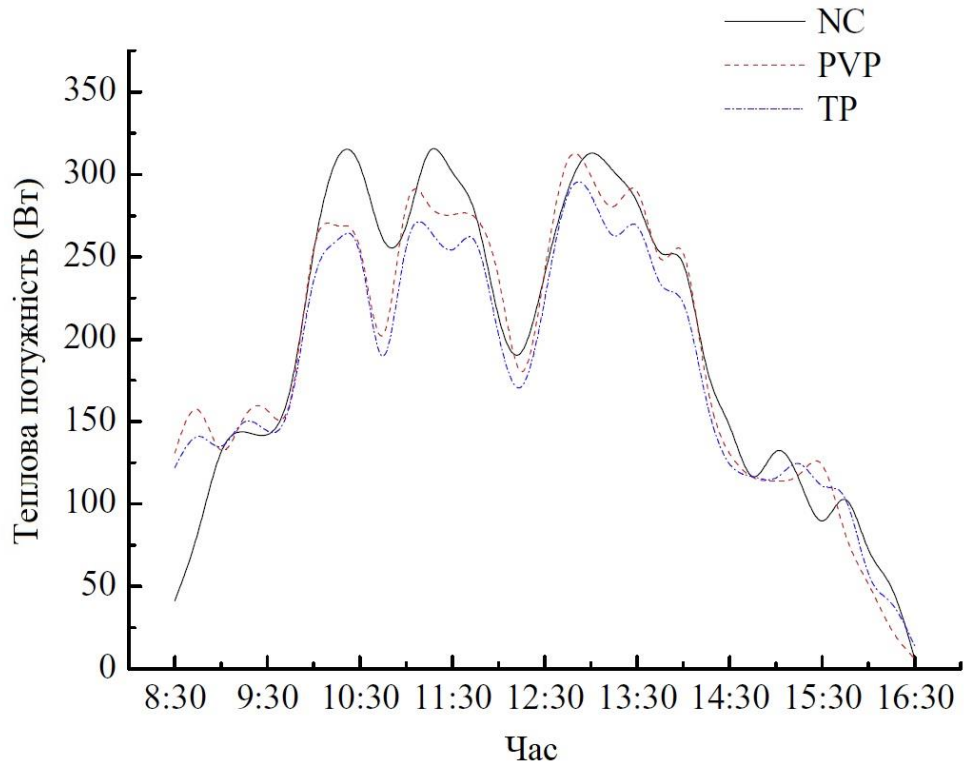


Рисунок 3.21 – Теплова потужність ФЕ/Т систем 17 вересня

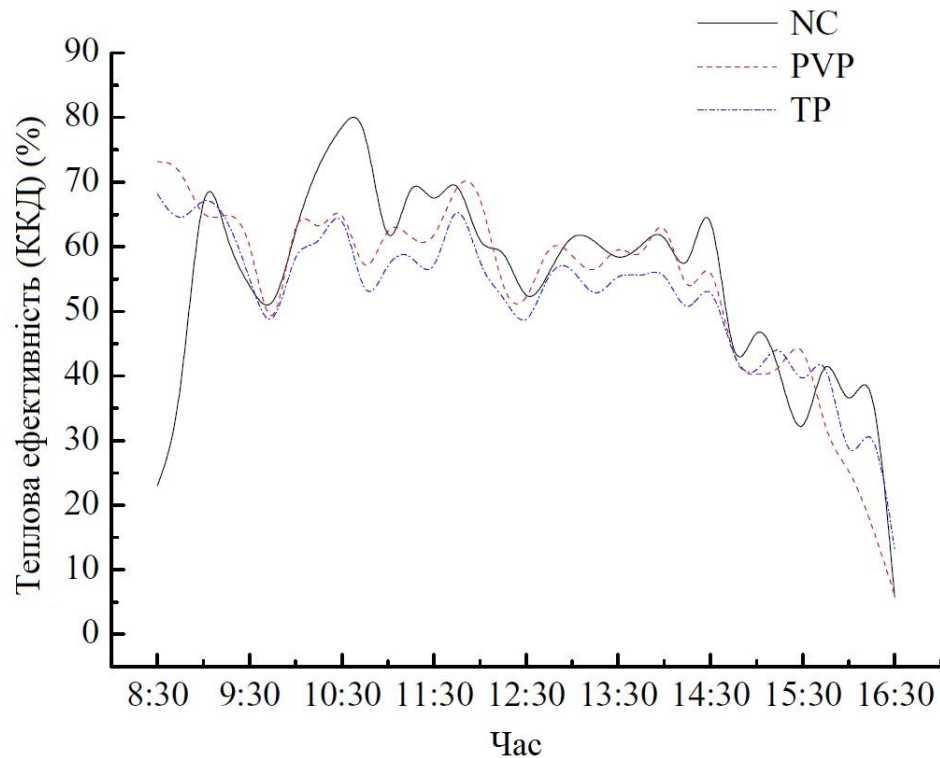


Рисунок 3.22 – Теплова ефективність ФЕ/Т систем 17 вересня

3.2.2 Порівняння добової продуктивності трьох ФЕ/Т систем

Щоденні показники роботи трьох ФЕ/Т систем показані в таблиці 3.5. А лінії регресії добової теплової ефективності на основі рівняння ефективності (2.13) показані на рис. 3.23. Коефіцієнти теплових характеристик системи рівняння (2.14) наведені в таблиці 3.6. Видно, що загалом усі три ФЕ/Т системи мають прийнятну продуктивність. Теплова ефективність трьох ФЕ/Т систем знаходиться в межах 45,46 % - 60,11 %, а ФЕ коефіцієнти корисної дії становлять 10,33 % - 11,6 %. Крім того, порівняння між трьома ФЕ/Т системами показує, що системи з природною циркуляцією та ФЕ-насос мають кращі теплові та електричні характеристики, ніж системи з традиційним насосом (таблиця 3.5). ФЕ/Т система з ФЕ-насосом має найкращі теплові показники, оскільки вона отримує найбільше значення a і найнижче значення U (рис. 3.23), а коефіцієнт a_1 також більший, ніж у інших двох систем (таблиця 3.6) .

Таблиця 3.5 – Добові показники гръх ФЕ/Т систем

Дата	Система	$T_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$H_{\text{в}}, \text{МДж}/\text{м}^2$	$T_{\text{вн}, i}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{в}}, \text{МДж}$	$\eta_{\text{прв}}, \%$	$P_{\text{с}}, \text{МДж}$	$E_{\text{нпр}}, \%$	$Q_{\text{потерь}}, \text{МДж}$	$h_{\text{нпр}}, \text{МДж}$	$Q_{\text{потерь}}, \text{МДж}$	$\eta_{\text{нпр}}, \%$	$\eta_{\text{ex}}, \%$
29.04.2020	NC	17,3	17,817	22,8	6,514	55,57	1,118	11,26	-	1,118	7,632	65,11	12,38
8:10-16:30	PVP			22,7	6,615	56,43	1,097	11,05	0,280	1,097	7,712	53,84	10,02
	TP			22,9	6,168	52,62	1,100	11,08	0,255	0,845	7,013	59,83	9,63
30.04.2020	NC	18,4	18,742	24,6	6,707	54,39	1,212	11,60	-	1,212	7,919	64,22	12,84
8:15-16:30	PVP			24,3	6,861	55,64	1,180	11,30	0,296	1,180	8,041	53,37	10,34
	TP			24,6	6,318	51,24	1,171	11,21	0,253	0,918	7,236	58,68	9,99
25.07.2020	NC	23,2	15,064	31,9	5,207	52,54	0,932	11,10	-	0,932	6,139	61,94	12,1
8:30-16:30	PVP			31,3	5,219	52,66	0,896	10,67	0,217	0,896	6,115	50,50	9,52
	TP			28,8	5,365	54,13	0,929	11,06	0,245	0,684	6,049	61,04	9,00
28.07.2020	NC	26,3	16,229	29,6	6,389	59,84	1,045	11,55	-	1,045	7,434	69,63	12,27
9:05-16:30	PVP			29,4	6,418	60,11	1,034	11,43	0,247	1,034	7,452	57,12	9,94
	TP			29,7	5,925	55,49	1,025	11,33	0,227	0,798	6,723	62,97	9,48
17.09.2020	NC	24,4	15,127	29,9	5,725	57,53	0,946	11,22	-	0,946	6,671	67,03	12,02
8:20-16:30	PVP			29,6	5,65	56,77	0,97	11,51	0,219	0,970	6,620	54,44	9,97
	TP			29,6	5,37	53,96	0,944	11,20	0,250	0,694	6,064	60,93	8,99
27.09.2020	NC	24,7	16,516	30,0	6,36	58,53	1,016	11,04	-	1,016	7,376	67,88	12,15
8:30-16:30	PVP			29,7	6,297	57,95	1,021	11,09	0,246	1,021	7,318	55,12	9,89
	TP			29,8	5,913	54,42	1,029	11,18	0,245	0,784	6,697	61,63	9,48
13.10.2020	NC	20,2	20,063	30,8	6,255	47,39	1,154	10,32	-	1,154	7,409	56,13	11,88
9:05-16:30	PVP			30,7	6,477	49,07	1,243	11,12	0,320	1,243	7,720	47,87	10,45
	TP			30,4	6,001	45,46	1,155	10,33	0,227	0,928	6,929	52,49	9,80
27.10.2020	NC	20,1	19,928	25,8	7,054	53,80	1,216	10,95	-	1,216	8,270	63,08	12,27
8:30-16:30	PVP			25,6	7,137	54,44	1,267	11,41	0,310	1,267	8,404	52,46	10,42
	TP			25,8	6,636	50,62	1,173	10,56	0,245	0,928	7,564	57,69	9,62
28.10.2020	NC	18,7	19,772	26,2	6,686	51,40	1,208	10,96	-	1,208	7,894	60,69	12,35
8:30-16:30	PVP			26,3	6,799	52,27	1,240	11,25	0,310	1,240	8,039	50,58	10,40
	TP			26,2	6,368	48,95	1,162	10,55	0,245	0,917	7,285	56,00	9,71
2020.10.29	NC	17,5	19,730	25,8	6,54	50,38	1,218	11,08	-	1,218	7,758	59,77	12,49
8:30-16:30	PVP			26,2	6,565	50,58	1,259	11,45	0,311	1,259	7,824	49,33	10,57
	TP			25,8	6,168	47,52	1,166	10,60	0,245	0,921	7,089	54,61	9,74
29.10.2020	NC	16,5	20,275	25,3	6,677	50,06	1,237	10,95	-	1,237	7,914	59,33	12,49
8:35-16:35	PVP			25,7	6,682	50,09	1,294	11,45	0,326	1,294	7,976	48,94	10,65
	TP			25,2	6,255	46,89	1,177	10,42	0,245	0,932	7,187	53,88	9,70

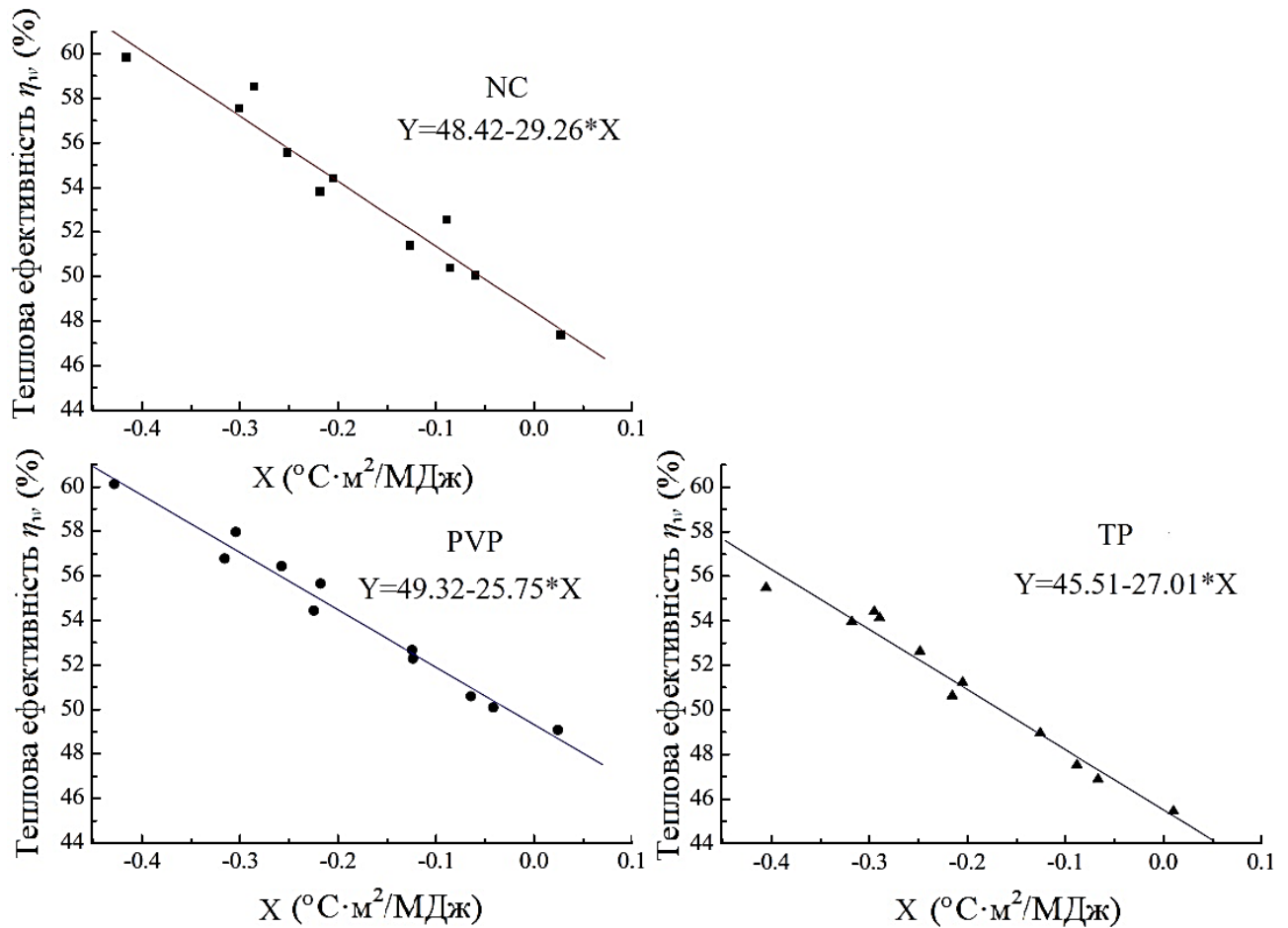


Рисунок 3.23 - Лінії регресії добової теплової ефективності відносно X,

$$X = (T_{wt,i} - T_a) / H_t$$

Таблиця 3.6 - Коефіцієнти рівняння продуктивності системи.

$Q = a_1 H_t + a_2 (T_a - T_{wt,i}) + a_3$								
Система	a_1	a_2	a_3	sa_1	sa_2	sa_3	R^2	sQ
NC	0,2771	0,1707	0,8144	0,0128	0,0125	0,2548	0,9795	0,0053
PVP	0,3188	0,1669	0,1104	0,0127	0,0117	0,2540	0,9843	0,0048
TP	0,272	0,1546	0,5746	0,0144	0,0152	0,3036	0,9747	0,0039

Чиста загальна енергія, отримана ФЕ/Т системою з ФЕ-насосом, близька або трохи більше, ніж у системи з природною циркуляцією, але значно вища, ніж у системи з традиційним насосом постійного струму. Для трьох систем ФЕ/Т система з природною циркуляцією має найкращу енергетичну та

ексергетичну ефективність. Енергоефективність системи з ФЕ-насосом є найнижчою, оскільки сонячне випромінювання, що падає на ФЕ-модуль ФЕ-насоса, враховується при розрахунку ККД рівняння (2.9). Однак ефективність ексергії системи з ФЕ-насосом все ще вища, ніж у системи з традиційним насосом. Якщо враховувати лише вартість системи та її продуктивність, то ФЕ/Т система з природною циркуляцією може бути оптимальним вибором серед трьох ФЕ/Т систем, оскільки вартість її конструкції найнижча, а загальна продуктивність вища, ніж в інших двох систем.

Однак через суворі вимоги до монтажу ФЕ/Т система з природною циркуляцією підходить лише для невеликої сонячної водяної системи опалення. А для великої системи потрібна вимушена система. ФЕ/Т система з традиційним насосом має меншу вартість у порівнянні з системою з ФЕ-насосом, оскільки для роботи насоса їй не потрібен автономний ФЕ-модуль. Але система з ФЕ-насосом може отримати більше теплової та електричної енергії в порівнянні з системою з традиційним насосом. Більше того, ціна ФЕ-модуля різко впала за останні роки, вартість ФЕ-модуля для насоса становить лише дуже незначну частину загальної вартості системи. Отже, у порівнянні з системою з традиційним насосом, система з ФЕ-насосом може мати більше переваг для великої сонячної системи підігріву води.

3.2.3 Аналіз шляхів підвищення продуктивності ФЕ/ Т сонячної системи гарячого водопостачання

Згідно з результатами, представленими вище, видно, що ФЕ/ Т сонячна водонагрівальна система з ФЕ-насосом здатна покращити теплові та електричні характеристики порівняно з традиційними насосами. Підвищення теплової ефективності та електричної ефективності може становити на 6,24% та 3,64% відповідно. Крім того, Беллос і Ціванідіс [26] зазначають, що щорічні теплові показники можуть бути покращені приблизно на 4,35 %, тоді як електричні та ексергетичні показники також можуть покращитися на 1,49 % та 3,19 %, коли

ФЕ/Т система працює з мідним теплообмінником та наноносієм (рідина, що містить наночастинки).

Zondag та ін. [27] встановив, що, порівняно з нижнім охолодженням, теплову ефективність можна підвищити, а тепло, що поглинається водою, збільшиться, коли охолоджуюча вода надійде на поверхню фотоелектричної панелі. Ріффат і Кус [28] встановили, що видалення скління ФЕ/Т колектора може сприяти посиленню пропускання сонячного випромінювання та підвищує електричну ефективність, але це зменшить теплову та загальну енергію. Підходів до підвищення ефективності роботи ФЕ/Т системи сонячного водонагрівання багато, але кожен з підходів має переваги та недоліки. У практичному застосуванні нам потрібно вибрати відповідний підхід відповідно до фактичної ситуації.

3.3 Висновки до розділу

У першому експерименті встановлено електричну та теплову поведінку систем ФЕ/Т під час миттєвих та 24-годинних робочих умов.

1. Експериментально досліджені дві системи з додатковим склінням або без нього в поєднанні з оцінкою теплової ефективності досліджуваних пристроїв з електричним навантаженням або без нього.

2. Встановлено вплив циркуляції потоку рідини (термосифонний або примусовий) та різну ємність бака-акумулятора на ефективність системи.

3. Розраховано максимальну електричну ефективність, миттєву теплову ефективність та середньодобову ефективність досліджуваних систем, а також визначено їх варіацію в залежності від умов експлуатації.

У другому експерименті було досліджено три ФЕ/Т системи сонячного водяного опалення з різними методами циркуляції. І були проведені серії одноденних експериментів для аналізу їх ефективності роботи. Порівняння між трьома ФЕ/Т системами проводилось різними методами. В результаті отримано наступні результати:

1. Загалом усі три ФЕ/Т системи мають прийнятну продуктивність. Теплова ефективність трьох ФЕ/Т систем знаходиться в межах 45,46% - 60,11%, а електричний коефіцієнти корисної дії становлять 10,33% - 11,6%.

2. Порівняння між трьома ФЕ/Т системами показує, що система з ФЕ-насосом має найкращі теплові характеристики. Щоденна теплова ефективність системи з ФЕ-насосом може становити до 60,11 %, а коефіцієнт a рівняння ефективності (2.13) дорівнює 49,32. Наявність ФЕ-насоса може покращити теплові характеристики ФЕ/Т системи в порівнянні з традиційним насосом.

3. Аналіз енергії та ексергії продемонстрував, що ФЕ/Т система з природною циркуляцією має найкращу загальну ефективність енергії та ексергії серед трьох систем, яка може становити до 69,63 % та 12,84 % відповідно, проте система з природною циркуляцією не підходить для великої водяної системи опалення. Беручи до уваги сонячне випромінювання, яке падає на ФЕ модуль фотоелектричного насоса, енергетична ефективність системи з ФЕ-насосом є найнижчою, але ефективність ексергії вища, ніж у системи з традиційним насосом.

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 інструктажів з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий [29].

Вступний інструктаж проводиться:

- 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 [29].

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 Захист від статичної електрики

Статична електрика – це сукупність явищ, що пов'язані з виникненням, накопиченням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в

об'ємі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів та виробів. Виникнення зарядів статичної електрики є результатом складних процесів перерозподілу електронів чи іонів при стиканні двох різнорідних тіл (речовин) [29].

Порушення поверхневого контакту при терті тіл призводить до електризації - виникнення електричних зарядів, які можуть утримуватись на поверхні цих тіл протягом тривалого часу. Такі заряди, на відміну від рухомих зарядів динамічної електрики (електричний струм) знаходяться у статичному стані.

Електричні заряди виникають:

- при терті діелектричних тіл один об одного або об метал (наприклад, пасові передачі);
- при переливанні, перекачуванні, перевезенні в ємностях горючих та легкозаймистих рідин;
- при транспортуванні горючих газів трубопроводом;
- при подрібненні діелектриків;
- при переміщенні сухого запиленого повітря зі швидкістю понад 15 – 20 м/с і т.п.

Систематичний вплив електростатичного поля підвищеної напруженості негативно впливає на організм людини, викликаючи, в першу чергу, функціональні розлади центральної нервової та серце-судинної систем. Відповідно до ГОСТ 12.1.045-84 гранично допустима напруженість електричного поля $E_{доп}$ на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м, якщо час впливу t_v не перевищує 1 год; при 1 год < t_v < 9 год – $E_{доп} = 60\sqrt{t_v}$.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів досягається трьома основними способами:

- запобіганням виникнення та накопичення статичної електрики,
- прискоренням стікання електростатичних зарядів,
- нейтралізацією електростатичних зарядів.

4.3 Запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного походження на об'єктах електроенергетики

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій — це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків [30].

Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. № 1198.

Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру (ЄДСЗР) включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організують проведення роботи із запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат.

Основною метою створення ЄДСЗР є забезпечення реалізації державної політики у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, забезпечення цивільного захисту населення.

Завданнями ЄДСЗР є:

- розроблення нормативно-правових актів, а також норм, правил та стандартів з питань запобігання надзвичайним ситуаціям та забезпечення захисту населення і територій від їх наслідків;
- забезпечення готовності центральних та місцевих органів виконавчої влади, виконавчих органів рад, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
- навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення надзвичайної ситуації;
- виконання цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям, забезпечення сталого функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;
- збирання та аналітичне опрацювання інформації про надзвичайні ситуації, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;
- прогнозування і оцінка соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;
- створення, раціональне збереження і використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- проведення державної експертизи, забезпечення нагляду за дотриманням вимог щодо захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій (у межах повноважень центральних та місцевих органів виконавчої влади);
- оповіщення населення про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій, своєчасне та достовірне його інформування про фактичну обстановку і вжиті заходи;

- захист населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації надзвичайних ситуацій, організація життєзабезпечення постраждалого населення;
- пом'якшення можливих наслідків надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;
- здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення, проведення гуманітарних акцій;
- реалізація визначених законодавством прав у сфері захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, в тому числі осіб (чи їх сімей), що брали безпосередню участь у ліквідації цих ситуацій;
- участь у міжнародному співробітництві у сфері цивільного захисту населення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Ефективність сонячних колекторів в деяких випадках досягає 70 – 85 %, тоді як фотоелектричні панелі використовують всього лише 14 – 18 % від сонячної радіації, яка надходить. А використання спільної енергопоглинаючої площі дозволить підвищити сумарну енергоефективність отримання корисних видів енергії із сонячної.

2. Спроековано дослідні установки, які використовувалися для дослідження роботи ФЕ/Т колекторів із природньою циркуляцією теплоносія та примусовою, а також із додатковим захистним склінням та без нього.

3. Запропоновано методику оцінки ефективності системи на основі ФЕ/Т колекторів, яка використана при опрацюванні експериментальних даних.

4. Досліджено три ФЕ/Т системи сонячного водяного опалення з різними методами циркуляції. В результаті, порівнюючи отримані дані отримано наступні результати:

- Усі три ФЕ/Т системи мають прийнятну продуктивність. Теплова ефективність трьох ФЕ/Т систем знаходиться в межах 45,46 % - 60,11 %, а електричний коефіцієнти корисної дії становлять 10,33 % - 11,6 %.
- Встановлено, що система з ФЕ-насосом має найкращі теплові характеристики. Щоденна теплова ефективність системи з ФЕ-насосом може становити до 60,11 %. Тобто наявність ФЕ-насоса може покращити теплові характеристики ФЕ/Т системи в порівнянні з традиційним насосом.
- Встановлено, що ФЕ/Т система з природною циркуляцією має найкращу загальну ефективність енергії та ексергії серед трьох систем, яка може становити до 69,63 % та 12,84 % відповідно, проте система з природною циркуляцією не підходить для великої водяної системи опалення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – С. 114.
2. H. A. Zondag. Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008), 891-959.
3. G. Vokas, N. Christandonis, F. Skittides. Hybrid photovoltaic-thermal systems for domestic heating and cooling—A theoretical approach. *Solar Energy* 80 (2005), 607-615.
4. M. Brummelen, B. Engelenburg, E. Nieuwlaar. *Methodology for the Life Cycle Assessment of energy technologies*, Utrecht: Department of Science, Technology and Society of the Utrecht University, 1994.
5. Pre' Consultants. *SimaPro Software and Sustainability Consulting 2015*. www.pre-sustainability.com.
6. M. Goedkoop, R. Spriensma *The Eco-indicator 99-A damage oriented method for life cycle impact assessment- methodology 2001*
7. F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, V. LoBrano. Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy* 30 (2005), 1031-1054.
8. F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, V. LoBrano. Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances. *Renewable Energy* 30 (2005), 109-130.
9. S. Kalogirou. *Performance and environmental life cycle analysis of thermosyphon solar water heaters*. Higher Technical Institute, Nicosia, Cyprus, (2004).
10. N. Arnaoutakis, M. Souliotis, S. Papaefthimiou. Comparative experimental Life Cycle Assessment of two commercial solar thermal devices for domestic applications. *Renewable Energy* 111 (2017), 187-200.

- 11.T. Tsoutsos, N. Frantzeskaki, V. Gekas. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy* 33 (2005), 289-296.
- 12.Z.A. Firatoglu, B. Yesilata, New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems, *Sol. Energy* 77 (2004) 81—93.
- 13.A.A. Ghoneim, Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems, *Energy Convers. Manag.* 47 (2006) 1449—1463.
- 14.A. Hamidat, B. Benyoucef, Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems, *Renew. Energy* 33 (2008) 933-942
- 15.S. Sallem, M. Chaabene, M.B.A. Kamoun, Energy management algorithm for an optimum control of a photovoltaic water pumping system, *Appl. Energy* 86 (2009) 2671—2680.
- 16.J.K. Kaldellis, E. Meidanis, D. Zafirakis, Experimental energy analysis of a standalone photovoltaic-based water pumping installation, *Appl. Energy* 88 (2011)4556—4562.
- 17.M. Benghanem, K.O. Daffallah, S.N. Alamri, Effect of pumping head on solar water pumping system, *Energy Convers. Manag.* 77 (2014) 334—339.
18. A.K. Tiwari, V.R. Kalamkar, Performance investigations of solar water pumping system using helical pump under the outdoor condition of Nagpur, India, *Renew. Energy* 97 (2016) 737—745.
19. A.K. Tiwari, V.R. Kalamkar, Effects of total head and solar radiation on the performance of solar water pumping system, *Renew. Energy* 118 (2018) 919—927.
- 20.A.M. Al-Ibrahim, W.A. Beckman, S.A. Klein, et al., Design procedure for selecting an optimum photovoltaic pumping system in a solar domestic hot water system, *Sol. Energy* 64 (1998) 227—239.
- 21.T. Grassie, K. Macgregor, T. Muneer, et al., Design of a PV driven low flow solar domestic hot water system and modeling of the system collector outlet temperature, *Energy Convers. Manag.* 43 (2002) 1063—1078.
- 22.G. F. Menzies, Y. Roderick. Energy and carbon impact analysis of a solar thermal collector system. *International Journal of Sustainable Engineering* 3 (2009), 1-8

23. C. Good. Environmental impact assessments of hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) systems - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55 (2016), 234-239.
24. C. Lamnatou, D. Chemisana. Photovoltaic/thermal (PVT) systems: A review with emphasis on environmental issues. *Renewable Energy* 105 (2016), 270-287.
25. Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis, R. Battisti, A. Corrado. Energy, Cost and LCA Results of PV and Hybrid PV/T Solar Systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 13 (2005), 235-250.
26. E. Bellos, C. Tzivanidis, Yearly performance of a hybrid PV operating with nanofluid, *Renew. Energy* 113 (2017) 867—884.
27. H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, et al., The yield of different combined PV-thermal collector designs, *Sol. Energy* 74 (2003) 253—269.
28. S.B. Riffat, E. Cuce, A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems, *Int. J. Low Carbon Technol.* 6 (2011) 212—241.
29. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
30. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / М.І. Стеблюк.– К., 2010. – 487 с.