

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра метрології та промислової автоматики

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

Метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну

Виконав: студентка 2 курсу,
групи КІВТ-20м
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
освітня програма: комп'ютеризовані
інформаційно-вимірювальні технології
_____ Безверхня А. В.

Керівник: к.т.н., доцент. каф. МПА
_____ Маньковська В. С.

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: д.т.н., проф. Заболотна Н. І.

_____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри МПА

_____ д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.

« ____ » _____ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра метрології та промислової автоматики
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 15 "Автоматизація та приладобудування"
Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МПА
д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.
“ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Безверхній Аліні Вікторівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну

керівник роботи Маньковська Вікторія Сергіївна к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” вересня 2021 року № 277

2. Строк подання студентом роботи 17.12.2021

3. Вихідні дані до роботи фотоелектричний перетворювач, спектр довжин хвиль 1 ... 50 мкм; діапазон вимірювань швидкості вітру 0 ... 20 м/с ; роздільна здатність $\geq \pm 0,02$ ОС $\geq \pm 0,02$ °С; діапазон вимірювань рідини в колекторі 0 ... + 100 °С;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) постановка проблеми альтернативної енергетики у сучасному світі та практичне застосування фотоелектричних панелей, покращення методів випробувань сонячних панелей та колекторів, метрологічне забезпечення сонячних панелей, шляхи покращення метрологічних характеристик каналів вимірювання для досліджень ФЕП

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Додаток А (обов'язковий) Метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну Технічне завдання. Додаток Б

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	к.т.н., доцент Маньковська В. С.	01.09.2021	17.12.2021
6	Ратушняк О.Г., к.е.н., доцент	01.09.2021	17.12.2021

7. Дата видачі завдання 01.09.2021р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної Роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка проблеми альтернативної енергетики та практичне застосування фотоелектричних панелей	01.09.2021 14.09.2021	
2	Головні принципи роботи фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії в електричну	14.09.2021 28.09.2021	
3	Розробка структурної та функціональної схеми перетворювача сонячної енергії в електричну	28.09.2021 07.10.2021	
4	Метрологічне забезпечення сонячних панелелей	07.10.2021 19.10.2021	
5	Шляхи покращення метрологічних характеристик каналів вимірювання для досліджень ФЕП	19.10.2021 16.11.2021	
6	Економічна частина	16.11.2021 17.12.2021	

Студент _____
(підпис)

Безверхня А. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Маньковська В. С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 669.19

Безверхня А. В. Метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну

Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 - Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, освітня програма - метрологія.

Вінниця: ВНТУ, 2021, 93 с..

На укр. мові. Бібліограф. : 30; рис.: 24; табл.: 10.

У магістерській кваліфікаційній роботі було виконано аналіз техніко-економічних параметрів різноманітних сучасних фотопанелей, а також фотопанелей з буферними акумуляторами енергії при використанні енергії сонячного випромінювання.

Проведено технічний та економічний розрахунок параметрів нового приладу фотоелектричного перетворювача сонячної енергії у електричну з покращеним коефіцієнтом перетворення світла. При порівнянні нової розробки з аналогом виявлено, що вона є більш якісною і ефективнішою відносно аналога, а також кращою за різними якостями. Проведено розрахунок основних метрологічних характеристик нового приладу.

Ключові слова: сонячний елемент, фотоелектричний перетворювач, сонячний колектор, альтернативна енергетика, електроренергія, сонячне випромінювання.

ABSTRACT

Bezverkhnia A. V. Metrological support of photoelectric converter of solar energy into electric energy

Master's qualification work in the specialty 152 - Metrology and information-measuring technology, educational program - metrology.

Vinnytsia: VNTU, 2021, 93 p..

In Ukrainian language. Bibliographer. : 30; pictures.: 24; tables: 10.

In the master's qualification work the analysis of technical and economic parameters of various modern photopanel, and also photopanel with buffer accumulators of energy at use of energy of solar radiation was executed.

The technical and economic calculation of the parameters of the new device of the photoelectric converter of solar energy into electric energy with the improved light conversion factor is carried out. When comparing the new development with the analogue, it was found that it is better and more efficient than the analogue, as well as better in various qualities. The calculation of the main metrological characteristics of the new device is carried out.

Key words: solar cell, photoelectric converter, solar collector, alternative energy, electric power, solar radiation.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	10
1.1 Огляд та аналіз сонячних панелей.....	15
1.2 Характеристика сонячних панелей та колекторів	21
1.3 Комбіновані тепло фотоелектричні модулі.....	26
1.4 Сучасний стан технічної бази експериментів сонячних перетворювачів та можливості її реалізації.....	28
1.5 Висновки до розділу.....	31
2 ГОЛОВНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНУ	33
2.1 Фотоелектричний перетворювач.....	33
2.2 Рівняння та графік перетворення ФЕП.....	37
2.3 Висновки до розділу.....	40
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНУ	41
3.1 Еквівалентна схема ФЕП.....	41
3.2. Функціональна схема ФЕП.....	43
3.3 Висновки до розділу.....	44
4 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЛЕЙ	45
4.1 Теоретичний аналіз метрологічного забезпечення.....	45
4.2 Основі вимоги нормативних документів до метрологічних характеристик під час дослідження фотоелектричного перетворювача.....	47
4.3 Дослідження можливостей еталонування випромінювальної здатності випромінювача та датчика сонячної радіації.....	50
4.4 Висновки до розділу.....	53
5 ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛІВ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ФЕП	54

5.1 Функція перетворення каналів вимірювання температури для випробувань сонячних перетворювачів.....	54
5.2 Функція перетворення вдосконалених цифрових перетворювачів різниці температур для досліджень фото електричних перетворювачів.....	55
5.3 Коригування похибок термометра із змінюванням двох значень вимірювальних струмів.....	57
5.4 Шляхи забезпечення в цифрових термометрах ФЕП інваріантності до значень опорів ліній зв'язку.....	59
5.5 Висновки до розділу.....	60
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	62
6.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	62
6.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи.....	68
6.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	76
6.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	77
6.5 Висновки до розділу.....	80
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ДОДАТКИ.....	86
Додаток А (обов'язковий) Метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну. Технічне завдання.....	87
Додаток Б (обов'язковий) Лістинг програми контролю.....	90
Додаток В (довідковий) Сімейство типових вольт-амперних характеристик фотомодуля в залежності від інтенсивності сонячного випромінювання.....	91
Додаток Г (довідковий) Схема роботи мережевої станції під зелений тариф.....	92
Додаток Ж Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	93

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день зменшення об'ємів природних ресурсів, які потрібні електростанціям для вироблення електричної енергії призвело до пошуку альтернативних джерел енергетики. Через значний вплив на навколишнє середовище під час використання звичайних енергоносіїв та постійне зростання вартості в останній час велика увага приділяється альтернативним та поновлювальним джерелам. На даний час відновлювальна енергетика є головним напрямком та важливою частиною розвитку енергетичної галузі. Цей напрямок є дуже перспективним, тому з кожним роком все більші площі займають станції з поновлювальними джерелами енергії. Одним із головних джерел енергії провідне місце займає використання сонячної енергії.

Головними перевагами цього виду енергії є: нескладне обслуговування обладнання сонячної станції, місце розташування не залежить від наявності корисних копалин, широкий доступ, теоретична невичерпність, екологічність, економічність, доступність, можливість трансформації сонячної енергії в теплову або електричну енергію. Вся сонячна енергія, що надходить на поверхню планети за тиждень в рази перевищує всі запаси корисних копалин (газу, нафти, урану, вугілля) [3]. Сонце - доступний ресурс для виробництва електричної енергії. Під час роботи сонячної станції не здійснюється ніяких викидів в довкілля. Сировина, з якої виготовляються сонячні панелі може бути використана повторно.

Перші сонячні панелі були виготовлені з кремнію у 1954 році. У багатьох дослідженнях неоднократно зустрічається дата 2050 року – межа використання сонячної енергії, яку потрібно досягнути. В Україні не дивлячись на відсутність регулярного фінансування галузь альтернативних джерел активно розвивається [5].

Об'єктами дослідження у даній роботі є сонячні панелі та фотоелектричні перетворювання. На даний час однією з головних економічних проблем України є велика енергозатратність промисловості і залежність від експортування енергетичних ресурсів. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні

(1235 кВт·год/м²) є значно вищим, ніж у країнах Європи [4]. Таким чином, Україна має високий потенціал, для розвитку для масштабного впровадження фотоенергетичного та тепло-енергетичного обладнання майже у всіх регіонах.

Одним із провідних напрямків використання сонячної енергії є її безпосереднє перетворення в електричну за допомогою напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). На даний час і в межах найближчого майбутнього основною сировиною для виготовлення ФЕП був, є і буде кремній.

На даний час на ринку є велика кількість сонячних панелей або ФЕП різних виробників і для правильного їх виробу потрібні прості методики та устаткування для проведення їхніх випробувань. Але у міжнародних нормативних документах зазначена об'ємна процедура калібрування використовуваного контрольно-вимірювального обладнання, що значно ускладнює перевірку таких перетворювачів [1]. Для вирішення цих питань потрібно внести поправки і доповнення в діючі стандарти щодо теплових випробувань. У покращених стандартах передбачається використання метрологічно надійного випробувального устаткування та апробованих методик.

Проблема енергоефективності для України є дуже актуальною, тому що споживання енергоресурсів у нашій державі орієнтовано на традиційні невідновлювальні джерела енергії, також Україна імпортує майже 50% електроенергії за високими тарифами, це є дуже невигідно для економіки. Зараз нас цікавить сонячна фотоенергетика, яка використовує пряме перетворення сонячної радіації в електричну енергію за допомогою фотоелементів. Потенціал сонячної енергії в нашій державі є високим для масштабного впровадження сонячних систем фотоелектричного устаткування майже на всій її площі. Отже, аналіз теперішнього стану та проблемних частин розвитку відновлювальної енергетики в Україні є актуальною темою дослідження.

Мета й завдання дослідження. Метою є дослідження основних видів сонячних перетворювачів, а також аналіз метрологічного забезпечення фото панелей та його покращення.

Виходячи з поставленої мети були сформульовані та поставлені такі задачі:

1. Зробити аналіз основних понять сонячної радіації, огляд фотопанелей та їх типів.
2. Проаналізувати головні аспекти метрологічного забезпечення, основні параметри сонячних панелей та методи їх вимірювання.
3. Розробити та дослідити нові, та покращити існуючі елементи, методи системи, враховуючи її параметри.
4. Надати рекомендації щодо проведення процедури метрологічного забезпечення.

Об'єкт дослідження. Це процеси трансформації сонячної енергії та практичне застосування цього у промисловості.

Предметом дослідження є методи та засоби, що покращують роботу ФЕП та сонячних систем.

Методи дослідження. При написанні роботи було використано такі методи дослідження: описовий, порівняльний, постановки експерименту, теоретичний, технічний.

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну.

Практичне значення одержаних результатів. Основні положення та результати представлені у магістерській кваліфікаційній роботі отримані автором самостійно. Досліджено основні параметри та характеристики сонячних перетворювачів. Положення й висновки МКР можуть стати основою подальших наукових досліджень або використовуватимуться в навчальному процесі.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Результати дослідження у магістерській кваліфікаційній роботі обговорювались на L Науково технічній конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики 2021 р., м. Вінниця. Секція метрології та промислової автоматики.

1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У СУЧАСНОМУ СВІТІ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

1.1 Теоретичний огляд та аналіз сонячних панелей

Швидкий розвиток суспільства та науково-технічний прогрес який спостерігається протягом останніх десятиліть, спричинив великий попит на енергоресурси. Уся сфера життя ґрунтується на використанні електрики і з кожним днем люди все більше потребують її. Зростання необхідності в електричній енергії при ресурсних і екологічних обмеженнях стає вже шкідливим чинником подальшого розвитку усіх сфер життєдіяльності нашої економіки. На сьогодні у розвитку енергетики важливе місце займає альтернативна, яка в майбутньому взагалі може витіснити традиційну.

На даний час тема про альтернативні джерела енергії та станції, які виробляють електрику на їх основі, є дуже актуальною та популярною. Багато авторів, не лише вітчизняних, а й за межами держави приділяють цьому питанню велику увагу та висловлюють свої думки. Так, науковці у праці “Solarenergy: Potential and future prospects” розглядають, які недоліки притаманні розвитку сонячної енергетики та описують головні технічні проблеми у сфері використання сонячної енергії. Головною перевагою відновлюваних джерел енергії є їх невичерпність та екологічність, яка сприяє покращенню екологічного стану довкілля і не спричиняє зміну енергетичного балансу на планеті.

Сонячна енергетика – є одним із перспективних напрямків застосування енергії відновлювальних джерел, яка стрімко розвивається. Сонячна енергія є найбільш доступною з усіх ресурсів. Людство використовувало сонячну енергію ще до нашої ери, проте цей напрям почав розвиватись у XIX столітті [6]. Було сконструйовано та проаналізовано велику кількість. На сьогодні сонячні системи масштабно застосовуються для забезпечення об’єктів електро- та теплоенергією. Розробки та промислові вироби у цій сфері широко розвиваються у Китаї, Японії,

США, Кореї та Німеччині та займають великий відсоток енергетичного виробітку у світі [7].

Головними перевагами сонячної енергії у порівнянні із традиційними невідновлюваними ресурсами є: доступність і невичерпність джерела; безпека для навколишнього середовища; якісне використання прямої та розсіяної сонячної радіації; можливість конструювання устаткування різних потужностей; довгий термін служби установок (до 50 років). Головними недоліками сонячної енергетики є: використання великих площ землі під електростанції; залежність потужності сонячної електростанції від часу доби та погодних умов; висока вартість сонячних фотоелементів, які включають в собі небезпечні речовини, такі як миш'як, галій, кадмій, свинець тощо. У світі використовується три типи трансформації сонячної енергії:

- а) застосування енергії рідини, нагрітої сонячними променями;
- б) пряме фотоелектричне перетворення сонячної радіації в електричний струм;
- в) застосування дзеркал, які фокусуються в теплову енергію Сонця на поверхню парових котлів теплових електростанцій.

Ефективності та доцільності використання сонячної енергії присвячено багато наукових праць. Вагомі внески у цьому напрямку дослідження отримано в Інституті фізики напівпровідників НАН України, у Київському, Одеському, Ужгородському та Чернівецькому університетах, на деяких промислових підприємствах («Піллар», «Квазар») та в багатьох інших українських лабораторіях. Завдяки цим зусиллям науковців вчених, вартість сонячних елементів вдалося знизити до 0,5 – 1,1 євро/Вт. Всі однозначно стверджують, що використання в Україні альтернативних джерел енергії, насамперед, сонячної енергетики, без сумнівів принесе користь [2].

У нашій державі є достатньо сприятливі умови для застосування сонячного випромінювання: річний максимальний енергетичний потенціал сонячного випромінювання складає приблизно 6 млрд. тонн палива, а його використання може замінити майже 5 млрд. м³ природного газу.

У розвинутих країнах світу питома вага альтернативної енергетики постійно зростає і в найближчий час буде складати декілька десятків відсотків. Сонячне випромінювання в Україні складає 3500-5200 МДж/м² на рік. Найоптимальніша пора для активного застосування сонячного випромінювання у північних регіонах продовжується з квітня по вересень, у південних - з березня по жовтень, що складає 1900-2400 годин на рік. Сумарна середньорічна сонячна енергія змінюється від 1070 кВт·год/км² за місяць на півночі, до 1400 кВт·год/км² на півдні.

За прогнозованими оцінками Національного управління з повітроплавання і дослідження космічного простору, потенціал виробництва сонячної енергії України перебуває в межах таких значень, як і потенціал США, на площу цих держав припадає майже однакова кількість сонячної радіації. Але в нашій країні цей потенціал не використовується в достатньому об'ємі через недостатні інвестиції цього напрямку. Тариф, який існує для реалізації сонячної енергії, є вагомою перевагою для інвесторів, завдяки цьому сонячна енергетика швидко розвивається у нашій державі. Але вартість виробленої електроенергії за допомогою сонячних електростанцій є перешкодою, для стрімкого розвитку та широкого застосування сонячної енергії [1].

Для того, щоб розуміти стан сонячної енергетики в Україні, потрібно проаналізувати проект Дорожньої карти розвитку альтернативної енергетики України на період до 2021 року. Згідно з цим документом, лідером з використання сонячної енергії є Одеська область, в якій на даний час введено 226,869 МВт потужності. Вінницька та Миколаївська області в порівнянні з іншими потужно використовують сонячні електростанції: 100,710 МВт та 82,869 МВт відповідно. Харківська область, на жаль, не є лідером щодо дальшої побудови і впровадження сонячних електростанцій. Порівняно з іншими областями її потужність складає 0,207 МВт, а це дуже мало.

У термін з 2019 по 2024 рр. потенціал альтернативних джерел енергії на масштабному рівні очікувано може вирости на 50% шляхом розвитку сонячної

енергетики, тому що лише на PV-сегмент припадає майже 60% прогнозованого приросту. Можливості сонячної енергетики в Україні вирости за останні 3 роки у понад 7 разів.

У широкому розрізі середня вартість електроенергії, вироблена сонячними станціями, зменшилася на 73%. Інвестори перестали приймати сонячну енергетику як високу за вартістю сферу. Це дає альтернативній енергетиці бути на одному рівні з традиційними джерелами без додаткового субсидування на основних ринках світу. У залежності від законодавчих ініціатив для України 2020 р. може завершитися встановленням від 2 до 5,5 ГВт потужностей сонячної енергетики і приблизити країну до виконання планів енергетичної Стратегії України – досягнення 25% створення енергії з альтернативних джерел від загальних енергоресурсів до 2035 року. Якщо Україна досягне потужності 5 ГВт, то вона може увійти в ТОП 15 найперспективніших ринків сонячної енергетики у світі [5].

На рисунку 1.1 представлено як співвідноситься Україна в загальній категорії сонячної інсоляції серед європейських країн [8]. З побаченого можна зробити висновок, що сонячна інсоляція на території України в порівнянні з європейськими країнами, що мають високий рівень використання сонячних електростанцій, є більш ніж достатньою для використання різного роду установок для забезпечення комфортних умов у господарстві та промисловості [3].

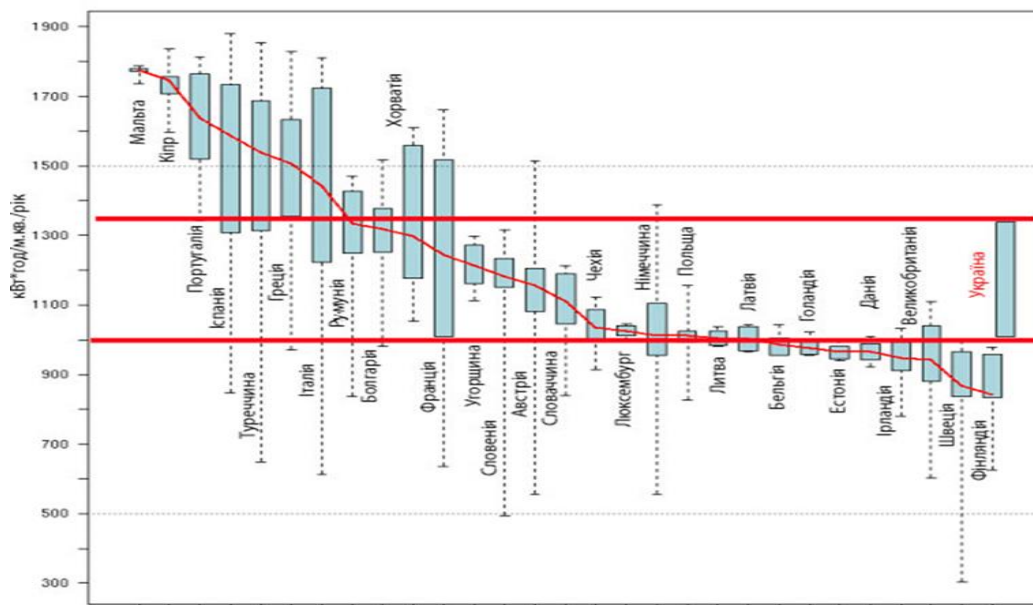


Рисунок 1.1- Річна кількість сонячної інсоляції для різних держав

В Україні найбільш перспективними є такі напрями використання сонячної енергії:

1) безпосереднє її перетворення в електричну енергію постійного струму шляхом використання внутрішнього фотоефекту в напівпровідникових фотоелектричних перетворювачах та їх конструкцій – сонячних батарей та модулів з великою активною площею в середньому з ККД 10-15%, хоча можливі розробки з ККД близьким до 30%. Як напівпровідниковий матеріал фотоперетворювачів частіше всього використовується кремній Si, дивлячись на його широку поширеність в природі та найбільш придатні техніко-економічні показники для процесу фотоелектричного перетворення. Одержання електроенергії в сонячних елементах ґрунтується на фотовольтаїчному ефекті в неоднорідних напівпровідникових структурах за умов падіння на них сонячного випромінювання.

2) безпосередня її трансформація в теплову енергію без попередньої концентрації потоку сонячного випромінювання для нагрівання теплоносія та подальшої подачі на об'єкти обігріву (пристрої, які використовуються при цьому

називають сонячними тепловими колекторами, а як носій у них використовується здебільшого вода) з коефіцієнтом корисної дії (ККД) 45-60%, а в разі застосування концентраторів - 80-85% [9] .

1.2 Характеристика сонячних батарей

В основі роботи фотоелектричних перетворювачів лежить явище фотоелектричного ефекту – “вибивання” квантами світла електронів із напівпровідників. Фотоелектричний ефект був вперше досліджений у 1829 році видатним фізиком А. Беккерелем. Сонячні елементи з’явилися у 1839 році.

Німецький вчений у 1887 році Генріх Герц дослідив явище зовнішнього фотоелектричного ефекту, освітлюючи кулі електричного розряджувача ультрафіолетовим випромінюванням. При освітлюванні заряд між кулями посилювався. Альберт Ейнштейн тільки у 1905 році детальніше розтлумачив явище фотоелектричного ефекту, та за це отримав Нобелівську премію.

Ейнштейн, який розвивав квантову теорію німецького вченого Макса Планка, спрогнозував, що електромагнітне випромінювання розповсюджується по всій площі і поглинається частинами - світловими квантами (фотонами), для виникнення фотоелектричного ефекту є важливою не тільки інтенсивність падаючого світла, а те, чи вистачить фотону енергії для того, щоб вибити електрон з матерії. Ця теорія внесла всі роз’яснення про експериментальні матеріали.

Найперший сонячний елемент (СЕ) був сформований після дослідження явища фотоелектричного ефекту російським фізиком Олександром Столетовим. Початкові фотоелементи були створені із оксиду міді, трансформуючи світлову енергію в електричний струм, були винайдені у 1926 році. Карл Фітц створив перші напівпровідникові СЕ основою для яких був селен, проте вони мали малий коефіцієнт корисної дії (ККД), приблизно 1%, та сильно низьку віддачу - на кожен люмен падаючого на них світлового випромінювання вони показували струм лише декілька десятків частин міліампера

Сучасні СЕ на основі кремнію сучасного типу на основі кремнію були запатентовані у 1946 році американським вченим Расселом Олем. Найперші кремнієві сонячні батареї виготовлені у 1954 році інженерами компанії Bell Laboratories, а вже у 1958 році супутники із сонячними батареями були запущені у США (у березні) та у СРСР (у травні).

Варто відмітити, що науковою базою для конструкції найперших сонячних панелей став проект теорії йтатехнології напівпровідникових матеріалів та структур з рп- переходом. Для просторового розведення зарядів, тобто виникнення електричного струму, потрібна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровідниковому матеріалі. Таке поле існує в електронно-дірковому рп-переході, у контакті метал-напівпровідник, у контакті двох різних напівпровідників .

Найпростіша установка сонячного елемента – пристрою для трансформації світлового випромінювання у видимому та ближньому інфрачервоному спектральному діапазоні у електрострум за допомогою явища внутрішнього фотоефекту [11].

На невеликій глибині від поверхні кремнієвої пластини р-типу сформований р-п перехід з тонким металевим контактом. На тильній стороні пластини накладено цілісний металевий контакт. Коли СЕ освітлюється, поглинені фотони відтворюють нестійкі електронно-діркові пари. Електрони, які генеруються в р-шарі біля рп-переходу, підходять до рп-переходу і існуючим у ньому електричним полем виштовхуються в п-область. Так само надлишкові дірки, сформовані в п-шарі, відносно переносяться в р-шар. У результаті п-шар отримує додатковий негативний заряд, а р-шар - позитивний. Негативному полюсу джерела струму відповідає п-шар, а р-шару – позитивному.

Вимірювання струму короткого замикання фотоелемента одночасно з дослідженням спектрального складу і щільності падаючого оптичного випромінювання дозволяє отримати уявлення про ефективність кожної стадії процесу перетворення випромінювання в електричну енергію, який відбувається всередині елемента.

Для кращої дієздатності СЕ потрібне дотримання низки правил [11]:

- оптичний коефіцієнт поглинання активного шару напівпровідника має бути досить високим, щоб забезпечити поглинання більшої кількості сонячного випромінювання у границях товщини шару;
- електрони і дірки, що відтворюються при освітлюванні повинні знаходитися разом на контактних електродах зі всіх сторін активного шару;
- сонячний елемент має мати відповідні габарити бар'єру в напівпровідниковому переході;
- повний опір, з'єднаний поступово з СЕ, має бути невеликим для того, щоб зробити меншими втрати потужності під час його дії;
- будова тонкого шару має бути рівномірною по всій активній області СЕ, щоб виключити закорочування і дію шунтувальних опорів на ознаки елемента.

Окремі СЕ здебільшого дають малу напругу і невисокий струм. При зростанні світлового випромінювання, яке падає на СЕ, то напруга росте, але лише до певної границі, бо вся залежність є нелінійною.

Батарея робить якісно за умов нормального опору навантаження. Краще навантаження встановлюється включенням між батареєю і навантаженням винятковим контролером.

Для покращення віддачі напруги батареї частини розміщуються послідовно, щоб підвищити струм навантаження паралельно. З'єднані у батарею компоненти розташовують на основі пристрою, а зі сторони сонячного світла прикривають прозорим склом для збереження від дії природніх явищ.

Головними характеристиками є ті, що описують основні ознаки СЕ – напруга холостого ходу і струм короткого замикання. Потужність є одною з основних ознак СЕ, одиниці виміру якої є ват або кіловат. Через те що сонячне освітлення міняється на протязі доби, але вночі його немає, то робимо висновок, що батарея постачає майже 20% від максимальної потужності. Отже, кожний кіловат вихідної потужності дає виробити за 24 год 4-8 кВт-год енергії.

Дифракційний склад падаючої на СЕ сонячної радіації регулюється атмосферними особливостями. Для обчислення очищуючих характеристик атмосфери впроваджується термін маси повітря (МП). Для відкритого космосу $МП = 0$, на земному шарі $МП = 1,5$. При вході в атмосферу планети потужність сонячного випромінювання складає 1366 Вт/м^2 , при поганих погодних умовах потужність може опуститись до 100 Вт/м^2 , точніше це вище, ніж в 10 разів, а при похмурій погоді потужність СЕ може опуститися у 15-20 разів [12].

Для створення структури електростанції основою, для якої є сонячні батареї, що не залежить від можливих несправностей при виробітку електрики, у комплексі є акумулятори електроенергії, що заряджаються під час зайвої виробленої потужності, яка віддає енергію, коли її бракує.

Небезпекою для сонячної батареї є поодинокі її затемнення - неосвічені частини діють не як енергоносії, а як чужорідне навантаження. Щоб виключити це окрема частина сонячної системи розділяється напівпровідниковим стабілітроном.

Енергетичні властивості фотоперетворювачів спершу визначаються особливостями напівпровідникових речовин та сприятливими якостями СЕ. На принципі фотоелектричні показники СЕ, а саме вольтамперна характеристика (ВАХ) і спектральна чутливість, мають вплив оптичні та електрофізичні якості напівпровідної речовини. Лише докладне вивчення дає виділити, якою причиною викликано невисоку продуктивність потрібного фотоелемента. Спершу потрібно розрахувати головні властивості, це дасть змогу дізнатися пояснення дії і природи та інших збитків.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) СЕ- відношення максимальної вихідної потужності до потужності падаючого сонячного світла. Якщо велику кількість квантів сонячної енергії вбирається сонячним елементом, то електрострум буде вищим. Це може бути також через застосування напівпровідникових матеріалів з малою шириною забороненої зони. З іншої сторони, напруга холостого ходу розраховується висотою потенціального бар'єру в р-п переході та стане більшою,

ніж головна частина забороненої зони напівпровідника. Зважаючи на обмін енергії у діапазоні сонячної радіації, можливо знайти найбільш підходящу сировину для створення якісних СЕ. Найкращим матеріалом буде слугувати арсенід галію, тому що у нього більший ККД на сонячних елементах [13].

Але більш широкого найширшого вживання мають СЕ з кремнію, він має меншу вартість, ніж арсенід галію. На рисунку 1.2 зображено звичайний промисловий СЕ із монокристалічного кремнію, габарити: 100×100 мм, товщина- 280 мкм.



Рисунок 1.2- Зображення поверхні сонячного елемента на основі кремнію

При звичайному застосуванні експлуатація напівпровідників для сонячних станцій, щоб забезпечити невелику радіотехніку одного СЕ недостатньо – він має невисоку напругу і вихідну потужність. Відповідно з різних сонячних елементів створюють сонячні батареї. Звичайна батарея, яка має потужність 50 Вт містить 36 разом з'єднаних СЕ, яка зображена на рисунку 1.3.

Сполучаючи ці елементи, можна виготовляти електростанції потужністю від кількох кВт до МВт . Вихідну потужність СЕ можна підвищити шляхом розширення поверхні СЕ, але елементи на основі кремнію з розмірами (150×150 чи 200×200 мм) не є такими поширеними [13].

СЕ класифікується за інтенсивністю збирання світла, хімічним складом, товщиною й кристалічною структурою шарів, кількістю сполучених на одній основі частин, за товщиною світло поглинаючої речовини [11].

За інтенсивністю збирання світла СЕ є одиничні й концентраційні. Одиничні сонячні елементи не вміщують специфічного устаткування для концентрації сонячного випромінювання та вбирають лише ту частину світла, яке припадає на зайняту ними ділянку. Концентраційні СЕ включають в себе особливе світлове устаткування, яке зосереджує оптичні елементи, що дає можливість підвищувати щільність світлового випромінювання по всій площині у декілька разів. Зазвичай, основою для концентраційних елементів служить дорога світло поглинаюча сировина з високими параметрами фотовольтаїчної трансформації енергії. При маркуванні цих СЕ обов'язков зазначається коефіцієнт збирання світла, одиниці вимірювання- сонця.

За кристалічною структурою вбираючої матерії сонячні елементи поділяються на монокристалічні, мультикристалічні, полікристалічні, мікрокристалічні, нанокристалічні. Монокристалічні СЕ складаються з поглиначів на основі напівпровідника. Мульти-, полі-, мікро- та нанокристалічні елементи містять у якості поглинаючого матеріалу об'єднання напівпровідникових кристалітів з різними характеристиками, величина яких характеризує тип СЕ, якщо розміри 1-100 мм- мультикристалічна речовина, 1-1000 мкм – полікристалічна, >1 мкм – мікрокристалічна, менше 1 нм – нанокристалічна [11].

За товщиною світлопоглинаючої речовини СЕ поділяються на тонкоплівкові й товстоплівкові. Тонкоплівкові елементи виготовляються з камфорного кремнію товщиною не більше 1 мкм, вони є найдешевшими з усіх СЕ. Товстоплівкові мають товщину у десятки або сотні мкм.

Отже, можемо виділити такі переваги сонячних систем:

- досяжність та невичерпність сонячної енергії, яка слугує джерелом енергії;
- екологічність та безпека, для навколишнього середовища;
- економічність процесу використання ФЕП;

- низький ступінь планового техогляду та висока надійність (майже 25-50 років для кращих СЕ).

Недоліки фотоелектричних систем [1]:

- залежність від погодних умов, пори дня та сезону;
 - велика ціна установки на даний час (3-5 \$ за 1Вт потужності усього механізму), але цей критерій невпинно зменшується, через обширне застосування ФЕП у світі;

- потреба регулярної очистки площі від пилу та атмосферних осадків.

Незважаючи на певну кількість недоліків, переваг від шляхів перетворення сонячної енергії в електричну більше і вони містять більш якісний і кількісний характер. Наразі у світі Зараз у світі існує майже 700 підприємств по виготовленню сонячних панелей для промисловості і побуту. Отже, найкращим з точки зору одержання максимального виробітку електроенергії за допомогою СЕ є комплексне застосування з'єднаних ФЕП на основі слідкувальних установок з додатковими дзеркалами. Це дозволяє одержати максимальне застосування енергоресурсу сонячних батарей і покращити їх економічність.

1.3 Характеристика сонячних колекторів

Під час перетворення сонячної енергії в електричну сонячне випромінення приймається сонячним колектором (СК) – це конструкція, через яку циркулює носій, а її тильна сторона має темну поглинальну площину [14] . СК вбирають сонячне випромінювання у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні випромінення, а також нагрівають воду, яку можна застосовувати для різних потреб. Маючи багато переваг та високий рівень абсорбції (95 %) сонячні колектори якісно діють приблизно 9 місяців протягом року. Скло колекторів є ударостійким, яке захищає конструкцію від несприятливих погодних умов та гарантує стійкість і витримку від потрапляння твердих речовин. При застосуванні незамерзаючої рідини колектор діє при низькій температурі повітря до -30°C .

Конструкції сонячного теплопостачання, при умові, що вони якісно складені, є надійними та багатолітніми.

Однією з найголовніших характеристик, яка описує ефективність СК – коефіцієнт корисної дії, який обчислюють за формулою 1.1 [15].

$$\eta_{\text{СК}} = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{пром}}}, \quad (1.1)$$

де $Q_{\text{кор}}$ – кількість тепла, що отримав сонячний колектор за час t ;

$Q_{\text{пром}}$ – кількість променевого тепла, що випромінювалось носієм на одиницю площі теплопоглинача СК за цей же час.

Колектори різняться за формою, конструктивними рішеннями, наприклад, за типом конструкції найбільш поширеними в конструкціях сонячного теплопостачання стали плоскі та вакуумні сонячні колектори. Плоский сонячний колектор – це якісно теплоізольована закрита склом плита, у якій знаходиться панель поглинача сонячної енергії, та розміщені труби з циркулюючою речовиною, що відводить одержане тепло (рисунок 1.3) [15].

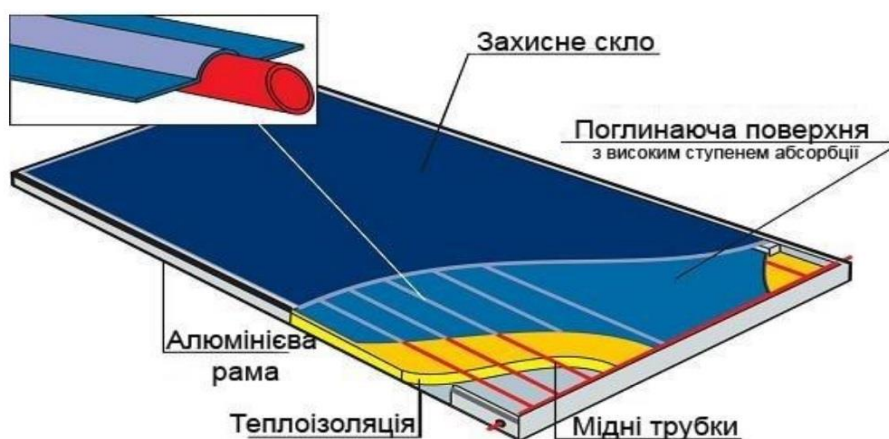


Рисунок 1.3- Конструкція плоского сонячного колектора

Панель поглинача або абсорбер зроблений з металу, який добре проводить тепло (мідь, алюміній). Абсорбер обробляється особливим високоселективним покриттям, що якісніше здержує поглинену сонячну енергію. Покриття містить міцний шар аморфного напівпровідника, який наноситься на базу з металу, і вирізняється високою поглинаючою здатністю у видимій частині діапазона і малим коефіцієнтом випромінювання у інфрачервоній частині. Абсорбер складений у спеціальний корпус, у якого фронтальна стінка є прозорою а бічна утеплена мінераловатною пластиною або іншим утеплювачем. Щоб зменшити тепловтрати у холодний сезон корпус плоского колектора виготовляють найбільш герметизованим. Отже, теплоізоляція пластини досягається за рахунок шару повітря зі сторони прозорої фронтальної стінки, і шару утеплювача із задньої сторони стінки. Плоскі колектори є ефективнішими у теплий сезон, але у зимовий період їх ефективність дуже падає через великі тепловтрати.

Принцип дії плоского колектора: сонячне світло проникає через скляну поверхню і попадає на поглинаючу панель, що нагрівається, трансформуючи сонячне випромінювання на теплоенергію. Це тепло передається теплоносію - воді або антифризній рідині, що проходить через СК. Теплоносій нагрівається і віддає після теплоенергію через теплообмінник воді у ємнісному водонагрівачі. Там гаряча вода знаходиться поки її не почнуть використовувати.

Але недивлячись це, теплові втрати плоских колекторів із заклоєної сторони великі, зокрема в холодний час року при чималій розбіжності температур теплоносія у СК. Тому плоскі колектори застосовують лише для систем гарячого водопостачання та нагріву води в басейні в теплу пору року.

Вакуумний колектор – система вакуумних трубок, які перетворюють потік сонячної радіації у теплову енергію, де відбувається первинна передача одержаного тепла у збиральний резервуар через циркулюючий у конструкції теплоносій (рисунок 1.4). Він укомплектовується 10-30 вакуумними трубками, які розміщуються паралельно один від одного. Системи вакуумного трубчастого колектора мають різні форми, приблизно є схожими на термос: одна трубка із скла розміщується в іншій, більшого діаметра (рисунок 1.5) [16].



Рисунок 1.4- Зовнішній вигляд вакуумного сонячного колектора

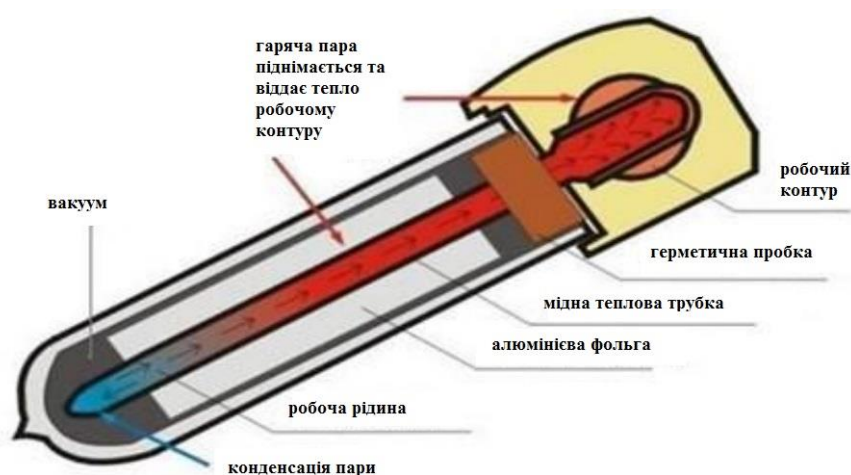


Рисунок 1.5- Розріз вакуумного трубчастого сонячного колектора

Зовнішня труба виготовлена із прозорого міцного та стійкого боросилікатного скла. Внутрішня труба теж виготовлена із того ж матеріалу, який покритий селективним речовиною, яка забезпечує поглинання тепла з невеликим відбиттям. У кожній внутрішній трубці є мідна пластинка поглиначка із покриттям з геліотитана, це дає найвищий рівень абсорбації сонячної радіації та невелику емісію тепловипромінювання. Для того, щоб не допустити теплових дефіцитів, з площини між двома трубками викачане повітря і створюється вакуум. Під дією сонячної енергії вода у трубах нагрівається і піднімається у теплоносій, заміщаючись холодною водою з нього.

У зв'язку з циліндричною формою труб пучки світла падають на площину пластини перпендикулярно до осі трубки, але інші пучки, які не є перпендикулярними осі, відбиваються. Елементи колекторів мають круглу форму, яка дозволяє не назбирувати бруд та є стійкою до дії навколишнього середовища. Найвища температура конструкції керується завдяки фізичним особливостям речовини у тепловій трубі та спеціальній системі носія. Тому, немає потреби у складних системах контролю та відбувається безпечно використання.

СК встановлюють під кутом, що відповідає куту широти території на півдні. Можливе встановлення на дах, враховуючи кут повертання колектора у напрямку орієнтування на південь.

Системи сонячних колекторів постійно покращуються. Щоб покращити ефективність сонячних конструкцій концентрацією сонячного випромінювання проведено чимало наукових експериментів [17].

СК забезпечують якісний збір теплоенергії. До головних характеристик можна віднести:

- висока екологічність: системи не виділяють у довкілля шкідливі та небезпечні речовини. Але частина науковців наголошує, що широке впровадження сонячної енергетики може змінити можливість поверхні планети відбивати випромінювання.

- якісно застовується як пряме, так і розсіяне сонячне випромінювання;
- можливість виготовлення систем різної потужності;
- довгий період служби систем (близько 50 років), початкові витрати на СЕ є набагато меншими, аніж приєднання далекої населеної точки до конструкції електропостачання, а експлуатаційні витрати з врахуванням терміну дії є меншими, ніж у дизельних електростанціях;

- низькі витрати на зберігання систем під час експлуатації;
- окупність установок за 3-5 роки;
- прилади забезпечують вимоги у гарячому водопостачанні та обігріванню приміщень відповідно на 80% і 50%;

- СК досить легко під'єднуються до встановлених опалювальних систем;

- матеріали сонячних систем здійснюють дію витонченого будівельного матеріалу, який поліпшує архітектуру будинків, служать захистом від зовнішніх чинників;
- легкість спостереження режимів СЕ, за допомогою відображення на фронтальній площині СК легко спостерігати за станом системи, не потрібно частого налаштування;
- можливість автоматичного налаштування швидкості потоку джерела тепла у сонячній системі в залежності від розбіжності температури між СК та баком-акумулятором геліосистеми;
- збереження пам'яті при зникненні електричного струму, у випадку пропадань живлення СК береже встановлені показники системи без втрат. При появі напруги контролер вертається у встановлений режим дії;
- присладами забезпечується повний або частковий обігрів будівель різної площі;
- їх потужність є дуже великою, що дає можливість підігрівати воду у відкритих басейнах;
- у деяких приладах є конструкції системи зараження води.

Дивлячись на вищеперераховані факти, ми маємо високі можливості для якісного застосування теплоенергетичного устаткування у нашій державі.

1.4 Комбіновані тепло фотоелектричні модулі

Використання сонячної енергії для тепло- та електропостачання житлових будівель на даний час здебільшого здійснюється шляхом застосування окремо теплових СК і кремнієвих фотоелектричних батарей. Підвищення ефективності застосування сонячних систем можливе за рахунок комбінування абсорбера, плоского СК і фотоелектричної панелі [18]. Монокремнієві СЕ мають плоску будову, їх ККД складає 14-15% при коефіцієнті поглинання до 95 %. При перетворенні сонячної енергії 80% йде, на теплове нагрівання елементів і послаблює їх ефективну дію. При сонячній погоді елементи нагріваються до

60...70 °C, втрачаючи 0,07-0,09 В кожен [19]. Це є головним поясненням для зниження ККД, яке призводить до зниження напруги, перетворюваної кожним ФЕП. Але, розмістивши СЕ зверху теплового абсорбера сонячного колектора, якісному теплообміні здійснюється підвищення коефіцієнту перетворення системи.

Високий коефіцієнт поглинання СЕ дозволяє до 80% сонячної радіації використовувати для нагрівання зовнішньої поверхні теплового абсорбера [20]. Комбінований теплофотоелектричний модуль досліджується з 1978 року. За конструкцією він нагадує плоский сонячний колектор на верху пластин якого розміщено панель фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які дають змогу перетворювати сонячного випромінювання в електричну. Знизу алюмінієвих пластин розташовано труби, в яких гріється рідина, яка циркулює у замкнутому контурі. Одною з якостей такої системи є не лише одержання теплоенергії додатково до електричної, але й покращення якості ФЕП. Гібридні конструкції можуть досить високо підвищити якість фотоелектричного перетворення і розширити застосування ним сонячного діапазона випромінювання.

Гібридна система працює за принципом – сонячне випромінювання падає на плочину фотоелектричного елемента (ФЕ) і теплового колектора (рисунок 1.7) [21]. ФЕ може поглинати сонячне світло до 800 нм, а невикористане видиме світло і частина інфрачервоного світла генеруються у теплоенергію.

Решта сонячної енергії абсорбується колектором тепла і трансформується прямо у теплоенергію. Відпрацьована теплоенергія від фотоелектричного елемента і отримане тепло від колектора все віддається через фольгу із міді з гарячої сторони термоелектричного генератора (ТЕГ). Водне остидження швидко отримує тепло від холодної сторони ТЕГ. Отже, було зроблено суттєву різницю температур на ТЕГ, для того щоб зробити найвищу енергоефективність, а робоча температура ФЕ теж опускається, щоб показати якісну продуктивність.

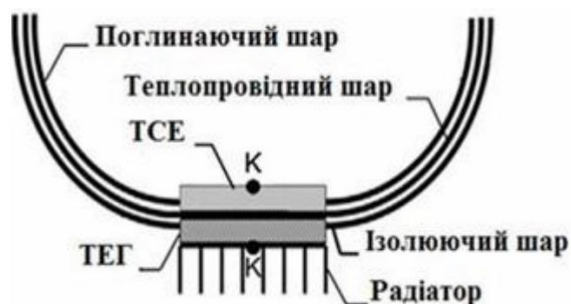


Рисунок 1.6- Зображення установки гібридної системи

Зазвичай, дві панелі мають однакові площі. Звичайно, що присутність ФЕП над сонценагрівним колектором (СНК) знижує потік тепла до нього, що приводить до зниження термoeфективності колектора. З іншої сторони, можливість колектора екстрагувати тепло від ФЕП знижується, коли вода у глибині нього підігривається. Отже, найкращою ідеєю буде створити ФЕП малої площі, ніж площа нагрівального колектора під нею, і розташувати ФЕП на початку колектора, щоб забезпечити ефективніше охолодження ФЕП та покращити якість нагрівального колектора.

Отже, можемо зробити висновок, що одним із сприятливих шляхів для застосування сонячної енергії за рахунок повної абсорбації сонячного діапазону випромінювання є функціонування комбінованого теплофотоелектричного модуля. Відповідно така конструкція слугуватиме покращенню якості ФЕ за рахунок відведення температури з його площини, з подальшою трансформацією його в електричну енергію.

1.4 Сучасний стан технічної бази експериментів сонячних перетворювачів та можливості її автоматизації

Для виміру показників прямого сонячного випромінювання застосовують піргеліометр, площа датчика якого орієнтується перпендикулярно до потоку світла (рисунок 1.7). Пристрій складається з металевого циліндра, на дні якого

розміщено датчик, конструкції діафрагм для попадання на датчик лише прямої сонячної радіації. Зміни пристроїв передбачають використання термопар або термобатарей як датчиків.

В еталонних піргеліометрах застосовуються калориметри, але однією з найголовніших проблем розробки приладу є потреба точного вимірювання різниці температур.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд піргеліометра СН 1 для вимірювання прямого сонячного випромінювання

Для вимірювання показників сонячної радіації, яка попадає на горизонтальну площину з усієї півсфери в межах кута 2π sr, застосовують піранометр, який показаний на рисунку 1.8. Головною частиною датчика є комплекс термопар, сполучених у батарею Z- подібного типу [1]. Пристрої устатковано конструкцією температурної стабілізації, оптичної компенсації зміни показань при відхиленнях від вертикального положення, набором широкопалубових спектральних фільтрів.



Рисунок 1.8 – Зображення піранометра SM 11 для вимірювання сонячного випромінювання

Для визначення поверхневої густини потоку теплового випромінювання потрібно розміщувати піргеометр на поверхні апертури колектора та з одної із його сторін одного на висоті, яка прирівнюється половині висоти колектора. Протягом вимірювання навколо приміщення поверхневої густини потоку теплового випромінювання можна вимірювати піргеометром, який представлений на рисунку 1.9. Під час експлуатації СК потрібно зробити три вимірювання температури: температури речовини на вході колектора, температури речовини на виході та температури зовнішнього повітря.



Рисунок 1.9 – Зображення піргеометра CG 1 для вимірювання інфрачервоного сонячного випромінювання

Дослідження енергоефективності СК проводять шляхом розрахунку теплового коефіцієнта корисної дії (ККД). Для дослідження ККД колектора за сталого режиму імітатор потоку сонячної радіації повинен мати такі характеристики [22] :

- лампи мають бути здатними для створення середньої поверхневої густини потоку сонячної радіації на поверхні колектора;

- на протязі випробувального часу не має бути відхилень середньої поверхневої густини потоку випромінювання на поверхні колектора;

- поверхнева густина потоку сонячної радіації у всіх частинах поверхні колектора не має відрізнятися від середньої поверхневої густини потоку випромінювання;

- вимірювання спектральних значень імітаторів потоків сонячної радіації потрібно виконувати у межах колектора в діапазоні довжини хвиль 0,3-3 мкм;

- протягом дослідження треба перевіряти поверхневу густину потоку випромінювання.

Дотримання вище перерахованих положень, які стосуються встановленн сонячного колектора та умов до імітатора потоку сонячної радіації дасть змогу швидко та якісно робити оцінку його головних показників ефективності.

1.5 Висновки до розділу

Проаналізувавши весь матеріал з першого розділу встановлено, що:

- якісно та ефективно є застосування сонячних систем, дивлячись на високі можливості сонячної енергії в Україні та високі основні технічні характеристики сонячних перетворювачів;

- сучасний стан технічної бази експерментів сонячних перетворювачів та можливості її автоматизації для дослідження сонячних елементів;

- ринок геліотехнічного обладнання потребує паспортизації та сертифікації сонячних елементів, що потребує створення стендового обладнання для комплексних випробувань сонячних перетворювачів відповідно до міжнародних

та вітчизняних стандартів та апробацію різних методик випробувань, спрямованих на визначення їх теплотехнічної ефективності, надійності та контроль якості виготовлення;

– через високу вартість устаткування та складність процесу випробувальних приладів в нашій державі майже немає, тому значущим і актуальним питанням теперішніх випробувальних систем є створення приймачів сонячного випромінення, які з найкращою точністю і чутливістю вимірювали енергетичні показники сонячної радіації.

2 ГОЛОВНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНУ

2.1 Фотоелектричний перетворювач

Фотоелектричний перетворювач - напівпровідниковий прилад, дія якого базується на розділенні фотонів електричним полем та який перетворює сонячну енергію в електричну.

В основі трансформації енергії лежить фотоефект, що виникає під впливом фотонів на напівпровідник. Неоднорідний склад напівпровідника утворюється за допомогою легування домішками. Абсорбуючи енергію фотонів, електрони починають рух, і це викликає утворення струму. На пластинах знаходяться тонкі мідні смужки, які відводять струм до споживача. Зрозуміло, що чим більше сонячного випромінювання поглинається напівпровідником, тим більше електроенергії утворюється, але ефективність ФЕП залежить від багатьох чинників.

В основі явища фотоефекту лежить виникнення напруги при падінні сонячних променів на систему між двома електродами, які з'єднані з нею. В основі роботи всіх напівпровідникових ФЕП лежать два головних явища: генерування вільних носіїв в результаті абсорбації квантів електромагнітного випромінювання; застосовуючи внутрішні електричні поля ФЕП проводиться розподілення створених світлом носіїв та їх виведення через електроди у зовнішню ланку.

Розглянемо конструкцію сонячного на основі p-n переходу на рис. 2.1 та принцип його роботи. На малій глибині від поверхні кремнієвої пластини сформований p-n-перехід з тонким металевим контактом. На зовнішню частину пластини нанесено цільний металевий контакт. Коли сонячний елемент освітлюється, поглинуті фотони утворюють нерівноважні електронно-діркові пари. Електрони, які утворюються в p-шарі біля p-n-переходу, підходять до p-n-переходу та переходять у n-область.

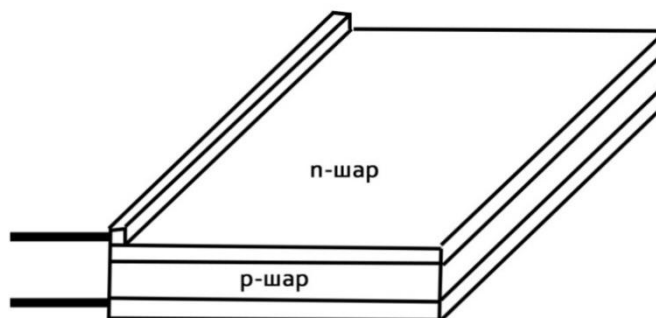


Рисунок 2.1 – Конструкція сонячного елемента

Відповідно і надлишкові дірки, сформовані в n-шарі, частково переміщуються в p-шар (рис. 2.2).

У висновку n-шар накопичує додатковий негативний заряд, а p-шар — позитивний.

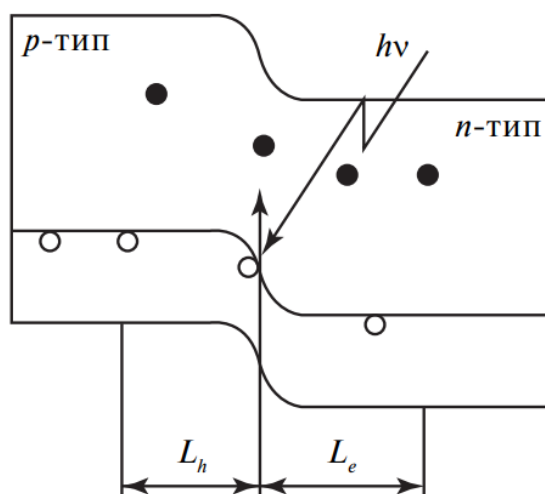


Рисунок 2.2 – Зонна модель розімкнутого р-п-переходу в початковий момент освітлення

Зменшується початкова контактна різниця потенціалів між р- та n-шарами напівпровідника, і в зовнішній ланці з'являється напруга (рис. 2.3).

У результаті n-шар набуває негативного заряду, а р-шар-позитивного

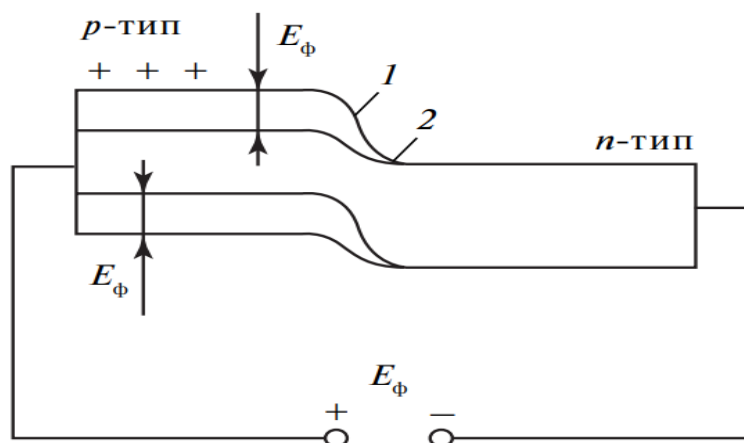


Рисунок 2.3 – Зонна модель розімкнутого p-n-переходу: зміна зонної моделі під дією постійного освітлення і виникнення фото-ЕРС

Для якісної роботи фотоелектричного перетворювача потрібно додержуватись таких умов [13]:

- оптичний коефіцієнт поглинання активного шару напівпровідникового елементу має бути досить високим, щоб забезпечити абсорбування більшої частини сонячного випромінювання у межах шару;
- фотоелемент повинен мати достатню висоту бар'єру в напівпровідниковому переході;
- повний опір, ввімкнений послідовно із СЕ має бути низьким для того, щоб знизити втрати потужності під час роботи;
- будова тонкої плівки має бути однорідною по всій активній області СЕ.

Оптичні втрати ФЕП є одним із недоліків. Відбиття частини сонячної енергії від площини СЕ та затемнення із контактною сіткою є головною причиною оптичних втрат [25]. Для того, щоб зменшити показник відбивання R необхідно нанести на площину ФЕП просвітлююче покриття у вигляді тонких плівок, яке забезпечить інтерференцію та взаємне гасіння світлових хвиль, які відбиваються від площини плівки та від границі плівки-напівпровідника. Інтегральний показник відбивання може зменшитись від $R \approx 35\%$ для непросвітленої поверхні до $R \approx 10\%$ при застосуванні одношарового

просвітлюючого покриття.

Другу складову оптичних втрат у ФЕП складають втрати на затемнення світлочутливої площини електричним контактом до освітлюваної області р-n-переходу. Для зменшення оптичних втрат контакт виготовляється у формі металевої сітки з відстанню від декількох міліметрів до 0.1-0.3 мм. Витрати на затемнення можуть складати від кількох процентів до 10-20% [19].

У конструкції сонячного елемента, який зображено на рис. 2.4, виконано із гофрованої фронтальної площини із глибиною рельєфу 5 мкм, для того, щоб знизити втрати на відбивання світла від контактів. Контактні смуги повинні мати таку ширину, щоб при розміщенні контактних смуг під кутом до напрямку гофрування забезпечувати попадання сонячного випромінювання у фотоактивну частину. Сонячні елементи даного зразка виготовляються на основі структури n+-p-p+-типу. Вихідним матеріалом є легований бором кремній із малим питомим опором (0.1-0.2 Ом·см) та довгим часом існування неосновних елементів струму.

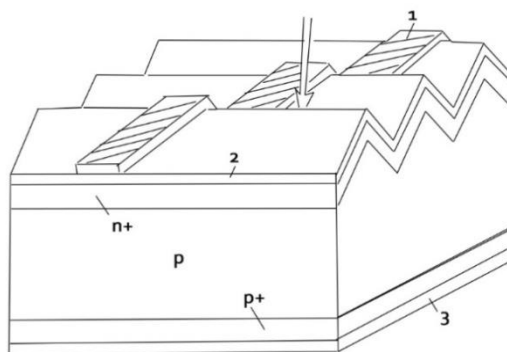


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення n+-p-p+-кремнієвого ФЕП із гофрованою фронтальною поверхнею: 1 - контактна смуга на рельєфній площині; 2 - «покриття, яке просвітлює»; 3 - тильний контакт

Для зменшення втрат описаного вище типу було створено спеціальні установки перетворювачів концентрованої сонячної енергії. У ФЕП, зображеному на рис. 2.5, контакти обох полярностей виведені на тильну площину.

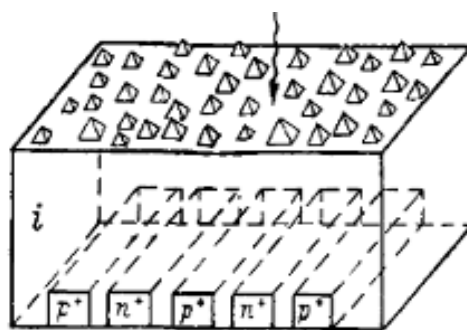


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення конструкції ФЕП

Для якісної роботи ФЕП температура складових повинна дорівнювати $+25^{\circ}\text{C}$, то для удосконалення якостей даного фотоелемента можна застосувати елемент Пельтьє.

Елемент Пельтьє — це термоелектричний перетворювач, в основі якого лежить ефект Пельтьє — виникнення різниці температур при протіканні електричного струму. Він буде підтримувати оптимальну температуру СЕ, яка буде сприяти удосконаленню якостей ФЕП.

2.2 Рівняння та графік перетворення ФЕП

Ефективність сонячного фотоелемента характеризується світловою вольт-амперною характеристикою (ВАХ), вигляд якої залежить від багатьох чинників: щільності струму насичення діода, діодного коефіцієнту, послідовного та паралельного опорів та інших чинників. Важливим є питання контролю та оптимізації даних чинників при конструюванні сонячних панелей. Належно даним стандартам ВАХ СЕ визначається при потужності сонячного випромінювання, яке складає 1000 Вт на один квадратний метр. Температура фотоелементів повинна бути $+25^{\circ}\text{C}$.

Світлова ВАХ ФЕП описує залежність вихідного струму, який утворюється при освітленні фотоелемента та проходить через підключене

навантаження, від спаду напруги на ньому. Рівняння, яке характеризує світлову ВАХ ФЕП представлено у такому вигляді:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{U + IR_S}{m} \right) - 1 \right) - \frac{U + IR_S}{R_p}, \quad (2.1)$$

де $m = AkT/e$, I — величина струму протікаючого через навантаження, U — падіння напруги на навантаженні, I_{ph} — величина утвореного фотоструму, I_0 — величина струму насичення діоду, A — діодний коефіцієнт, e — модуль заряду електрона, k — стала Больцмана, T — термодинамічна температура, R_p — паралельний (шунтуючий) опір, R_S — послідовний опір.

На рисунку 2.6 представлено ВАХ СЕ, є важливою ознакою фотоелемента, тому що описує ефективність трансформації сонячного випромінювання у електроенергію.

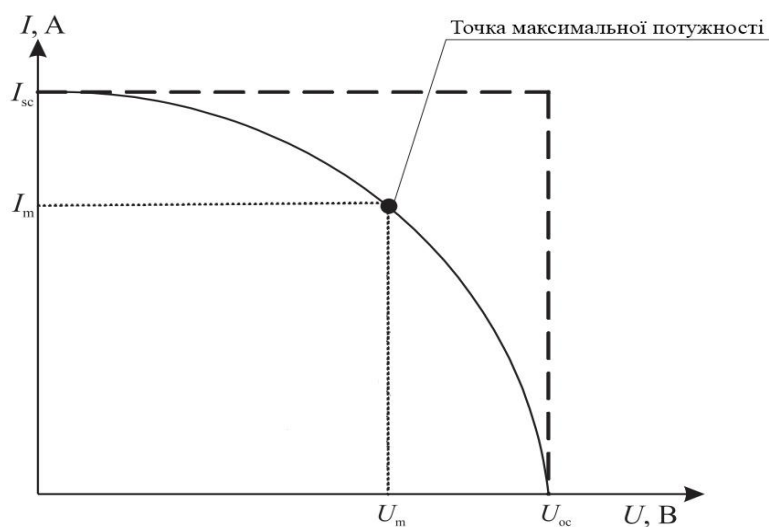


Рисунок 2.6 — ВАХ фотоелектричного перетворювача: I_{sc} — струм короткого замикання; U_{oc} — напруга холостого ходу

Головним математичною характеристикою ФЕП є ϵ ККД конкретного компоненту. Розрахуємо ККД за формулою 2.2:

$$\eta = \frac{P_m}{P} = \frac{ff * I_{sc} * U_{oc}}{P}, \quad (2.2)$$

де P — потужність падаючого випромінювання на ФЕП, P_m — максимальна вихідна потужність ФЕП, ff — фактор заповнення ВАХ, I_{sc} — струм короткого замикання, U_{oc} — напруга холостого ходу.

Коефіцієнт заповнення ВАХ обчислимо за формулою 2.3:

$$ff = \frac{I_m U_m}{I_{sc} U_{sc}}, \quad (2.3)$$

де I_m та U_m — відповідно струм та напруга, у точці максимальної потужності P_m (див. рис. 2.6).

Рівняння перетворення для ФЕП представлено формулою 2.4:

$$P_m = ff * I_{sc} * U_{oc} \quad (2.4)$$

Графік перетворення сонячного фотоелемента зображено на рисунку 2.7.

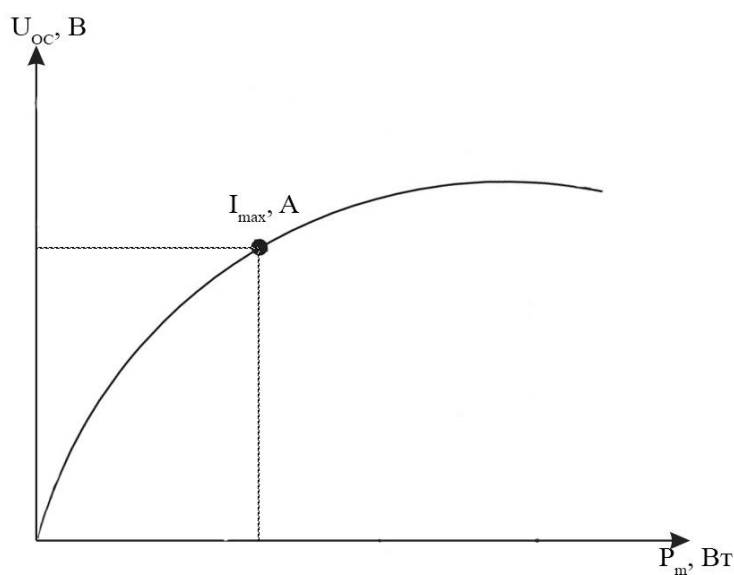


Рисунок 2.7 – Графік перетворення сонячного елемента

2.3 Висновки до розділу

У другому розділі було розглянуто поняття фотоелектричного перетворювача. Описано явище фотоефекту, що лежить в основі ФЕП. Також було розглянуто конструкцію сонячного на основі р-n переходу та принцип його роботи. Виявлено, коли сонячний елемент освітлюється, поглинуті фотоні утворюють нерівноважні електронно-діркові пари. У висновку n-шар набуває негативного заряду, а р-шар-позитивного.

Розглянуто один із головних недоліків сонячного перетворювача - оптичні втрати і їх вплив на роботу системи. Для зменшення оптичних втрат можна застосувати n⁺-р-р⁺-кремнієвий ФЕП із гофрованою фронтальною поверхнею, а також елемент Пельтьє.

Побудовано світлову ВАХ ФЕП, яка описує залежність вихідного струму, який утворюється при освітленні фотоелемента та проходить через підключене навантаження, від спаду напруги на ньому. Представлено рівня перетворення та побудовано графік перетворення СЕ.

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ЕЛЕКТРИЧНУ

3.1 Еквівалентна схема ФЕП

Еквівалентна схема фотоелектричного перетворювача являє собою паралельно з'єднані між собою генератор струму та ідеальний діод (рис. 3.1).

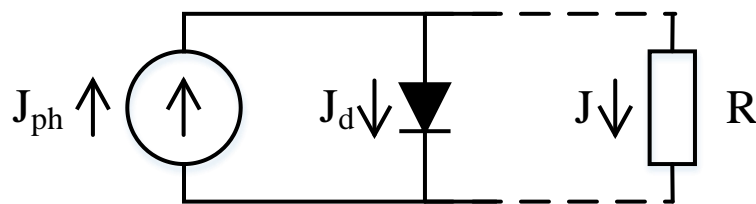


Рисунок 3.1 – Еквівалентна схема ідеального ФЕП

Оскільки сонячний елемент — прилад силовий, тобто передбачений для роботи з досить високими густинами струму, то як наслідок він має високі падіння різниці потенціалів навіть при малих опорах. Таким чином, необхідно враховувати паралельний опір СЕ R_p та послідовний опір R_s . R_p — це опір витоку; допускається, що в ідеальному СЕ він є нескінченно-великим.

Враховуючи усі зауваження побудуємо наступну еквівалентну схему реального ФЕП (рис. 3.2).

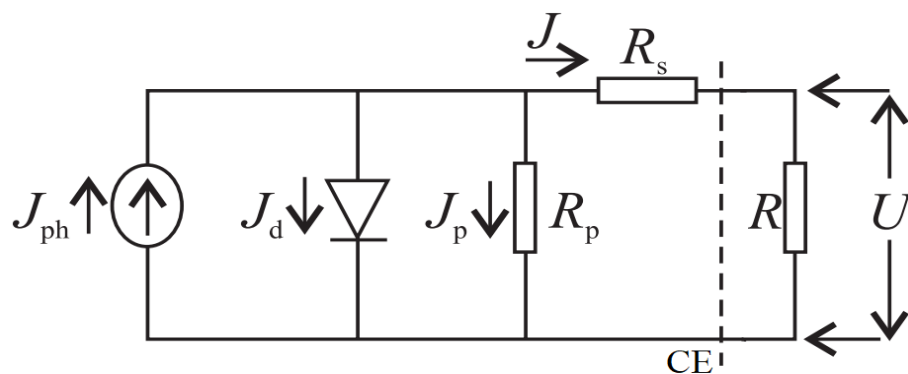


Рисунок 3.2 – Еквівалентна схема розробленого ФЕП

Генератор струму відтворює згенерований фотострум, а паралельний йому діод враховує інжекційний струм. Для реального ФЕП послідовний опір R_s складається із послідовно-ввімкнених опорів контактних шарів, опорів кожної із p -тап- частин елемента, а також перехідних опорів метал-напівпровідник. Паралельний опір R_p представляє можливі канали витоку струму, які є паралельними p - n - переходу [22].

Якщо з'єднати кілька фотоелементів між собою, то отримаємо сонячну панель. Сонячні панелі можливо з'єднувати між собою послідовно та паралельно. Схеми послідовного з'єднання сонячних панелей зображено на рисунку 3.4.

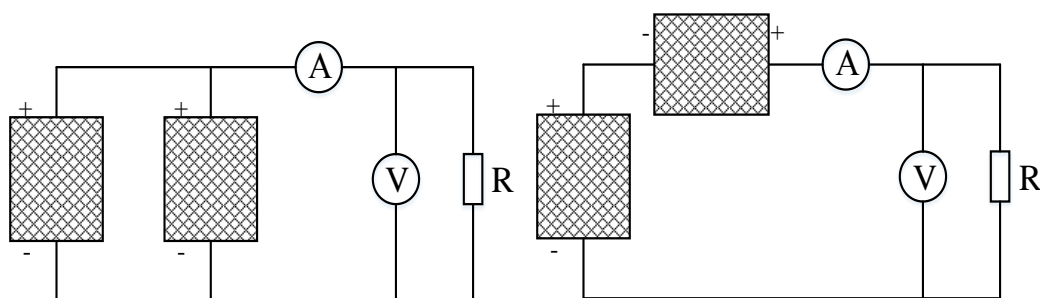


Рисунок 3.4 – Схеми включення сонячних панелей: послідовно (зправа), паралельно (зліва)

3.2 Функціональна схема ФЕП

Розглянемо функціональну схему підключення ФЕП(рисунок 3.5).

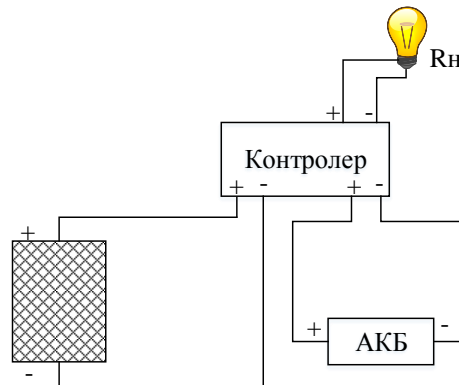


Рисунок 3.5 – Функціональна схема підключення ФЕП

Контролер є необхідним для трансформації змінного струму з сонячного фотоелемента у постійний струм для заряду акумулятора (АКБ). Якщо заряд АКБ є достатнім, то контролер функціонує як перетворювач постійного струму з АКБ у змінний струм для опору навантаження [2].

Контролери бувають двох видів:

- автономний — для функціонування в автономній системі;
- мережевий — для мережевого застосування.

Важливим є захист від:

- високої і низької напруги акумулятора короткого замикання по виходу;
- перегріву;
- перевантаження по виходу;
- високої і низької напруги акумулятора.

Можна застосувати стабілізатор напруги. Він являє собою трансформатор електроенергії, що на виході утворює напругу заданої області при великих коливаннях опору навантаження та вхідного опору.

3.3 Висновки до розділу

У третьому розділі було побудовано еквівалентну та функціональну схеми фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну. Враховуючи усі зауваження, розроблено еквівалентну схему розробленого ФЕП.

Розглянуто схеми послідовного та паралельного з'єднання сонячних панелей.

Також розроблено функціональну схему сонячного перетворювача із застосуванням контролера, що є необхідним для трансформації змінного струму з сонячного фотоелемента у постійний струм для заряду акумулятора (АКБ).

4 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

4.1 Теоретичний аналіз метрологічного забезпечення

Вимірювання є одним з найбільш стародавніх занять у пізнавальній діяльності людини. Його походження відноситься до початку матеріальної культури людства.

З давніх-давен люди неодноразово мали справу з різними вимірюваннями: при будівництві споруд, при визначенні напрямку дії по морю із застосуванням астрономії, у торгівлі, при визначенні співвідношень людського тіла. З тих мір бере початок наука – метрологія.

Метрологія – наука про вимірювання, методи і засоби їх єдності та способи досягнення необхідної точності. Вона є однією з головних частин інфраструктури суспільства, її головні завдання: створення еталонів мір, вимірювальних приладів та вимірювальних інформаційних систем, розробка методів вимірювальних перетворень, методів оцінювання точності результатів вимірювань.

Науково-технічний прогрес у науці і техніці значно посилив її роль. Без випереджального розвитку метрології є неможливим розвиток багатьох напрямків науки і техніки і насамперед створення нових сучасних засобів вимірювання і їх практичне застосування.

Важливою складовою даної науки є метрологічне забезпечення. Метрологічним забезпеченням (МЗ) - встановлення та застосування наукових і організаційних основ, технічних приладів, правил і норм, потрібних для досягнення єдності і необхідної точності вимірювань [31].

Головним напрямом у розвитку МЗ є перехід від діючої раніше порівняно обмеженого завдання забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань до принципово нової задачі забезпечення якості вимірювань. Якість вимірювань описує комплекс параметрів СІ, які забезпечують одержання у визначений час результатів вимірювань з необхідними точністю, достовірністю, правильністю, збіжністю і відтворюваністю.

Об'єктом МЗ є всі стадії життєвого періоду, продукції або послуги.

Наприклад, на етапі створення продукції для отримання високої якості продукту здійснюється вибір контрольованих розмірів, норм точності, допусків, засобів вимірювань, контролю та випробувань. Аналогічно проводиться метрологічне дослідження конструкторської та технологічної документації [31].

Кореляційні процеси, які забезпечують якість вимірювань, містять наступні:

- визначення доцільної структури вимірюваних параметрів і найкращої точності вимірювань під час перевірки якості продукції та регулюванні процесами;
- технічно-економічне підтвердження і вибір СІ, випробувань і контролю та встановлення їх раціональної номенклатури;
- діяльність по стандартизації, консолідації і укомплектування застосованої контрольовано-вимірювальної техніки;
- створення, впровадження та перевірка нинішніх методик виконання вимірювання (МВВ), випробувань і контролю;
- повірка, метрологічна атестація і сортування контрольовано-вимірювальної та випробувальної техніки (КВТ), яка використовується на виробництві;
- нагляд за виробництвом, станом, експлуатацією та ремонтом КВТ, і теж за додержанням метрологічних законів і норм на підприємстві;
- співпраця під час розробки і впровадження стандартів виробництва;
- уведення міжнародних, державних і галузевих стандартів, а також іншої нормативної документації;
- здійснення метрологічного дослідження розробок нормативної, конструкторської та технічної документації;
- здійснення експертизи стану вимірювань, створення на його базі та проведення дій щодо покращення МЗ;
- навчання робітників відповідних служб та підрозділів виробництва для реалізації контрольовано-вимірювальних процедур.

Метрологічне забезпечення складається із чотирьох частин: наукової, організаційної, нормативної і технічної.

Нормативну базу МЗ зформовує Державна система забезпечення єдності вимірювань.

Технічною основою МЗ є державна еталонна база України.

Створення і проведення заходів МЗ покладено на метрологічні служби (МС).

Метрологічна служба - організовують та виконують дії по забезпеченню єдності вимірювань та надають послуги із забезпечення єдності вимірювань.

МС формується належно до законодавства для здійснення дій із забезпечення єдності вимірювань та проведення метрологічного нагляду. Вона може проацювати на різних рівнях.

Організаційною частиною роботи щодо забезпечення єдності вимірювань є метрологічна служба України, яка проводить такі законодавчі, наукові та контрольні дії:

- встановлення допустимих до використання одиниць вимірювання фізичних величин;
- формування нових і покращених діючих державних еталонів, їх використання для збереження в державі єдності вимірювань і досягнення необхідної точності;
- нагляд за створенням і виробництвом еталонних і робочих вимірювальних приладів;
- метрологічний контроль за вимірювальними засобами, який проводиться за допомогою вдослі нових вимірів і періодичної перевірки їх в процесі використання;
- огляд якості метрологічних робіт та вимірювальної техніки на підприємства.

4.2 Основи вимоги нормативних документів до метрологічних характеристик під час дослідження фотоелектричного перетворювача.

В основі рішення про застосування сонячних перетворювачів енергії

лежать результати багаторічних досліджень за станом навколишнього середовища. При цьому дуже важливо, щоб отримана в процесі аналізування інформація містила всі показники, необхідні для розробки. Актуальною є проблема покращення метрологічного забезпечення сонячних панелей, тобто підвищення показників якостей сонячних установок.

Головними вимогами нормативної документації до метрологічних характеристик величин під час випробування ФЕП є:

1. Вимірювання сонячної радіації:

- спектр довжин хвиль 0,3 ... 3 мкм;
- відхилення від площі апертури $\leq \pm 10$.

Систематичність калібрування на сонячну чутливість протягом календарного року за ДСТУ ISO 9846 та ДСТУ ISO 9847 [25]. Зміни чутливості не повинні перевищувати $\pm 1\%$, в іншому випадку можуть бути частіші калібрування.

2. Вимірювання теплового випромінення:

- спектр довжин хвиль 1 ... 50 мкм;
- похибка вимірювань $\leq \pm 10$ Вт/м² .

3. Вимірювання температури:

а) Вимірювання вхідної температури рідинного теплоносія (t_{in}):

- діапазон вимірювань 0 ... + 100 °С;
- похибка вимірювань $\leq \pm 0,1$ °С;
- роздільна здатність $\geq \pm 0,02$ °С $\geq \pm 0,02$ °С.

б) Вимірювання різниці температур рідинного теплоносія (ΔT):

- діапазон вимірювань 0 ... + 100 °С;
- похибка вимірювань $\leq \pm 0,1$ °С.

в) Вимірювання температури навколишнього середовища (t_a):

- діапазон вимірювань 0 ... + 50 °С;
- похибка вимірювань $\leq \pm 0,5$ °С.

4. Вимірювання швидкості потоку рідини в колекторі:

- діапазон вимірювань - в залежності від типу ФЕП;
- похибка вимірювань $\leq \pm 0,1 \%$ від масової витрати носія.

5. Швидкість вітру:

- діапазон вимірювань 0 ... 20 м/с ;
- похибка вимірювань $\leq \pm 0,5$ м/с.

6. Вимірювання тиску:

- похибка вимірювань $\leq \pm 3,5$ кПа.

7. Вимірювання площі колектора:

- похибка вимірювань $\leq \pm 0,1 \%$.

8. Вміст рідини в колекторі:

- похибка вимірювань $\leq \pm 10 \%$.

Під час дослідження загальна поверхнева густина потоку сонячної радіації на поверхні апертури ФЕП має перевищувати 800 Вт/м² [22].

Кут падіння прямої сонячної радіації на апертуру сонячної панелі має бути в спектрі, за якого модифікатор кута падіння відрізняється не більше ніж на $\pm 2 \%$ від свого значення у випадку перпендикулярного падіння

Середнє значення швидкості зовнішнього вітру, дивлячись на просторові зміни навколо ФЕП і тимчасові зміни під час випробувального терміну, має бути в межах 2 м/с та 4 м/с.

Якщо інші параметри не рекомендовані, то швидкість потоку рідини повинна бути приблизно 0,02 кг/с на один квадратний метр загальної площини СЕ. Це значення потрібно підтримувати з допустимими відхиленнями $\pm 1 \%$ встановленого значення протягом кожного випробувального терміну [14].

Аналіз показує, що вимоги, які представлені в міжнародних стандартах до контрольновимірювальної техніки для вимірювання сонячного та теплового випромінення та температурних показників є достатньо високими та регулюють трудомісткий та довгий процес їх калібрування [22]. Для прикладу, зміна чутливості детекторів сонячної радіації в спектрі довжин хвиль (0,3 ... 3) мкм не

повинна бути більше $\pm 1\%$ протягом календарного року за стандартами ISO 9846 та ISO 9847.

За вимогами нормативної документації найменше значення різниці вимірюваних температур не має бути меншим $\Delta T_{xmin} \geq 1,5$ К, яке враховує абсолютну похибку вимірювання різниці температур $\Delta \Delta T_x \leq \pm 0,1$ К дає значення її відносної похибки $\delta_{\Delta T} \approx \pm 6,7\%$. Це значення похибки вимірювання різниці температур можливо забезпечити лише калібруванням стандартних температурних датчиків в термостаті.

Для зниження впливу розкиду пропонується застосовувати датчики у вигляді послідовно з'єднаних напівпровідникових температурних перетворювачів (НПТ), які підвищують їх чутливість. Для прикладу, у випадку застосування п'яти НПТ, чутливість вимірювання температури та різниці температур становитиме $\varepsilon_n = 10$ мВ/К, і при типовому значенні технологічних розкидів початкових напруг діодів $\pm(0,5 \dots 5)\%$ похибка вимірювання різниці температур не перевищуватиме $\Delta U_x \leq \pm(0,5 \dots 5)10^{-2} \cdot 5 \cdot 0,6 = \pm(0,015 \dots 0,15)$ В $\Delta \Delta T_x \leq \pm(1,5 \dots 15)$ °С. Таке значення розкиду потребує підлаштування функції перетворення усього термометра.

Отже, головною проблемою напівпровідникових температурних датчиків на сьогодні є забезпечення консолідації їх характеристик, що знизить їх вартість, а також покращить їх метрологічні характеристики.

4.3 Дослідження можливостей еталонування випромінювальної здатності випромінювача та датчика сонячної радіації

Аналіз показує, що для досягнення зазначених вимог у нормативній документації [22] правильним є еталонування випромінювальної здатності випромінювача або датчика сонячної радіації. При цьому з практичної точки зору для покращення процесу вимірювань енергопараметрів оптичного випромінювання легше застосовувати відкалібрований неселективний приймач,

що буде забезпечувати потрібну точність вимірювань в усьому спектрі випромінювання. Отже, пошук можливих шляхів подальшого розвитку методів та засобів вимірювання показників сонячного випромінювання є актуальною задачею.

Найкращою за спектральною характеристикою для імітації сонячної радіації є ксенонова лампа, яка являє собою газорозрядну колбу, яка наповнена сумішшю інертних газів, які вміщують ксенон (рисунок 2.1).



Рисунок. 4.1 – Зображення ксенонової лампи типової конструкції

Ксенонові лампи випромінюють у два рази більше світла, ніж галогенові лампи і в той же час споживають менше енергії, що знижує навантаження на генератор.

Створення штучних джерел світла – імітаторів Сонця, які за густиною потоку, спектральним та кутовим розподілом енергії, однорідністю та стабільністю потоку були б найбільш близькими до сонячного випромінювання, є досить важкою задачею.

Імітація наземного (AM 1,5) Сонця є ще більш важким завданням. Складність полягає в тому, що інтенсивність та діапазон сонячної радіації на поверхні Землі має важкий характер, який залежить від багатьох чинників: висоти Сонця над горизонтом, висоти місцевості над рівнем моря, а також стану атмосфери.

Крім того застосування еталонних імітаторів сонячного випромінювання за останній час намічається тенденція розробки еталонів на базі приймачів, що значно спростовує передачу та покращує точність відтворення одиниць фотометричних величин. Як наслідок, однією з найбільш важливих та актуальних проблем сучасної метрології є створення приймачів оптичного випромінювання, які здатні вимірювати фотометричні величини в абсолютних одиницях з високою точністю, що дає змогу вирішувати складні метрологічні завдання в науці та промисловості.

Одним з найважчих завдань при проведенні світлових і спектрорадіометричних вимірювань є невеликі рівні потоків соняної радіації. Зважаючи на це, приймачі, які створюються, повинні мати, крім високої точності, ще й високу чутливість. Одержати приймачі з такими характеристиками можливо завдяки розвитку криогенної радіометрії. Приймачі, що охолоджуються до температури рідкого гелію можуть вимірювати потоки випромінювання з похибкою близько 0,01%. Але для цього при розробці потрібно виконувати такі завдання, як оптимізація будови приймача, створення методу подавлення фонового випромінювання, проведення експериментальних та теоретичних випробовувань метрологічних характеристик [26].

З огляду на те, що криогенний приймач має високу вартість та потребує витрат дорогого рідкого гелію, його широке застосування є неможливим. Отже, одним з найбільш актуальних питань є створення приймачів випромінювання, які могли б бути відкалібровані за криогенним радіометром, і далі б застосовувались замість нього довгий час. Такі приймачі можуть виготовлятися на основі тонкоплівкової технології, вони працюють при кімнатній температурі, мають високу чутливість, неселективні та можуть вимірювати потоки на рівні 10^{-5} – 10^{-6} Вт .

Отже, для того щоб не застосовувати часто криогенний радіометр з'явилася потреба розробки неселективного вакуумного плівкового радіометра, який був би здатний для спектрорадіометричних вимірювань за схемою лампа-монохроматор-

приймач, і який би міг забезпечити вимірювання радіаційного потоку на рівні $5 \cdot 10^{-6}$ Вт.

Тому в сучасному світі переважає тенденція розробки еталонів на основі абсолютних приймачів, що значно спростовують і підвищують точність відтворення та передачі одиниць фотометричних величин. За допомогою теплових приймачів з електричним заміщенням можна вимірювати потік випромінювання в абсолютних одиницях.

4.4 Висновки до розділу

У розділі 4 розглядалися основні терміни метрологічного забезпечення, вимоги нормативної документації до вимірювання різних показників сонячних панеле. Аналіз показує, що вимоги поставлені в міжнародних стандартах до вимірювання сонячного випромінювання і температури є достатньо високими і регламентують трудомістку та довгу процедуру їх калібрування. Також було проаналізовано те, що для досягнення зазначених у нормативній документації вимог доцільним є еталонування випромінювальної здатності випромінювача або датчика сонячної радіації.

5 ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛІВ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ФЕП

5.1. Функція перетворення каналів вимірювання температури для випробувань сонячних перетворювачів

Під час використання цифрового термометра у сонячних панелях, на його функцію перетворення мають великий вплив показники неідеальності використаної елементної бази. Напряга на неінвертувальному вході U_{BX}^+ аналогового-цифрового перетворювача (АЦП) дорівнюватиме (5.1) [27]:

$$U_{BX}^+ = U_X + mE_N + e_1 + e_4 + I_{XI1}R_X + I_{BX1}R_{X1} + e_{B1} + \varphi_T \frac{I_{XI1}}{I_{S0}}, \quad (5.1)$$

де U_X – спад напруги на діодному сенсорі;

m – коефіцієнт поділу подільника напруги;

N – коефіцієнт поділу подільника напруг під час формування опорної для АЦП напруги; e_1, e_4 – напруги заміщення операційного підсилювача (ОП);

I_{XI1} – вимірювальний струм, що протікає через сенсор;

I_{BX1} – вхідний струм ОП; R_X, R_{X1} – значення статичного опору сенсора;

e_{B1} – напруга зміщення інвертувального та неінвертувального входів АЦП;

φ_T – температурний потенціал, I_{S0} – зворотний струм НПТ за температури T_0 .

Напряга на інвертувальному вході U_{BX}^- АЦП дорівнюватиме (5.2):

$$U_{BX}^- = E_N \left(1 + \frac{R_{N1}}{R_{N2}} \right) + e_3 \frac{R_{N1}}{R_{N2}} + e_2 + I_{BX2}R_{N12} + e_{B2}, \quad (5.2)$$

Код результату перетворення АЦП дорівнює:

$$\begin{aligned}
N_X &= k_{AD}(U_{BX}^+ - U_{BX}^-) = \\
&= k_{AD} \left\{ \begin{aligned} &-\alpha\theta_X + \varphi_T \ln \frac{I_{XI1}}{I_{S0}} + \left[U_{X0} - E_N \left(1 + \frac{R_{N2}}{R_{N1}} - m \right) \right] \\ &+ \left(e_1 + e_3 \frac{R_{N2}}{R_{N1}} + e_2 + e_4 + e_{B1} + e_{B2} + I_{XI1} R_X + I_{BX2} R_{N12} \right) \end{aligned} \right\} = \quad (5.3) \\
k_{AD} &= \left\{ -\alpha\theta_X + \varphi_T \ln \frac{I_{XI1}}{I_{S0}} + \Delta U_{X0} + e_{\text{екв}} + I_{XI1} R_X \right\},
\end{aligned}$$

де $\Delta U_{X0} = U_{X0} - E_N \left(1 + \frac{R_{N2}}{R_{N1}} - m \right)$; $e_{\text{екв}} = e_1 + e_3 \frac{R_{N2}}{R_{N1}} + e_2 + e_4 + e_{B1} + e_{B2} + I_{XI1} R_X + I_{BX2} R_{N12}$.

Якщо дискретність показників цифрового термометра буде становити $0,001 \text{ }^\circ\text{C}$, то слід передбачити багаторозрядне встановлення «нуля» ЦТ.

Оцінка максимального значення мультиплікативної складової похибки (МСП): якщо $\delta_{kAD} \approx \delta_\alpha \leq \pm 0,1 \%$, то мультиплікативне підлаштування $\delta_{\text{МСП}} \approx \delta_{kAD} + \delta_\alpha \leq \pm 0,2 \%$ необхідно буде також використовувати в діапазоні останніх трьох декад показу. Тоді код результату вимірювання температури обчислюватиметься співвідношенням (5.4):

$$N_X = \left[k_{AD} \left(-\alpha\theta_X + \varphi_T \ln \frac{I_{XI1}}{I_{S0}} + U_{X0} + e_{\text{екв}} + I_{XI1} R_X \right) \mp \Delta N_X \right] \cdot (\mp \delta_{\text{МСП}}), \quad (5.4)$$

5.2 Функція перетворення вдосконалених цифрових перетворювачів різниці температур для досліджень фотоелектричних перетворювачів

Реальна функція перетворення цифрових вимірювальних при різниці температур (ЦВРТ) для досліджень фотоелектричних перетворювачів також істотно залежатиме від характеристик не ідеальності застосованої елементної бази. Напряга на неінвертувальному вході U_{BX}^+ АЦП дорівнюватиме (5.5):

$$U_{BX}^+ = U_{X2} + m_2 E_N + e_2 + e_{B2}, \quad (5.5)$$

напряга на інвертувальному вході U_{BX}^- АЦП дорівнюватиме (5.6):

$$U_{BX}^- = U_{X1} + m_1 E_N + e_1 + e_{B1}, \quad (5.6)$$

де U_{X1}, U_{X2} – спади напруг на діодних датчиках VD1 та VD2 відповідно;

m_1, m_2 – коефіцієнти поділу подільника напруг (ПДН);

N – коефіцієнт поділу ПДН під час формування опорної для АЦП напруги;

e_1, e_4 – напруги заміщення ОП.

Код результату перетворення АЦП дорівнюватиме (5.7):

$$N_X = k_{AD}(U_{BX}^+ - U_{BX}^-) = k_{AD}[(\alpha_2 \theta_{X2} - \alpha_1 \theta_{X1}) + \Delta a_e], \quad (5.7)$$

де Δa_e – еквівалентна адитивна складова похибки (АСП) ЦВРТ;

θ_{X1}, θ_{X2} – значення температури в термостаті.

Як показав проведений аналіз, в процесі використання цифрових вимірювальних приладів різниці температур головними факторами їх похибки є відмінність між функціями перетворення температурних датчиків, АСП і МСП застосування елементної бази. Під час розробки варто слід коригувати значення як адитивної, так і мультиплікативної складових похибки при двох показниках температури [26]. Коригування адитивної складової похибки можна виконувати при будь-якому значенні температури, для наприкладу, рівному температурі навколишнього середовища, а для зміни мультиплікативної складової похибки можна застосувати еталонний вимірювач, міняючи відповідно коефіцієнт перетворення будь-якого з масштабувальних частин каналу перетворення, або введення поправкового множника.

5.3 Коригування похибок термометра із змінюванням двох значень вимірювальних струмі

Як показав аналіз похибок, код результату перетворення N_{X1} із значенням вимірювального струму буде розраховуватися за формулою (4.8) та суттєво залежить від АСП каналу перетворення:

$$\begin{aligned} N_{X1} &= k_{AD}(U_{BX1}^+ - U_{BX}^-) \\ &= \left[k_{AD} \left(-\alpha\theta_X + \varphi_T \ln \frac{I_{XI1}}{I_{S0}} + \Delta U_{X0} + e_{\text{екв}} + I_{XI1} R_X \right) \right], \end{aligned} \quad (5.8)$$

З ціллю полегшення та автоматизації процесу калібрування одним із основних є метод змінювання вимірювальних струмів, практичне застосування якого зображене на рисунку 5.1. При цьому для випадку різночасового відокремлення вимірювального та коригувального каналів через датчик пропускають вимірювальні струми різних значень I_{XI1} та I_{XI2} , для яких розраховують різні значення кодів (4.9) [1]:

$$\begin{aligned} N_{X2} &= k_{AD}(U_{BX2}^+ - U_{BX}^-) = \\ &= \left[k_{AD} \left(-\alpha\theta_X + \varphi_T \ln \frac{I_{XI2}}{I_{S0}} + \Delta U_{X0} + e_{\text{екв}} + I_{XI2} R_X \right) \right], \end{aligned} \quad (5.9)$$

різниця яких дасть код результату вимірювання N_X (5.10):

$$N_X = N_{X1} - N_{X2} = k_{AD} \left[\frac{kT}{q} \ln \frac{I_{XI1}}{I_{XI2}} + (I_{XI1} - I_{XI2}) R_X \right], \quad (5.10)$$

Як показує рисунок 5.1 перемикання значень струмів відбуватиметься шляхом програмного перемикання резисторів R_{XI1} та R_{XI2} . Це застосовується шляхом активізації певних виводів програмованої мікросхеми PSoC шляхом

замикання виводів операційного підсилювача DA 5.1 та DA 5.2 відповідно. Аналіз співвідношення (5.10) показує, що АСП каналу перетворення цифрового вимірювача температури (ЦВТ) коригується.

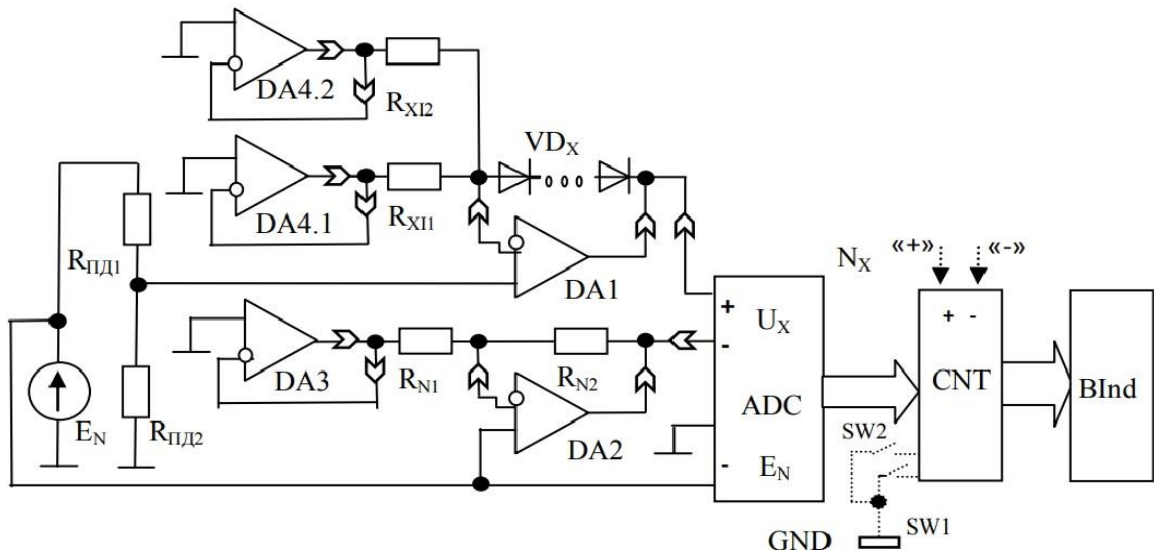


Рисунок 5.1 – Структурна схема цифрового вимірювача температури із змінюванням двох значень струмів

Але важливим недоліком такого застосування ЦВТ є велике зменшення вхідного вимірювального сигналу на кінцях вимірювального спектру. Під час зміни значень вимірювальних струмів на порядок еквівалентне значення вхідної напруги буде зменшуватися приблизно на порядок. Це призводить до необхідності реалізації багаторозрядних АЦП та підвищення впливу випадкової складової похибки ЦВТ, спричиненою внутрішніми та зовнішніми шумами. Крім цього, аналіз співвідношення (5.11) показує, що У ЦВТ навіть із зміною значень вимірювальних струмів на порядок не забезпечується інваріантність до впливу опорів детектора та ліній зв'язку.

5.4 Шляхи забезпечення в цифрових термометрах ФЕП інваріантності до значень опорів ліній зв'язку

Аналіз виразу (5.10) показує, що в запропонованій схемі ЦВТ АСП коригуватиметься, але не забезпечується інваріантність до значень опорів ліній зв'язку. З цією метою варто використовувати змінювання трьох значень струму (рисунок 5.2) [26].

Два перші значення кодів отримуватимуться так, як показано вище. Третє значення коду отримуватиметься шляхом під'єднання третього резистора R_{X13} (рисунок 5.2) та за формулою (5.11):

$$N_{X3} = k_{AD}(U_{BX3}^+ - U_{BX}^-) = \left[k_{AD} \left(-\alpha\theta_X + \varphi_T \ln \frac{I_{X13}}{I_{S0}} + \Delta U_{X0} + e_{екв} + I_{X13} R_X \right) \right], \quad (5.11)$$

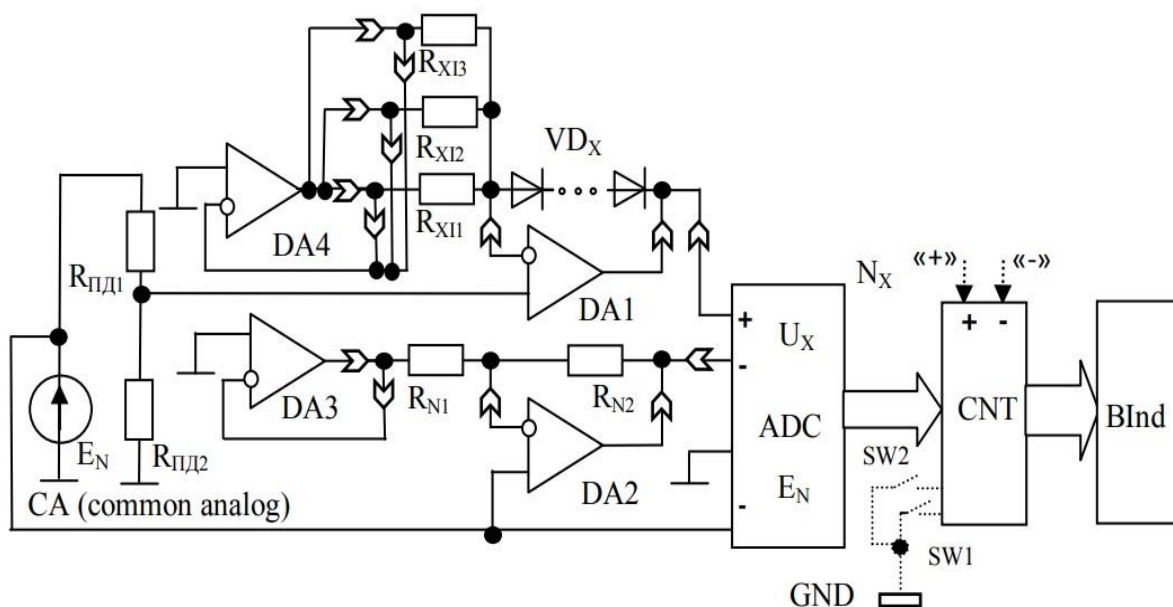


Рисунок 5.2 – Структурна схема цифрового вимірювача температури із забезпеченням інваріантності до параметрів ліній зв'язку

Для обробки результатів перетворень варто використати такий алгоритм (5.12):

$$N_X = 2N_{X1} - N_{X2} - N_{X3} =$$

$$= k_{AD} \left[\frac{kT}{q} \ln \frac{I_{XI1}}{I_{XI2} I_{XI3}} + (2I_{XII} - I_{XI2} - I_{XI3}) R_X \right], \quad (5.12)$$

Якщо вибирати значення вимірювальних струмів за співвідношенням $2I_{XII} - I_{XI2} - I_{XI3} = 0$, то результат вимірювання буде незалежним від опорів ліній зв'язку. Для забезпечення цього варто виконувати вказану умову для деякого значення опорів ліній зв'язку R_X .

Під час регулювання вимірювальних струмів рівнозначно зменшуються спади напруг на детекторах під час обробки сигналів. При цьому сильно впливатимуть випадкові складові похибок, що й було досліджено експериментально. Тому від цього методу уніфікації функцій вимірювальних каналів майже відмовились.

5.5 Висновки до розділу

Оскільки майже усі показники напівпровідникових переходів залежать від температури, то одразу після розробки електропристроїв, крім методів коригування, розвивалися й методи їх використання як термометрів. Але, через сильні обмеження вони реалізовувалась досить повільно. Завдяки прогресивному розвитку напівпровідникової техніки з'явилися реальні мікроелектронні елементи для розробки високоточних цифрових термометрів [27].

До певного часу параметри сучасних НПТ можна коригувати конструктивно-технологічними методами протягом їх розробки, а також структурно-алгоритмічними способами корегування похибок, які застосовуються переважно у вторинному пристрої. Головна ідея при цьому полягає в статистичному усередненні передавальних параметрів напівпровідникового

температурного перетворювача в конструкціях вимірювачів та різниці температур. Тому подальші дослідження спрямовані на встановлення граничних можливостей реалізації НПТ під час випробувань ФЕП.

Результати аналізу показали, що метрологічні характеристики цифрових термометрів з калібруванням можуть бути кращими ніж в термометрах з використанням модуляції вимірювальних струмів. Крім того, було розглянуто методику випробувань фотоелектричних перетворювачів стосовно визначення теплових характеристик у закритих приміщеннях із використанням симуляторів потоку сонячної радіації, та вимірювачів температури та різниці температур.

У четвертому розділі проаналізовано методи покращення метрологічних характеристик. Запропоновано застосовувати метод уніфікації функцій перетворення цифрових напівпровідникових термометрів, що базується на знаходженні коду результату вимірювання як різниці кодами при поточному вимірюваному значенні температури та зразковій температурі.

Розглянуто процедуру коригування нелінійної складової похибки цифрових вимірювачів температури, яка полягає у застосуванні поправки до поточних вимірюваних значень температури, значення показників якої розраховується за логарифмічною функцією та з використанням третього зразкового значення температури. Також проаналізовано методи досліджень фото електричних перетворювачів стосовно визначення теплових характеристик у закритих приміщеннях із застосуванням симуляторів потоку сонячної радіації

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення комерційного та технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну.

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри метрології та промислової автоматики: д.т.н., проф. Кучерук В. Ю., д.т.н., проф. Кулаков П. І., к.т.н., доц. Маньковська В. С. Для проведення технологічного аудиту було використано таблицю 6.1 [7] в якій за п'ятибальною шкалою використовуючи 12 критеріїв здійснено оцінку комерційного потенціалу.

Таблиця 6.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження табл. 6.1

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 6.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 6.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 6.3 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Кучерук В. Ю.	Маньковська В. С.	Кулаков П. І.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	3
2	3	3	2
3	4	4	3
4	2	2	3
5	2	2	2
6	3	4	3
7	2	3	2
8	3	3	3
9	3	3	4
10	2	3	3
11	3	2	3
12	2	3	3
Сума балів	СБ ₁ =31	СБ ₂ =34	СБ ₃ =34
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{31+34+34}{3} = 33$		

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів склала 33 бали, що згідно таблиці 6.2 вважається, що рівень комерційного потенціалу проведених досліджень є вище середнього.

Фотоелектричний перетворювач буде використовуватися в сонячних системах.

Проведемо порівняння нової розробки з аналогом, який існує на ринку. В якості аналога для розробки було обрано фотопанель фірми Altek модель ALM-260P.

Основними недоліками аналога є невисока чутливість пристрою, висока похибка, високий вплив розкиду. Також до недоліків можна віднести те, що енергія виробляється лише протягом світлового дня, тому для ефективного використання сонячних батарей необхідно подбати про засоби перетворення та накопичення струму.

У розробці дана проблема застосовуванням датчики у вигляді послідовно з'єднаних напівпровідникових температурних перетворювачів (НТП), які підвищують їх чутливість та еталонуванням випромінювальної здатності датчика сонячної радіації. Також система випереджає аналог за такими параметрами як надійність та довговічність, час роботи на відмову.

Проведемо оцінку якості і конкурентоспроможності нової розробки порівняно з аналогом. В таблиці 6.4 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Таблиця 6.4 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Температурний діапазон роботи, °С	-40 + 80	-40 + 100	1,25	15%
Вольтаж на виході, В	12	20	1,7	10%
ККД, %	16	25	1,6	15%
Чутливість, мВ/К	8	10	1,25	35%
Потужність, В	260	320	1,23	25%

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (6.1) та (6.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 6.5.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}} \quad (6.1)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}} \quad (6.2)$$

де P_{Hi} , P_{Bi} – числові значення i -го параметру відповідно нового і базового виробів.

$$q_1 = \frac{100}{80} = 1,25;$$

$$q_2 = \frac{20}{12} = 1,7;$$

$$q_3 = \frac{25}{16} = 1,6;$$

$$q_4 = \frac{10}{8} = 1,25;$$

$$q_5 = \frac{320}{260} = 1,23.$$

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (6.3)$$

$$K_{\text{я.в.}} = 1,25 \cdot 0,15 + 1,7 \cdot 0,1 + 1,6 \cdot 0,15 + 1,25 \cdot 0,35 + 1,23 \cdot 0,25 = 1,34$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

В табл. 6.5 наведено технічні та економічні показники для розрахунку конкурентоспроможності нової розробки відносно товару-аналога, технічні дані взяті з попередніх розрахунків.

Таблиця 6.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри нової розробки і товару-виробника

Показники	Варіанти	
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
1. Нормативно-технічні показники		
Температуратурний діапазон роботи, °С	-40 + 80	-40 + 100
Вольтаж на виході, В	12	20
ККД, %	16	25
Чутливість, мВ/К	8	10
Потужність, В	260	320
2. Економічні показники		
Ціна придбання, грн.	4000	3500

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (K) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \quad (6.4)$$

де $I_{т.п.}$ – індекс технічних параметрів; $I_{е.п.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (6.5)

$$I_{е.п.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (6.5)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$I_{е.п.} = \frac{3500}{4500} = 0,78;$$

$$K = \frac{1,34}{0,78} = 1,7.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

6.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи групуються за такими статтями: витрати на оплату праці, витрати на соціальні заходи, матеріали, паливо та енергія для науково-виробничих цілей, витрати на службові відрядження, програмне забезпечення для наукових робіт, інші витрати, накладні витрати.

1. Основна заробітна плата кожного із дослідників Z_o , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} * t \text{ (грн)} \quad (6.6)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p \approx 21...23$ дні;

t – число робочих днів роботи дослідника.

Для розробки фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну необхідно залучити інженера з посадовим окладом 6500 грн. Кількість робочих днів у місяці складає 22, а кількість робочих днів інженера складає 43. Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 6.6.

Таблиця 6.6 – Заробітна плата дослідника в науковій установі бюджетної сфери

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату грн.
Керівник	12000	545,5	5	2727
Інженер	6500	295,5	43	12705
Всього				15432

2. Основна заробітна плата робітників Z_p розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (6.7)$$

де n – число робіт по видах та розрядах;

t_i – норма часу на виконання конкретної операції, годин;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує певну роботу, грн./год.:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (6.8)$$

де M_m – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, грн.;

K_i – тарифний коефіцієнт робітника даного розряду;

T_p – число робочих днів в місяці ($T_p = 21 \dots 23$ дні);

T_{zm} – тривалість зміни, годин ($T_{zm} = 8$ годин).

Прожитковий мінімум працездатної особи на 01.12.2021 року складає 2481 грн.

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду. Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 6.7:

Таблиця 6.7 – Тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду

Розряд	K_i
1	1,00
2	1,1
3	1,35
4	1,5
5	1,7
6	2,0
7	2,2
8	2,4

Інформацію про основну заробітну плату заносимо до таблиці 6.8

Таблиця 6.8 – Основна заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1	2	3	4	5
1.Підготовчі	2	1	14,1	28,2
2.Монтажні	3	3	19,0	57,1
3.Складальні	2	4	21,1	42,3
4.Налагоджувальні	3	4	21,1	63,4
5.Випробувальні	4	2	15,5	62,0
Всього				253,0

3. Розрахунок додаткової заробітної плати робітників

Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 10 - 12 % від основної заробітної плати робітників.

На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 10% від основної заробітної плати.

$$Z_d = (Z_o + Z_p) * \frac{N_{\text{дод}}}{100\%} \quad (6.9)$$

$$Z_d = 0,11 * (15432 + 253) = 1725,33 \text{ (грн)}$$

4. Нарахування на заробітну плату $N_{3П}$ дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (6.10):

$$N_{3П} = (Z_o + Z_p + Z_d) * \frac{\beta}{100} \text{ (грн)} \quad (6.10)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % .

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$H_{зп} = (15432 + 253 + 1725,33) * \frac{22}{100} = 3830,24 \text{ (грн)}$$

5. Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot C_v \text{ грн.}, \quad (6.11)$$

- де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;
 C_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;
 K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$;
 V_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг;
 C_v – ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн/кг;
 n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 6.9 – Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Флюс ФКНС	6	0,05	0,3
Каніфоль	14	0,3	4,2
Припій ПОС-61	600	0,1	60
Всього			64,5
З врахуванням коефіцієнта транспортування			70,95

6. Витрати на комплектуючі вироби, які використовують при виготовленні одиниці продукції, розраховуються, згідно їх номенклатури, за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (6.12)$$

де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – покупна ціна комплектуючих i -го найменування, грн.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат (1,1...1,15).

Таблиця 6.10 – Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн	Сума, Грн.
Датчик вологості	1	500	500
Корпус	1	260	260
Фотодіод	3	36	108
Діоди стану	2	4	8
Тумблер	2	20	40
Панель оператора	1	2500	2500
Операційний підсилювач	1	4	4
Інтерфейси	2	95	190
Всього (з врахуванням транспортних витрат)			3971

7. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час виконання даного етапу роботи

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

$$A = \frac{C \cdot T}{T_{кор} \cdot 12} \quad [грн], \quad (6.13)$$

де C – балансова вартість даного виду обладнання (приміщень), грн.;

$T_{кор}$ – час користування;

T – термін використання обладнання (приміщень), цілі місяці.

Згідно пункта 137.3.3 Податкового кодекса амортизація нараховується на основні засоби вартістю понад 2500 грн. В нашому випадку для написання магістерської роботи використовувався персональний комп'ютер вартістю 12000 грн.

$$A = \frac{15000 \cdot 2}{2 \cdot 12} = 1250$$

8. До статті «Паливо та енергія для науково-виробничих цілей» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються з технологічною метою на проведення досліджень.

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yt} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{впi}}{\eta_i} \quad (6.14)$$

де W_{yt} – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{впi}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впi} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = \frac{0,3 \cdot 185 \cdot 4,1 \cdot 0,5}{0,8} = 142,22$$

9. Витрати на службові відрядження, витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи, організації та інші витрати. Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$V_{CB} = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{CB}}{100\%}, \quad (6.15)$$

де H_{CB} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження».

$$V_{CB} = 0,2 * (15432 + 253) = 3136,97 \text{ (грн)}$$

10. Накладні (загальновиробничі) витрати V_{H3B} охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо. Накладні (загальновиробничі) витрати V_{H3B} можна прийняти як (100...150)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$V_{H3B} = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{H3B}}{100\%}, \quad (6.16)$$

де H_{H3B} – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$V_{H3B} = (15432 + 253) * \frac{100}{100\%} = 15684,85 \text{ грн}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$V = 15432 + 253 + 1725,33 + 3830,24 + 70,95 + 3971 + 1250 + 142,22 + 3136,97 + \\ + 15684,85 = 45496,4$$

Прогнозування загальних витрат ZB на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{В}{\eta}, \quad (6.17)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії науково-дослідних робіт, то коефіцієнт $\beta = 0,5$.

Звідси:

$$ЗВ = \frac{45496,4}{0,5} = 90992,84 \text{ грн.}$$

6.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (6.18)$$

де $\Delta\Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

Π_o – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

l – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $l = 0,8333$.

p – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. $p = 0,25$;

x – ставка податку на прибуток. У 2021 році – 18%.

Припустимо, що при впровадженні результатів наукової розробки покращується якість фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну. Припустимо, що ціна зростає на 500 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 180 шт., протягом другого року – на 150 шт., протягом третього року на 120 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 1 шт., а її ціна до складає 3500 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\Delta\Pi_1 = [500 \cdot 1 + (3500 + 500) \cdot 180] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 123080,49 \text{ грн.}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= [500 \cdot 1 + (3500 + 500) \cdot (180 + 150)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 225990,98 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= [500 \cdot 1 + (3500 + 500) \cdot (180 + 150 + 120)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 307987,7 \text{ грн.} \end{aligned}$$

6.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахуємо величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки.

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot 3B, \quad (6.19)$$

$k_{\text{інв}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо ($k_{\text{інв}} = 2 \dots 5$).

$$PV = 2 \cdot 90992,84 = 181985,67$$

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ згідно наступної формули:

$$E_{\text{абс}} = (ПП - PV) \quad (6.20)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (6.21)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн.;

T – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДЦКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

t – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{123080,49}{(1 + 0,2)^1} + \frac{225990,98}{(1 + 0,2)^2} + \frac{307987,7}{(1 + 0,2)^3} = 438567,87 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{абс}} = (438567,87 - 181985,67) = 256582,2 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_e . Для цього користуються формулою:

$$E_e = \sqrt[T_{ж}]{\left(1 + \frac{E_{abc}}{PV}\right)} - 1, \quad (6.22)$$

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[3]{1 + \frac{256582,2}{181985,67}} - 1 = 0,56 = 56\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (6.23)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$.

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23$$

Так як $E_e > \tau_{\min}$ то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_6} \quad (6.24)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{0,56} = 1,8 \text{ роки}$$

Так як $T_{ок} \leq 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

6.4 Висновки до економічного розділу

Було проведено оцінку комерційного потенціалу фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну, який є на вище середньому рівні. При порівнянні нової розробки з аналогом виявлено, що вона є якіснішою і конкурентоспроможнішою відносно аналога, а також краще по технічним і економічним показникам.

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи по кожній з статей витрат складе 45496,4 грн. Загальна ж величина витрат на виконання та впровадження результатів даної НДР буде складати 90992,84 грн.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 1,8 роки, приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки склала 438567,87 грн.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних у цій роботі досліджень, спрямованих на розв'язання актуального науково-практичного завдання покращення нормативно-технічної бази випробувань фото електричних перетворювачів.

В роботі одержані наступні наукові та практичні результати:

1. Розглянуто доцільність та ефективність застосування сонячних систем, зважаючи на високий потенціал сонячної енергії в Україні. Досліджено, що використання енергії сонячного випромінювання в паливно-енергетичному балансі України є головним напрямом енергозбереження та одним з пріоритетів у створенні у створенні ефективної та екологічної енергетики. Проаналізовано основні технічні параметри сонячних перетворювачів та їх основні характеристики.

3. Розглянуто основні вимоги нормативних документів до різних параметрів сонячних перетворювачів. Проаналізовано основні вимоги до метрологічного забезпечення сонячних перетворювачів та надано рекомендації, щодо його покращення.

4. Також було проаналізовано те, що для досягнення зазначених у нормативній документації показників доцільним є застосовування датчиків у вигляді послідовно з'єднаних напівпровідникових температурних перетворювачів, які підвищують їх чутливість та еталонуванням випромінювальної здатності датчика сонячної радіації.

5. Розглянуто схеми послідовного та паралельного з'єднання сонячних панелей. Розроблено функціональну схему сонячного перетворювача із застосуванням контролера, що є необхідним для трансформації змінного струму з сонячного фотоелемента у постійний струм для заряду акумулятора (АКБ).

6. Проведено оцінку комерційного потенціалу фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну, який є на вище середньому рівні. Було визначено, що вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 1,8 роки, при прогнозованому прибутку 438567,87 грн. за три роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василюха Х.В. Вдосконалення цифрових термометричних засобів для досліджень сонячних колекторів / Х.В. Василюха, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук, В.Б. Здеб // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Вимірювальна техніка та метрологія» (ISSN 0368-6418) – Львів, Вид-во НУ —ЛПІ, – №77, – 2016. – С. 70 – 79.
2. Серкез Х.В. Метрологическое обеспечение измерений энергетических параметров солнечного излучения при испытаниях солнечных коллекторов / Х.В. Серкез, В.А. Яцук // Международный журнал «Устойчивое развитие» (ISSN 1314- 4138), техн. ун-т Варна, Болгарія, май, 2013. – №7. – С. 45-49.
3. Малєєв В.О. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні / В.О. Малєєв, В.М. Безпальченко, Д.С. Макаруч // Актуальні проблеми сучасної енергетики: матеріали II-ої Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. – Херсон : ХНТУ, 2017. – С.74–70.
4. Возняк О. Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні / О. Т. Возняк, М. Є. Янів // Вісн. Нац. унту "Львів. політехніка". Теорія і практика буд-ва. - 2010. - N 664. - С. 7-10.
5. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія [Текст]: / Й.С. Мисак, О.Т. Возняк, О.С. Дацько, С.П. Шаповал // . – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 340 с.
6. Посч ложення про кваліфікаційні роботи на другому (магістрерському) рівні вищої освіти / А. О.Семенов, Л. П. Громова, Т. В. Макарова, О. В. Сердюк. – Вінниця, 2021. – 60 с.
7. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / В. О. Козловський, О. Й. Лєсько, В. В. Кавецький. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 42 с.

8. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія [Текст]: / Й.С. Мисак, О.Т. Возняк, О.С. Дацько, С.П. Шаповал // . – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 340 с.
9. Бабієв Г.М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні / Г.М. Бабієв, Д.В. Дероган, А.Р. Щокін // Електричний Журнал. – Запоріжжя: ВАТ "Гамма", 1998. – №1. – С.63–64.
10. Фреїк Д.М. Фотоелектричні перетворювачі сонячного випромінення. Досягнення, сучасний стан і тенденції розвитку (огляд) / Д.М. Фреїк, В.М. Чобанюк, М.О. Галушак, О.С. Криницький, Г.Д. Матеїк // ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА. – 2012. – №1 Т.13. – С. 7 – 20.
11. Антонов В.С. Короткий курс загальної метеорології. – Чернівці: Рута, 2004. – 356 с.
12. Кожем'яко В.П. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В.П. Кожем'яко, О.Г. Домбровський, В.Ф. Жердецький, В.І. Маліновський, Г.В. Притуляк // Оптикоелектронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях – 2011 – С. 141-157.
13. Будько В. І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії / В. І. Будько – серія навчально-методичних матеріалів – Київ: ЮНІДО, 2015. – 49 с.
14. Сонячний колектор – плюси, мінуси, відгуки. 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://dovidkam.com/remont/sonyachnij-kolektor-plyusimini-vidguki.html>.
15. Сонячні колектори трубні і плоскі. 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=56.
16. Паламарчук О.Ю. Підвищення ефективності використання сонячної енергії за допомогою колекторів з концентраторами: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.23.03 "Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання" / О.Ю. Паламарчук. – Х., 2007. – 20 с.

- 17.Скляню А. Дослідження роботи геліюустановки для спільної генерації електричної та теплової енергії / А. Скляню, А. Кучер // Матеріали ІV Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання—, 19-20 квітня 2011 року — Т. : ТНТУ, 2011 — Том 1. — С. 275. — (Електротехніка, електроніка та світлотехніка).
- 18.Ефимов В. П. Фотопреобразователи энергии солнечного излучения нового поколения / В. П. Ефи-мов // Физика и техника полупроводников.- 2010.-т. 8.- № 2.- С. 100-115
- 19.Кувшинов В.В. Методи розрахунку і підвищення ефективності використання теплофотоелектричних установок / В.В. Кувшинов // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013. – Вып. 2 (46). – С. 166 – 171.
- 20.Вілінський О. О. Термоелектричний перетворювач сонячного випромінювання в електроенергію / О.О. Вілінський, Л.Ю. Цибульський // Матеріали ХІ-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної електроніки», КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, 6-7 квітня 2017 р. – С. 145-150. (електронне видання)
- 21.Колектори сонячні. Методи випробування. – Ч.1: Теплові характеристики та перепад тиску закслених сонячних колекторів для нагрівання рідини (ISO 9806-1:1994, IDT): ДСТУ ISO 9806-1:2005. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 56 с.
22. Столярчук П. Г. Розробка математичної моделі ефективності сонячних перетворювачів / П. Г. Столярчук, В. О. Яцук, М. М. Микийчук, М. С. Міхалева, О. І. Шпак, Т. М. Олеськів // Східно-європейський журнал передових технологій. –5/8 (71), 2014. – С. 30-36.
- 23.Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія [Текст]: / Й.С. Мисак, О.Т. Возняк, О.С. Дацько, С.П. Шаповал // . – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 340 с.

24. Енергія сонячна. Калібрування піранометра із застосуванням піргеліометра (ISO 9846:1993, IDT): ДСТУ ISO 9846:2006. — К.: Держспоживстандарт України, 2009. — 19 с.
25. Василюха Х.В. Вдосконалення цифрових термометричних засобів для досліджень сонячних колекторів / Х.В. Василюха, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук, В.Б. Здеб // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Вимірювальна техніка та метрологія» (ISSN 0368-6418) – Львів, Вид-во НУ —ЛПІ, – №77, – 2016. – С. 70 – 79.
26. Vasylykha Kh. Experimental studies of temperature channel efficiency for solar energy systems /Kh. Vasylykha, Yu. Yatsuk, V. Zdeb, V. Yatsuk// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (ISSN 1729-3774). –3/8 (87), 2017. – P. 10-16.
27. Даффи Дж. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж. А. Даффи, У. А. Бекман; пер. с англ.; под ред. Ю. Н. Малевского. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
28. Фрид С. Е. Методы тепловых испытаний солнечных коллекторов / С. Е. Фрид. - М.: ИВТАН АН СССР, 1988. – 57 с. – (Препринт № 3-248).
29. Дробишева В. П. Сучасний стан використання відновлювальних джерел енергії в Україні [Електронний ресурс] / В. П. Дробишева, К. П. Токар, Г. А. Федоренко // Науковий вісник будівництва. - 2014. - № 1. - С. 165-168. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2014_1_44.
30. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О. Квітка, С.В. Галько. – Мелітополь: Видавничополіграфічний центр «Люкс», 2017. - 256 с.

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

Метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в
електричну

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Кафедра метрології та промислової автоматики
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МПА
д.т.н., професор Кучерук В.Ю.

(підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Метрологічне забезпечення фотоелектричного перетворювача сонячної енергії в електричну

08-03.МКР.001.00.000.ТЗ

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент Маньковська В. С.

« ____ » _____ 2021 р.

Розробила студентка гр. КІВТ-20м

Безверхня А. В.

« ____ » _____ 2021 р.

Додаток А
(обов'язковий)

Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

1 Підстава для проведення робіт

Підставою для виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Розвиток методів контролю якості ліків в процесі їх виробництва» є наказ № 277 від 24.09.2021 р.

Термін виконання робіт:

початок 01.09.2021 р.

кінець 17.12.2021 р.

2 Мета та вихідні дані для проведення робіт

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження основних видів сонячних перетворювачів. Надано рекомендації щодо покращення метрологічного забезпечення фотоелектричного перетворювача.

Вихідними даними для проведення робіт є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу від 01.09.2021 р.

3 Етапи виконання робіт

Виконавцем всіх перерахованих в даному розділі етапів є: студентка групи КІВТ-20м Безверхня Аліна Вікторівна факультету комп'ютерних систем та автоматики Вінницького національного технічного університету, а замовником є: кафедра метрології та промислової автоматики.

№ Етапу	Зміст етапу	Строки виконання
E1	Постановка проблеми альтернативної енергетики та практичне застосування фотоелектричних панелей	01.09.2021 14.09.2021
E2	Головні принципи роботи фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії в електричну	14.09.2021 28.09.2021
E3	Розробка структурної та функціональної схеми перетворювача сонячної енергії в електричну	28.09.2021 07.10.2021
E4	Метрологічне забезпечення сонячних панелей	07.10.2021 19.10.2021
E5	Шляхи покращення метрологічних характеристик каналів вимірювання для досліджень ФЕП	19.10.2021 16.11.2021
E6	Економічна частина	16.11.2021 17.12.2021

4 Призначення і галузь застосування

Фотоелектричний перетворювач – це пристрій, що перетворює сонячну енергію в електричну. Використовується у сонячних системах. Геліосистеми є складовою альтернативної енергетики та широко застосовуються у сучасному світі.

5 Технічні дані

- 5.1 Об'єкт дослідження – фотоелектричний перетворювач;
- 5.2 Склад об'єкту – полікристалічні пластини;
- 5.3 Діапазон вимірювання довжин сонячної радіації 0,3 ... 3 мкм;
- 5.4 Тип об'єкта перевірки – фотоелектричний.

6 Джерела розробки

6.1 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістрському) рівні вищої освіти / А. О.Семенов, Л. П. Громова, Т. В. Макарова, О. В. Сердюк. – Вінниця, 2021. – 60 с.

6.2 Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 42 с.

6.3 ДСТУ ISO 9001:2009. «Системи управління якістю».

6.4 ДСТУ 4034-2001 Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Колектори сонячні плоскі. Методи випробування

6.5 ДСТУ 4280:2004 Енергоощадність. Модулі сонячні фотоелектричні. Класифікація та основні параметри

6.6 ДСТУ 8328:2015 Геліоенергетика. Загальні технічні вимоги

6.7 ДСТУ ISO 9806-1:2005 Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 1. Теплові характеристики та перепади тиску закслених сонячних колекторів для нагрівання рідини

6.8 ДСТУ ISO 9806-1:2005 Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 2. Кваліфікаційні випробування

Ст. гр. КІВТ-20м _____ Безверхня А. В.

Додаток Б
(обов'язковий)

Лістинг програми контролю

```

function D = PO(V, I, T)

persistent Pn Po dP d dd n;

if isempty(V)
    V=20;
end
if isempty(I)
    I=0;
end
if isempty(Po)
    Po=0;
end
if isempty(Pn)
    Pn=0;
end
if isempty(dP)
    dP=0;
end
if isempty(d)
    d=1;
end
if isempty(dd)
    dd=0;
end
if isempty(n)
    n=1;
end

if (T>n*0.02)
    n=n+1;
    Po=Pn;
    Pn=V*I;
    dP=Pn-Po;

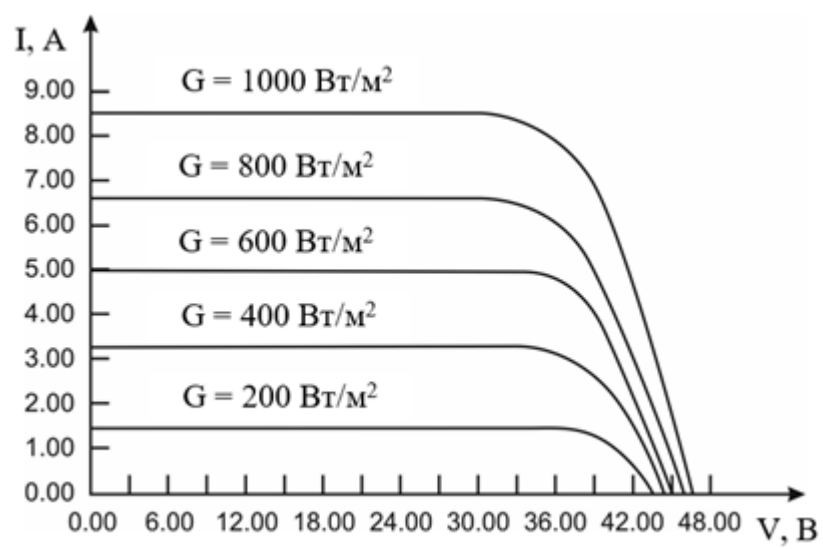
    if (dd==0)
        if dP>1
            dd=0.01;
            d=d+dd;
        else
            if (dP<-1)
                dd=-0.01;
                d=d+dd;
            else
                dd=0;
            end
        end
    else
        if ((dP<1) && (dP>-1))
            dd=0;

            d=d+dd;
        else
            if ((dP/dd)>0)
                dd=0.01;
                d=d+dd;
            else
                dd=-0.01;
                d=d+dd;
            end
        end
    end
end

```

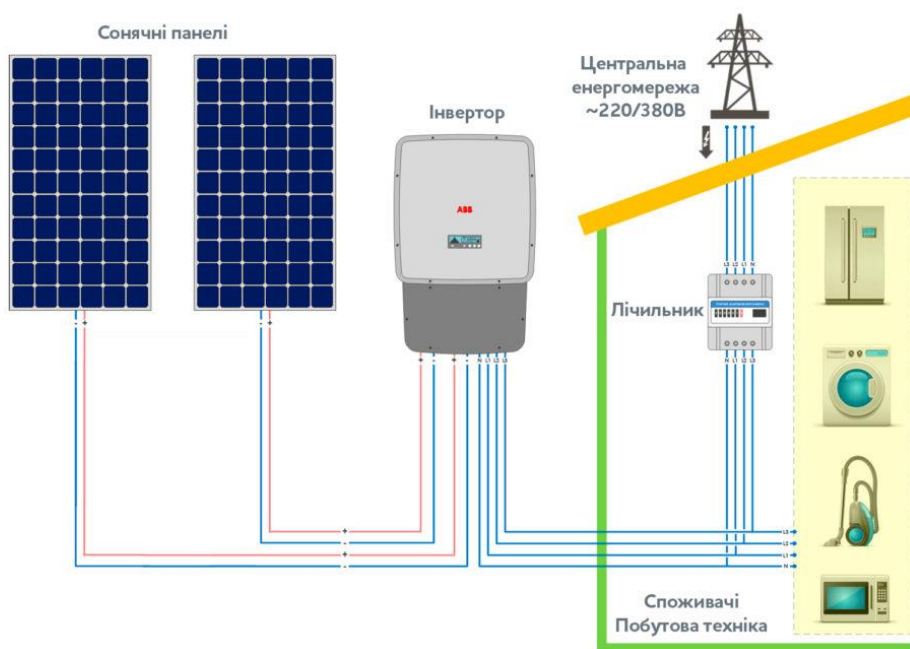
Додаток В
(довідковий)

Сімейство типових вольт-амперних характеристик фотомодуля в залежності від інтенсивності сонячного випромінювання



Додаток Г
(довідковий)

Схема роботи мережевої станції під зелений тариф



Додаток Ж

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи



Ім'я користувача:
Маньковська В.С. МПА

ID перевірки:
1009688632

Дата перевірки:
15.12.2021 19:26:23 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
15.12.2021 19:28:07 EET

ID користувача:
100001333

Назва документа: 1639559315976701

Кількість сторінок: 63 Кількість слів: 10693 Кількість символів: 84035 Розмір файлу: 1.37 MB ID файлу: 1009687980

9.46%
Схожість

Найбільша схожість: 7.43% з Інтернет-джерелом (<https://ipnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1769/disvasylykha>).

9.46% Джерела з Інтернету 164 Сторінка 65

Пошук збігів з Бібліотекою не проводиться

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

0%
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 80