

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра Інтелектуальні системи електропостачання

«ДО ЗАХИСТУ»

В.о. завідувача кафедри

_____ /Д. О. Босий/

«_____» _____ 20____р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Системи управління виробництвом та
розподілом електроенергії**

Тема **Модернізація сонячного трекера із застосуванням штучного
інтелекту**

Theme **Upgrading a solar tracker using artificial intelligence**

Керівник дипломної роботи

проф. _____ Д. О. Босий

Нормоконтролер

доц. _____ В. М. Ляшук

Студент групи ЕС1922

_____ В. Г. Хімоненко

Student

Khimonenko Vladyslav

Дніпро – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Факультет «Управління енергетичними процесами»
Кафедра «Інтелектуальні системи електропостачання»
Галузь 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Спеціалізація Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.о. зав. кафедри
_____ Босий Д.О.
(підпис)
«20» січня 2020р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС _____ магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)
студента групи _____ ЕС1922 _____ Хімоненко В. Г.
(номер групи) (ПІБ)

- 1 Тема дипломного проекту (роботи) Модернізація сонячного трекера із застосуванням штучного інтелекту
затверджена наказом по університету від «17» 01 2020 р. № 55 ст.
- 2 Термін подання студентом закінченої роботи «7» грудня 2020р.
- 3 Вихідні дані до дипломного проекту (роботи): Характеристика фотоелектричних елементів, схема керування пристроєм.
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки): аналіз конструктивного виконання сонячного трекера, аналітичний огляд літератури щодо створення сонячного теркера, методи створення.
- 5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу): ілюстрований опис результатів досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Термін виконання	Обсяг розділу, %
ВСТУП	09.09	5
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	21.10	25
ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	11.11	30
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ	25.11	30
ВИСНОВКИ	01.12	5
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ	07.12	5

Дата видачі завдання: «20» 01 2020р.

Керівник дипломної роботи

_____ проф. Босий Д.О.
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

_____ Хімоненко В. Г.
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 86 сторінок, складається з 3 розділів та містить 34 ілюстрації, 17 таблиць, 21 бібліографічне джерело.

Об'єкт дослідження – процес перетворення електроенергії у фотоелектричних джерелах.

Мета роботи - розробка фізичного макету сонячного трекеру та дослідження ефективності перетворення електроенергії.

Метод дослідження – аналіз проблем застосування віновлюваних джерел енергії, аналіз технічних рішень при перетворенні фотоелектричної енергії. Розроблені схемні та технічні рішення підвищують доступність та забезпечують повторюваність технології фотоелектричного перетворення електроенергії для використання широким колом фахівців та науковців. Трекери для сонячних електростанцій - це пристрій, за допомогою якого відстежується Сонце і орієнтується конструкція так, щоб сонячні батареї мали найбільший ККД. Трекер влаштований просто, датчики визначають найбільш вигідне становище сонячних панелей, а двигун повертає батарею в потрібне положення. Установка такого трекера дозволяє виробляти на 40...45% більше електроенергії з тої самої кількості сонячних панелей.

Сонячні батареї, встановлені на рухомому трекері, автоматично протягом дня змінюють своє місце розташування і рухаються слідом за сонцем, а в залежності від того яку пору року автоматично змінюють кут нахилу.

Проте основна проблема сонячної енергії полягає в тому, що вона безпосередньо залежить від інтенсивності світла. Для отримання максимальної кількості енергії сонячна панель повинна бути перпендикулярною до джерела світла. Оскільки сонце рухається як протягом дня, так і протягом усього року, сонячна панель повинна мати можливість стежити за рухом сонця, щоб отримати максимально можливу потужність.

В зв'язку з цим у дипломній магістерській роботі викладені основні рішення проблем використання системи стеження, можливості підвищення ефективності перетворення електроенергії за допомогою системи, яка підтримує ортогональне положення панелі з джерелом світла.

Ключові слова: ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, НАКОПИЧУВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, СОНЯЧНІ ТРЕКЕРИ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	10
1.1 Сучасні проблеми впровадження нетрадиційних джерел енергії.....	10
1.2 «Зелений» тариф.....	12
1.3 Очікуване виробництво електроенергії на території України в рік.....	17
2. ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	20
2.1 Фотоефект і сонячні батареї.....	20
2.1.1 Переваги сонячних батарей.....	24
2.1.2 ККД Сонячної батареї.....	26
2.1.3 Застосування Сонячних панелей.....	27
2.2 Сонячні електростанції та їх класифікація.....	28
2.3 Типи сонячних електростанцій.....	30
2.3.1 СЕС баштового типу.....	30
2.3.2 СЕС тарілчатого типу.....	32
2.3.3 СЕС, що використовують фотобатареї.....	33
2.3.4 СЕС, що використовують параболічні концентратори.....	35
2.3.5 Комбіновані СЕС.....	35
2.3.6 Аеростатні сонячні електростанції.....	36
2.3.7 Орбітальні електростанцій з використанням сонячних батарей.....	38
2.4 Трекерні установки та їх модифікації.....	39
3. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ.....	42
3.1 Розробка алгоритму функціонування системи	42

					02.15.8ЕП.РД.2020–ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробник		Хімоненко В.Г.			Модернізація сонячного трекера із застосуванням штучного інтелекту	Літ.	Арк.
ОП та БНС							5
Керівник		Босий Д.О.				ДНУЗТ, ІСЕ, зр.ЕС1922	
Н. контр.		Ляшук В.М.					
						Аркушів	86

3.2 Конструктивне виконання.....	43
3.3 Розробка структурної схеми пристрою.....	47
3.4 Розробка функціональної схеми системи.....	47
3.5 Вибір елементної бази.....	51
3.5.1 Мікроконтролер.....	51
3.5.2 Дисплей LCD.....	54
3.5.3 Схема перетворювача інтерфейсу.....	56
3.5.4 Датчик прискорення і нахилу.....	57
3.5.5 Модуль годинника реального часу.....	59
3.5.6 Магнітний компас.....	61
3.5.7 Виконавчий механізм повороту панелей.....	62
3.6 Розробка електричної принципової схеми.....	65
3.7 Дослідження ефективності.....	70
ВИСНОВОК ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	84
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85

ВСТУП

Актуальність роботи.

В теперішній час майже у всіх сферах людської життєдіяльності використовується енергія, причому з кожним роком потреби в ній збільшуються. Поміж тим традиційні запаси природних палив (нафти, вугілля, газу та ін.) є вичерпними. І у зв'язку з цією проблемою, використання нетрадиційних джерел енергії стає все більш необхідним. В першу чергу це сонячна, вітрова, геотермальна енергія, які наразі вважаються невичерпними.

Серед відновлюваних джерел енергії найбільш перспективною за масштабами ресурсів та екологічною чистотою є сонячна радіація.

Використання сонячної енергії для виробництва електроенергії в Україні набуває великої популярності: розвиток сонячної енергетики віднесено до пріоритетних національних проектів, а осінню 2010 року було введено в експлуатацію першу сонячну електростанцію України. Станом на початок 2018 року потужність побудованих сонячних електростанцій в Україні складає вже більше 752 МВт [1].

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію є, по-перше, найбільш зручним для споживача, подруге, цей метод вважається екологічно чистим способом одержання електроенергії на відміну від використання палива, ядерної сировини чи гідроресурсу.

Але в отриманні сонячної енергії є як «плюси» так і «мінуси». Погодні фактори відіграють велику роль. Багато хто скаржиться на досить високу вартість сонячних елементів, відносно невисоку ефективність у плані окупованості. Проте з кожним роком попит на сонячні електростанції в Україні тільки росте і відповідно ціни на сонячні елементи різко знижуються. «Підводним каменем» функціонування сучасних «сонячних ферм» стає проблема технічної підтримки та обслуговування.

Досвід використання сонячних панелей показав, що інтенсивний нагрів фотоелементів відчутно знижує ефективність системи в цілому, тому потрібно

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачати вирішення охолодження модулів. Також сонячні батареї необхідно періодично чистити від пилу і бруду, а в разі роботи з установкою площею кілька квадратних кілометрів з очищенням можуть виникнути значні труднощі. Проте основна проблема сонячної енергії полягає в тому, що вона безпосередньо залежить від інтенсивності світла. Для отримання максимальної кількості енергії сонячна панель повинна бути перпендикулярною до джерела світла. Оскільки сонце рухається як протягом дня, так і протягом усього року, сонячна панель повинна бути мати можливість стежити за рухом сонця, щоб отримати максимально можливу потужність. Рішення полягає у використанні системи стеження, яка підтримує ортогональне положення панелі з джерелом світла. Існує багато конструкцій системи стеження, включаючи пасивні та активні системи з однією або двома осями свободи.

Таким чином може скластися враження, що в сонячій технології видобутку енергії є цілий ряд недоліків, проте технологічний прогрес не стоїть на місці і тому вирішення цих недоліків лише питання часу.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота пов'язана з науково-дослідною роботою «Розробка інтелектуальних технологій ефективного енергозабезпечення транспортних систем», номер державної реєстрації 0116U006982.

Мета та задача дослідження – розробка фізичного макету сонячного треку та дослідження ефективності перетворення електроенергії.

Об'єкт дослідження – процес перетворення електроенергії у фотоелектричних джерелах.

Предмет дослідження – ефективність схеми перетворення електроенергії.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблені схемні та технічні рішення підвищують доступність та забезпечують повторюваність технології фотоелектричного перетворення електроенергії для використання широким колом фахівців та науковців. Комплексний підхід до визначення ефективності сонячної генерації, що враховує одночасно геометричне орієнтування в просторі та

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення показників якості перетворення при слідкуванні за точкою максимальної потужності вольт-амперної характеристики.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані результати дозволяють забезпечити економію енергоресурсів, доступність електроенергії в складних місцях, автономність, просту інтеграцію у різні сфери господарювання, в тому числі на електричному транспорті та інфраструктурі, комунальному господарстві, в побуті, тощо.

Особистий внесок здобувача. Постановка мети та завдання виконані спільно з науковим керівником, основні положення рекомендації та дослідні характеристики отримано самостійно.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати роботи доповідались на міжнародній науково-практичній конференції «ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ НА ТРАНСПОРТІ», Білорусь, Гомель, 26 – 27 листопада 2020 рік.

Публікації.

Д.О.Босий, В.Г.Хімоненко (ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, Україна). Модернізація сонячного трекера із застосуванням штучного інтелекту / Міжнародна науково-практична конференція «ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ НА ТРАНСПОРТІ», ч. 5, с. 23, Білорусь, Гомель, 26 – 27 листопада 2020 рік.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1 Сучасні проблеми впровадження нетрадиційних джерел енергії

Розвиток нетрадиційних джерел енергії є важливим фактором підвищення енергетичної безпеки та покращення екологічної обстановки в Україні. На сьогодні, вартість використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) країни порівняно з традиційними є значно вищою. Тому для розвитку ВДЕ необхідно використовувати механізми підтримки та стимулювання. Технічно досяжний річний енергетичний потенціал нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) України в перерахунку на умовне паливо становить близько 79 млн. т у.п. Економічно досяжний потенціал цих джерел за базовим сценарієм складає 57,7млн. т у.п., в тому числі відновлюваних природних джерел енергії – 35,5млн. т у.п., позабалансових (нетрадиційних) – 22,2 млн. т у.п. На даний час цей потенціал використовується недостатньо. Частка НВДЕ в енергетичному балансі країни становить 7,2% (6,4% – позабалансові джерела енергії; 0,8% – відновлювані джерела енергії) [2]. Один з шляхів вирішення вказаної проблеми – необхідно особливу увагу приділити подальшому розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. Їх беззастережною перевагою є невичерпність і екологічна чистота. Невипадково країни Європейського Союзу поступово переходять на використання енергії біомаси, вітру, сонця і води. В енергетичному балансі деяких країн питома вага нетрадиційних джерел сягає 40%. В разі виконання прийнятої в Україні Енергетичної Стратегії, частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) буде складати 18,33 млн. т. у. п. (6% від загального споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у 2030 р. Для порівняння, країни ЄС у цілому досягли приблизно 12% внеску ВДЕ вже до 2010 р. Частка ВДЕ в деяких країнах світу, досягнута ще в 2001 р., складала: Норвегія – 45%, Швеція – 29,1%, Нова Зеландія – 25,8%, Фінляндія – 23%, Австрія – 21,5%, Канада – 15,6%, Данія – 10,4%. Практично всі країни світу ставлять за мету значний ріст використання ВДЕ на найближчі десятиліття. Наведені дані

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяють вважати, що Енергетична Стратегія передбачає катастрофічне відставання України від розвинутих країн щодо розвитку [3].

Сьогодні розвиток генерації на базі ВДЕ в Україні стимулюється «зеленим тарифом», який забезпечує рентабельність виробництва електроенергії з нетрадиційних та поновлюваних джерел. На сьогодні ставки «зеленого тарифу» в Україні достатні для забезпечення необхідного повернення на інвестиції в об'єкти генерації з ВДЕ. Передбачене законом зниження коефіцієнтів «зеленого тарифу» відповідає поточним прогнозам зі зниження собівартості будівництва об'єктів, призначених для генерації з ВДЕ. При переході на нову модель ринку потрібно врахувати механізми відшкодування «зеленого тарифу» [1]. Для цього необхідно:

- передбачити механізми забезпечення зростання ВДЕ зростанням маневрових потужностей, яке повинне здійснюватись у межах, які технологічно допустимі задля збереження надійної роботи енергосистеми України;
- переглянути механізм розподілення (між суб'єктами – виробниками з ВДЕ та компаніями-власниками електромереж) витрат на реконструкцію та будівництво магістральних та розподільчих мереж, необхідних для підключення електростанцій на ВДЕ до енергосистеми;
- потрібно на законодавчому рівні забезпечувати сприятливі умови для інвестування: підтримувати розробку та впровадження конкурентоспроможних технологій і локалізацію виробництва потрібного устаткування [1].

Отже, впровадження та використання відновлюваних джерел в Україні сприятиме охороні довкілля та зменшить енергетичну залежність країни. Для цього необхідно створити умови для розвитку ВДЕ: розробити стимулюючу політику держави щодо фінансування науково-дослідних розробок, розвивати науково-технічну та промислову базу. Пріоритетними напрямками повинно стати впровадження передових розробок біоенергетики, вітроенергетики, сонячної енергетики, малої гідроенергетики та геотермальної енергії.

Питання ефективного використання традиційних та альтернативних енергоресурсів вивчалось багатьма вченими економістами, як вітчизняними, так і закордонними. Серед них: О. Борщ, Й. Гольм-Нільсен, О. Гаганов, М. Григорьев,

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Е. Гутнік, М. Волков, П. Іваненко, Ю. Каранов, В. Клименко, А. Лоза, М. Малік, Т. Новацький, В. Перебийніс, В. Руда, П. Саблук, В. Федорейко, М. Михайлов та ін..

1.2 «Зелений» тариф

«Зелений» тариф – спеціальний тариф, за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, у тому числі на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – вироблена лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями).

Державна політика в електроенергетиці базується на таких принципах: сприяння розвитку альтернативної енергетики як екологічно чистої і безпаливної підгалузі енергетики шляхом встановлення «зеленого» тарифу та оплати електростанціям, які виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – вироблену лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями), всієї виробленої ними електричної енергії в повному обсязі у грошовій формі, без застосування будь-яких видів заліків погашення заборгованості із розрахунків за електроенергію.

Електрична енергія, вироблена з енергії сонячного випромінювання та/або енергії вітру об'єктами електроенергетики (генеруючими установками) приватних домогосподарств, величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт, придбавається енергопостачальниками, що здійснюють постачання електричної енергії за регульованим тарифом на території провадження ліцензійної діяльності, за «зеленим» тарифом в обсязі, що перевищує місячне споживання електроенергії такими приватними домогосподарствами. Побутовий споживач має право на встановлення у своєму приватному домогосподарстві генеруючої установки, призначеної для виробництва електричної енергії з енергії сонячного випромінювання та/або енергії вітру, величина встановленої потужності якої не

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищує 30 кВт, але не більше потужності, дозволеної до споживання за договором про користування електричною енергією. Виробництво електроенергії з енергії сонячного випромінювання та/або енергії вітру приватними домогосподарствами здійснюється без відповідної ліцензії. Порядок продажу та обліку такої електроенергії, а також розрахунків за неї затверджується національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП).

Стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії «Зелений» тариф встановлюється НКРЕКП, на електричну енергію, вироблену на об'єктах електроенергетики, у тому числі на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах) з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – вироблену лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями).

Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних (НКРЕКП) послуг постановою від 30 червня 2017 року № 864, встановила нові «зелені» тарифи на електричну енергію для приватних домогосподарств.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для приватних домогосподарств, які виробляють електрику з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на дахах та / або фасадах приватних домогосподарств (будинків, будівель та споруд), величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт, та які введені в експлуатацію встановлені такі тарифи (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Коефіцієнт «зеленого» тарифу для сонячних електростанцій

Категорії об'єктів електроенергетики, для яких застосовується «зелений» тариф	Коефіцієнт «зеленого» тарифу для об'єктів або його черг/пускових комплексів, введених в експлуатацію						
	з 01 квітня 2013 року по 31 грудня 2014 року	з 01 січня 2015 року по 30 червня 2015 року	з 01 липня 2015 року по 31 грудня 2015 року	з 01 січня 2016 року по 31 грудня 2016 року	з 01 січня 2017 року по 31 грудня 2019 року	з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року	з 01 січня 2025 року по 31 грудня 2029 року
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на дахах та/або фасадах приватних домогосподарств (будинків, будівель та споруд), величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт (без ПДВ).	1113,26 коп/кВт·год	1001,27 коп/кВт·год	621,82 коп/кВт·год	556,02 коп/кВт·год	561,65 коп/кВт·год	504,81 коп/кВт·год	449,65 коп/кВт·год

Для приватних домогосподарств, які виробляють електрику з енергії вітру об'єктами електроенергетики, величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт, та які введені в експлуатацію встановлені такі тарифи (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Коефіцієнт «зеленого» тарифу для вітрової електроенергетики

Категорії об'єктів електроенергетики, для яких застосовується «зелений» тариф	Коефіцієнт «зеленого» тарифу для об'єктів або його черг/пускових комплексів, введених в експлуатацію		
	з 01 липня 2015 року по 31 грудня 2019 року	з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року	з 01 січня 2025 року по 31 грудня 2029 року
для електроенергії, виробленої з енергії з вітру об'єктами електроенергетики, величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт (буз ПДВ).	361,06 коп/кВт·год	324,28 коп/кВт·год	389,18 коп/кВт·год

Підтвердженням факту та дати введення в експлуатацію об'єкта електроенергетики, у тому числі черги будівництва електричної станції (пускового комплексу), що виробляє електричну енергію з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями), є виданий уповноваженим органом сертифікат, що засвідчує відповідність закінченого будівництвом об'єкта проектній документації та підтверджує його готовність до експлуатації, або зареєстрована відповідно до законодавства декларація про готовність об'єкта до експлуатації. Для суб'єктів господарювання та приватних домогосподарств, які виробляють електричну енергію з використанням

альтернативних джерел енергії, «зелений» тариф встановлюється до 1 січня 2030 року.

Фіксований мінімальний розмір «зеленого» тарифу для суб'єктів господарювання та приватних домогосподарств встановлюється шляхом перерахування у євро «зеленого» тарифу, розрахованого за правилами цього Закону, станом на 1 січня 2009 року за офіційним валютним курсом Національного банку України на зазначену дату.

«Зелений» тариф для об'єктів електроенергетики, введених в експлуатацію до 31 грудня 2024 року, та приватних домогосподарств, договір про купівлю-продаж електричної енергії з якими укладено до 31 грудня 2024 року, не може бути менший за фіксований мінімальний розмір «зеленого» тарифу, який на дату останнього у кожному кварталі засідання НКРЕКП, перераховується у національну валюту за середнім офіційним валютним курсом Національного банку України за останніх 30 календарних днів, що передують даті такого засідання. До «зеленого» тарифу на електричну енергію, вироблену з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями) на об'єктах електроенергетики, у тому числі на чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), введених в експлуатацію з 1 липня 2015 року по 31 грудня 2024 року, НКРЕКП встановлюється надбавка за дотримання на відповідних об'єктах визначеного статтею 17-3 цього Закону рівня використання обладнання українського виробництва. Надбавка до «зеленого» тарифу за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва встановлюється та підлягає застосуванню на весь строк його дії. Надбавка за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва не встановлюється до «зеленого» тарифу на електричну енергію, вироблену об'єктами електроенергетики (генеруючими установками) приватних домогосподарств.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Очікуване виробництво електроенергії на території України в рік

З енергетичної точки зору, конструкцію фотоелектричного генератора приймають такою, що максимізує поглинання наявного річного сонячного випромінювання. Обсяги електроенергії, які фотоелектрична установка може виробляти на рік, залежать від наступних факторів:

- наявність сонячного випромінювання;
- орієнтація і нахил модулів;
- ККД фотоелектричної установки.

Виходячи з того факту, що сонячне випромінювання є змінним, для визначення обсягів електричної енергії, яку станція може генерувати в фіксованому часовому інтервалі, береться до уваги той факт, що характеристики модулів повинні бути пропорційні сонячному випромінюванню. В Україні та Європейському Союзі існують карти сонячної активності. На рис.1.1 приведено карту сонячної активності в Україні.

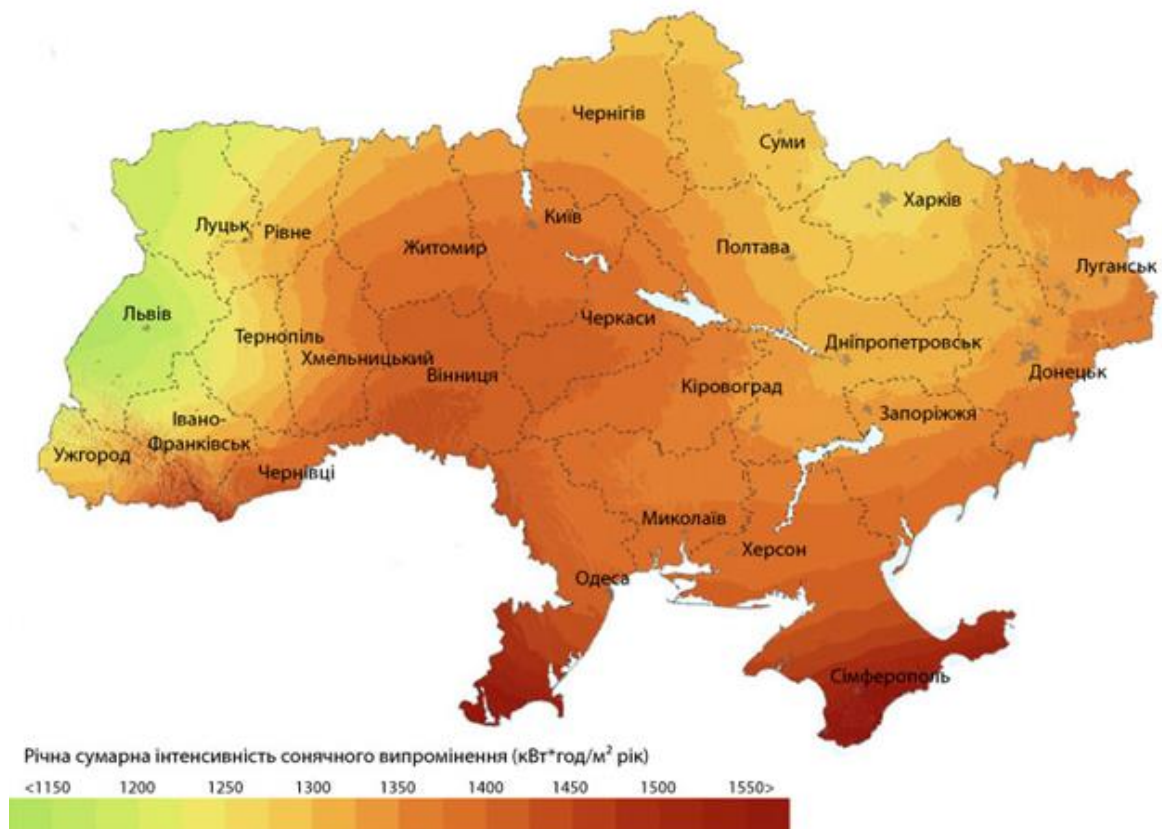


Рисунок 1.1 – Карта сонячної активності України

В табл. 1.3 наведені значення середньорічної сонячної радіації на горизонтальній поверхні в Україні [кВт.год/м²] відповідно до UNI 10349, а середнє добове значення за місяць [кВт.год/м²/день] відповідно до ENEA. На основі середньорічної величини сонячної радіації E_{ma} , можна отримати очікувану генеровану енергію E_p за рік на основі [1]:

$$E_p = E_{ma} \cdot \eta_{BOS}, \quad (1.1)$$

де η_{BOS} – загальна ефективність усіх компонентів фотоелектричного обладнання на стороні навантаження модулів (інвертор, з'єднання, втрати внаслідок температурного ефекту, втрати через асиметрію в характеристиках, втрати через затінення і т.д.). Середня ефективність на станції, правильно спроектованій і змонтованій, може становити від 0,75 до 0,85 [4].

Таблиця 1.3 – Середньомісячний рівень сонячної радіації в містах України (кВт. год /м²)

Регіон /Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середнє значення
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10

Кіровоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55

Продовження таблиці 1.3

Регіон / Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середнє значення
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

З іншого боку, беручи до уваги середню добову інсоляцію E_{mg} , для розрахунку очікуваної виробленої енергії в рік для кожного кВт·пік можна використовувати наступний вираз:

$$E_P = E_{mg} \cdot 365 \cdot \eta_{BOS}, \text{кВт} \cdot \text{год} / \text{кВт} \cdot \text{рік}. \quad (1.2)$$

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ				Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ПЕРЕТВОРЕННІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Фотоефект і сонячні батареї

Суть фотоефекту полягає в перетворенні сонячної енергії в постійний електрострум. Відбувається це в такий спосіб. Електрони деяких речовин (наприклад, кремнію) здатні поглинати енергію сонячних променів. В результаті вони залишають свої орбіти, утворюючи спрямований потік. Цей спрямований потік електронів і буде постійним фотострумом.

Для отримання цього ефекту використовуються спеціальні речовини - напівпровідники. Вони бувають двох типів: з р- і n-провідністю. N-провідність означає надлишок електронів в речовині, р-, відповідно, - їх недолік. Для створення фотоелемента необхідні два різнопровідних напівпровідника. Вони поміщаються один на інший, утворюючи двошарову структуру. Іншими словами, виходить своєрідне подоби електродної батареї, в якій роль катода грає n-провідник, а анода - р-провідник (рис.2.1).

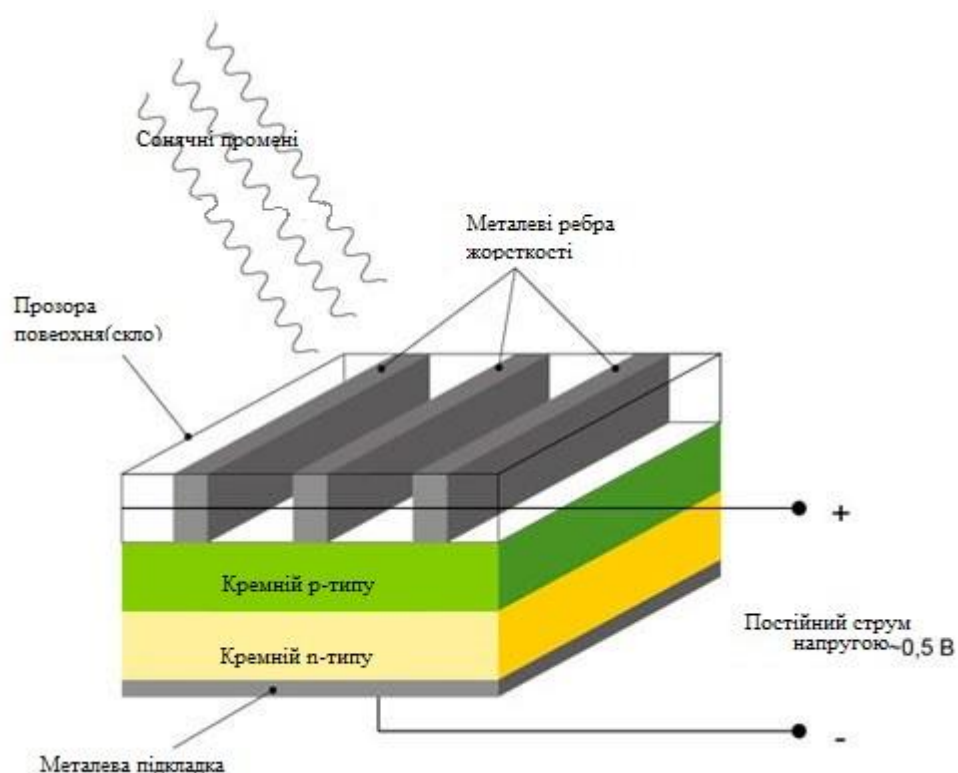


Рисунок 2.1 – Суть фотоефекту

Подальший принцип дії фотоелемента заснований на формуванні на стику напівпровідників зони р-п переходу. Під дією падаючих променів електрони п-провідника (який розташовується вгорі структури) залишають свої атомарні орбіти. Вони переходять в р-шар, де спостерігається нестача електронів. Таким чином і виникає спрямований потік електронів, він же - фотострум.

Для зняття струму до пластин напівпровідників підключаються тонкі провідники та навантаження. Працювати подібна система може дуже довго, так як її функціонування на пов'язане з хімічними взаємодіями, а значить, не відбувається руйнування матеріалів.

Сьогодні серійні сонячні елементи випускаються на базі кремнію. Це пов'язано з тим, що по-перше, кремній широко поширений, а по-друге, його промислова обробка не вимагає значних витрат. Для додання кремнію різних типів провідності використовують всілякі домішки. Наприклад, надлишок електронів створюється за рахунок введення бору, а недолік - миш'яку. Також застосовують арсенід, галій, кадмій і т.д. Крім формування провідності добавка домішок дозволяє підвищити ефективність кремнієвих батарей, коефіцієнт корисної дії яких в середньому становить 20%.

Сонячна батарея - це пристрій для вироблення електрики, що працює тільки від сонячної енергії. Конструктивно вона представляє собою кілька з'єднаних між собою Певної чином фотоячеек, поміщених в захисний корпус зі скляного передніх панеллю. Фотоячейкі є нічим іншим, як напівпровідниковими модулями, в яких під дією променів сонця генерується електрострум.

На сьогоднішній день проводиться три основних типи сонячних батарей: монокристалічні, полікристалічні і тонкоплівкові сонячні панелі (рис.2.2, рис. 2,3).

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Сонячні батареї

Як показала практика, монокристалічні сонячні батареї - найбільш поширені панелі (рис.2.3). Ці батареї збираються в єдину конструкцію з великої кількості силіконових осередків (кількість таких осередків в блоці батареї - 36). Вони формуються в надійному і міцному склопластиковому корпусі, який захищає всю конструкцію від впливу вологи і пилу і навіть дає можливість застосовувати їх на флоті. Перетворення сонячних променів в електричну енергію в таких пристроях відбувається завдяки фотоелектричному ефекту.

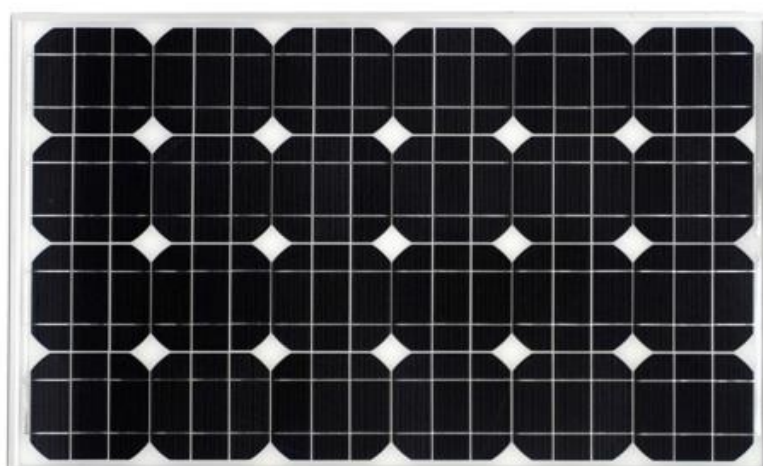


Рисунок 2.3 – Монокристалічні сонячні батареї

Ці батареї відрізняються від інших своєю легкістю і компактністю, а така здатність як незначний їх вигин, що не перешкоджає нормальної працездатності, дозволяє встановлювати сонячні панелі на нерівних поверхнях, де немає можливості отримати оптимальний кут нахилу. Батареї такого типу мають велику область застосування: забезпечення електропостачання різного роду споживачів (електроживлення всілякої радіоапаратури, як на суші, так і на флоті, заряд акумуляторів, харчування засобів сигналізації, зв'язку і т.д.). Але є і мінуси цих пристроїв. При невеликій хмарності істотно знижується потужність установок (до 70%), а сильне їх затемнення, при великій хмарності, майже повністю блокує їх роботу.

Поряд з монокристалічeskими сонячними батареями виробляються полікристалічні панелі (рис.2.4). Ці пристрої відрізняються своєю конструкцією. До складу таких панелей входять полікристалічні кремнієві осередки, з яскраво вираженим синім кольором, які істотно дешевше, ніж монокристали. Полікристалічні батареї не критичні до освітленості поверхні. Тому вони з успіхом використовуються для електропостачання таких споживачів як: ліхтарів вуличного освітлення, різного устаткування, яке застосовується в охороні здоров'я, для електрозабезпечення всілякої апаратури і зарядки акумуляторів ноутбуків, мобільних телефонів і т.д.

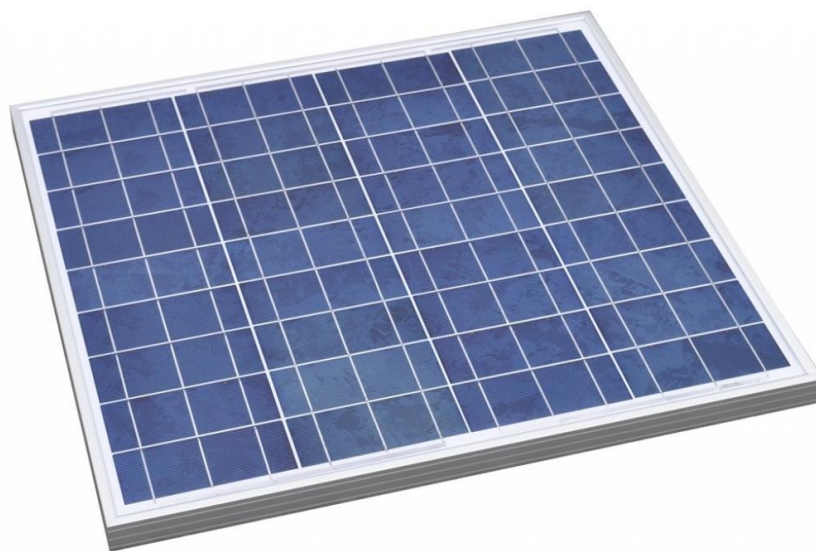


Рисунок 2.4 – Полікристалічні панелі

Тонкоплівкові сонячні батареї - вважаються найбільш дешевим варіантом з усіх існуючих видів батарей (рис.2.5). Це досить чітко відображено на попиті даного виду батарей у споживачів. Цей вид батарей можна встановлювати в будь-якому місці, найбільш зручному для Вас, це може бути стіна будівлі, дах або ж земельна ділянка. На відміну від монокристалічних батарей, тонкоплівковим сонячним батареям не потрібні прямі промені сонця. За потужністю вони також більш зручні, ніж інші види, тому що навіть при похмурій погоді вони втрачають потужність всього на 10...15%. Єдине що можна назвати мінусом для даного виду сонячних батарей це займана площа, практично в 2,5 рази більше, ніж у інших. Застосовуються вони в основному для більш великих систем електропостачання, рідко для побутових потреб.



Рисунок 2.5 – Тонкоплівкові сонячні батареї

2.1.1 Переваги сонячних батарей

1. Не вимагає палива. Використання енергії сонця вимагає витрат практично тільки на установку. Надалі споживач отримує вже безкоштовну енергію. Ніяких спеціальних профілактичних робіт для сонячних панелей не потрібно. Їх можна хіба що протирати від пилу. Розташування панелей на підвищенні і під кутом гострим градусів сприяє тому, що на панелях не накопичується сніг в зимку.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2. Працює постійно. Сонячна система регулюється автоматично. Її не потрібно постійно включати і вимикати як дизель. У системах автономного електропостачання на сонячних батареях електрика запасається в спеціальних акумуляторах. Тому енергія доступна для використання і вдень і вночі.

3. Безшумність. Оскільки електрика виробляється шляхом прямого перетворення енергії світла, то немає абсолютно ніяких шумів. Якщо дизель своїм гулом може заважати вам і вашим сусідам, то з сонячною системою таких проблем немає.

4. Тривалий термін безаварійної служби. Якісні сонячні панелі розраховані на роботу протягом не менше 25 років. За цей час відбувається поступове невелике зниження потужності. На 20% кожних 20 років. Таким чином, загальний термін служби складає 45 років і вище. Для порівняння вітряна система зазвичай розрахована на 15...20 років, а дизель на 5...10 років. При цьому, оскільки в сонячних панелях немає рухомих частин, то практично виключені знос і поломка.

5. Надійність. Сонячна система гарантовано виробляє електроенергію кожен день від сходу до заходу сонця. Продуктивність знижується в похмуру погоду, але все ж сонячні панелі дають електроенергію і в цьому випадку. У цьому сенсі сонячні панелі надійніше вітряних турбін, оскільки вітер значно менш постійний, ніж денне світло.

6. Загальнодоступність. Сонячне світло є практично скрізь і це в деяких випадках критична перевага сонячних панелей перед вітряними і дизельними системами. Особливості рельєфу, забудови, метеорологічних особливостей, розміру ділянки, можуть не дозволити розмістити вітряк, а ось для сонячних систем обмежень набагато менше. Для сонячних панелей потрібно тільки не затінена поверхня, бажано звернена на південну сторону. При цьому в порівнянні з вітрогенератором, не потрібна установка щогли, адже панелі можна просто розмістити на даху. Переваги у сонячних панелей по доступності установки є і в порівнянні з дизелем. Адже далеко не скрізь є можливість стабільної доставки

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

палива. А іноді така доставка пов'язана зі значними витратами і труднощами. Сонце ж є скрізь.

7. Можливість довільної зміни потужності системи. У рідиннопаливних і вітряних систем потужність фіксована. А ось у сонячних систем це величина довільна. Можна встановити невелику панель і використовувати для дрібних приладів. Це обійдеться дешевше. А якщо з'ясується, що встановленої потужності не вистачає, то можна завжди наростити, доставивши більше панелей потрібного розміру.

2.1.2 ККД сонячної батареї

ККД (коефіцієнт корисної дії) сонячної батареї залежить від чистоти пластин, які використовуються в якості сировини при виготовленні. Крім того, дуже важливо, чи є панель монокристалічного або полікристалічного виду.

ККД сонячної батареї може варіюватися від 12% до 20% для звичайного монокристалічного кремнію. В зазвичай встановлюються, розрахунковий коефіцієнт корисної дії складає 15% і залежить від виду виконання самого кремнію.

Полікристалічні фотоелементи мають більш низьку вартість, ніж монокристалічні і ккд в діапазоні 14...17%.

Якщо обґрунтовувати залежність не від матеріалу, а від габаритних розмірів, то, чим вище ефективність, тим менше необхідна площа робочої поверхні батарей.

Фактори, що впливають на ККД сонячних масивів, включають в себе:

- орієнтація поверхні монтажу.
- кут нахилу: висота і нахил поверхні може вплинути на кількість годин сонячного світла, отриманих в середньому за день протягом року
- температура: більшість панелей при експлуатації нагріваються. Таким чином, зазвичай повинні бути встановлені трохи вище рівня даху, для забезпечення достатнього потоку охолоджуваного повітря.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тінь: в принципі, тінь - ворог сонячної енергії. При виборі невдалого дизайну при монтуванні, навіть невелика кількість тіні на одній панелі може закрити виробництво енергії на всіх інших елементах. Перед тим, як розробити систему, проводиться детальний аналіз затінення поверхні

- кріплення, для виявлення можливих форм тіні і сонячного світла протягом року. Потім проводиться другий детальний аналіз, який перевіряє зроблені висновки.

2.1.3 Застосування сонячних панелей

Загальне застосування фото батарей можна виділити в наступних напрямках:

- енергопостачання будинків у віддаленій або слабо електрифікованій місцевості. Для багатьох регіонів, наприклад, важкодоступних гірських областей, сонячні батареї є найбільш раціональним і економічно вигідним, а, найчастіше, і єдиним доступним способом отримання електрики.

- енергопостачання житлових і адміністративних будівель, приватних котеджів.

- фотопанелі використовуються і в міських умовах в якості допоміжного джерела електрики. Це дозволяє значно знизити загальні витрати на енергоносії.

- енергопостачання дач. Використання фотопанелей дозволяє електрифікувати дачу і не залежати від перебоїв з енергією.

- енергопостачання технологічний супровід тваринницьких комплексів. Сонячні батареї встановлюють на теплицях, оранжереях, овочесховищах, тваринницьких комплексах і т.д.

- отримання електрики в туристичних походах і експедиціях. У похідних умовах мобільні складні батареї є найбільш раціональним способом генерації енергії.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- енергопостачання туристичних і спортивних об'єктів. Фотопанелі забезпечують енергією багато гостинці, пансіонати і спорткомплекси, розташовані в південних регіонах.

- зарядка дрібної побутової техніки. «Сонячні» зарядки для ноутбуків, планшетів, телефонів, камер і т.д. дозволяють не залежати від стаціонарних електромереж.

- організація автономного освітлення. Фотобатарея оснащують і вуличні міські світильники, і зупинкові павільйони, і паркові світильники. Широко використовуються вони і в ландшафтному дизайні (гірлянди, ліхтарі на сонячних елементах).

Крім того, набуває все більшого поширення портативна техніка з вбудованими фотоячейками. Наприклад, світлодіодні ліхтарики. А деякі виробники навіть доповнюють фотоячейками мобільні телефони. Ну а «сонячні» калькулятори вже давно стали справжньою «класикою жанру».

2.2 Сонячні електростанції та їх класифікації

Сонячна електростанція - інженерна споруда, що служить перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Способи перетворення сонячної радіації різні й залежать від конструкції електростанції. Одержання електроенергії від сонця давно застосовують у всьому світі. Головне завдання науковців в цей час - необхідність так вдосконалити наявні технології, щоб якнайбільше збільшити їх ККД.

Сонячні електростанції перетворюють енергію сонячної радіації в електроенергію. Вони бувають двох видів:

1) фотоелектричні - безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електроенергію за допомогою фотоелектричного генератора;

2) термодинамічні - перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну; потужність термодинамічних сонячних електростанцій вища, ніж потужність фотоелектричних станцій.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Абсолютними лідерами в області сонячної енергетики є європейські країни. Сонячні електростанції забезпечують близько трьох відсотків загального виробітку електроенергії в Німеччині, Іспанії та Італії. При цьому, в найближчому майбутньому можна прогнозувати збільшення як абсолютних показників вироблення електроенергії за допомогою сонячних електростанцій, так і зростання частки сонячної енергії в загальній структурі всіх використовуваних джерел енергії. Найпотужніша сонячна електростанція світу знаходиться в штаті Арізона США, її пікова потужність 247 МВт.

Існують два основних способи перетворення сонячної енергії: термодинамічні і фотоелектричний. У першому, простому, теплоносій (найчастіше вода) нагрівається в колекторі (системі світлопоглинаючих труб) до високої температури і використовується для опалення приміщень. Частина теплової енергії акумулюється: короткостроково (на кілька днів) - тепловими акумуляторами, довгостроково (на зимовий період) - хімічними. Сонячний колектор простої конструкції площею 1 м² за день може нагріти 50...70 л води до температури 80...90°C. Використання сонячних колекторів дозволяє забезпечувати гарячою водою багато будинків в південних районах.

І все ж майбутнє сонячної енергетики - за прямим перетворенням сонячного випромінювання в електричний струм за допомогою напівпровідникових фотоелементів - сонячних батарей. Ще в 30-х роках минулого століття, коли ккд перших фотоелементів ледве доходило до 1%, про це говорив засновник Фізико-технічного інституту (ФТІ) академік А. Ф. Йоффе.

Передбачення вченого втілювалося в життя в кінці 1950-х років з запуском штучних супутників Землі, головним енергетичним джерелом яких стали панелі сонячних батарей. Зараз у всіх країнах світу йде активний продаж сонячних батарей.

У фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії використовується кремній з додаванням інших елементів, що утворюють структуру з р-п-переходом. Схема роботи напівпровідникового кремнієвого фотоелемента досить проста: в р-

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шарі напівпровідника створюється «діркова» (позитивна) провідність, а в n-шарі - електронна (негативна). На кордоні шарів виникає потенційний бар'єр, що перешкоджає переміщенню носіїв (електронів і «дірок») з одного шару в інший (в такому стаціонарному стані струм не тече по всьому напівпровіднику). Коли ж на фотоелемент падає світло (потік фотонів), фотони, поглинаючись, створюють пари електрон-«дірка», які, підходячи до кордону шарів, знижують потенційний бар'єр, даючи можливість носіям безперешкодно проходити з шару в шар. У напівпровіднику виникає наведена електрорушійна сила (ЕРС), і він стає джерелом електричного струму. Величина фото-ЕРС буде тим більша, чим інтенсивніше світловий потік.

2.3 Типи сонячних електростанцій

Усі сонячні електростанції (СЕС) поділяють на декілька типів:

- СЕС баштового типу;
- СЕС тарілкового типу;
- СЕС, що використовують фотобатареї;
- СЕС, що використовують параболічні концентратори;
- Комбіновані СЕС;
- Аеростатні сонячні електростанції;
- Орбітальні електростанції з використанням сонячних батарей.

2.3.1 СЕС баштового типу

Дані електростанції засновані на принципі отримання водяної пари за допомогою сонячної радіації. У центрі станції стоїть вежа заввишки від 18 до 24 метрів (залежно від потужності та інших параметрів висота може бути більше або менше), на вершині якої резервуар із жовтою водою (рис.2.6). Цей резервуар покритий чорним кольором для поглинання теплового випромінювання. Також у цій вежі перебуває насосна група, що постачає пар на турбогенератор, який перебуває поза вежею. По колу від вежі на деякій відстані розташовуються геліостати. Геліостат - дзеркало площею кілька кв. метрів, закріплене на опорі і підключене до спільної системи позиціонування. Тобто, залежно від становища

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

сонця, дзеркало змінюватиме свою орієнтацію у просторі. Основна та трудомістка задача - це позиціонування всіх дзеркал станції на те, щоб у будь-яку мить усі відбиті промені від них потрапили на резервуар. У ясний сонячний день температура в резервуарі може становити 700 градусів. Такі температурні параметри використовуються у більшості традиційних теплових електростанцій. Для отримання енергії використовуються стандартні турбіни. Фактично на станціях подібного типу можна отримати порівняно великий ККД (близько 20 %) і високі потужності.

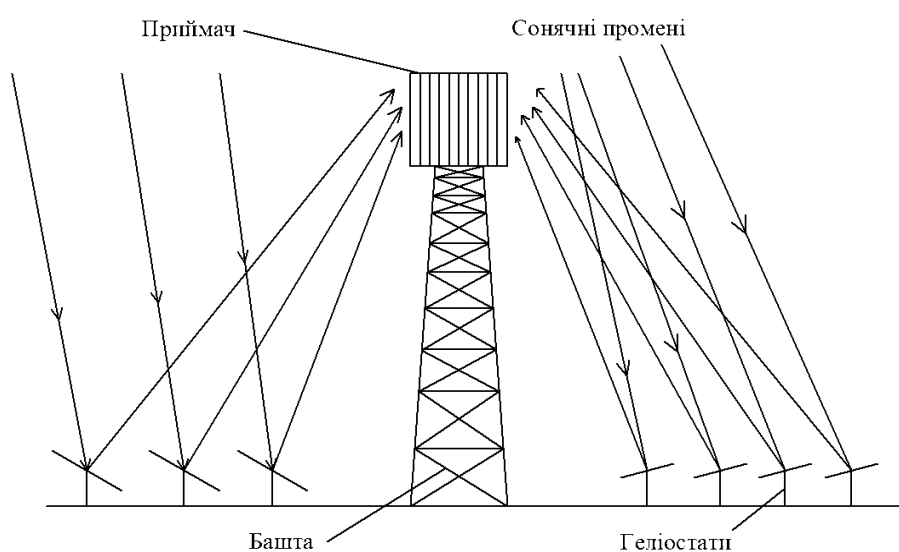


Рисунок 2.6 – Сонячна електростанція баштового типу

Перша баштова електростанція під назвою "Solar One" поблизу Барстоу (Південна Каліфорнія) з успіхом продемонструвала застосування цієї технології для виробництва електроенергії. Підприємство працювало в середині 1980-х. На ньому використовувалася водно-парова система потужністю 10 МВт_{те}. У 1992 р. консорціум енергетичних компаній США прийняв рішення модернізувати "Solar One" для демонстрації приймача на розплавлених солях і теплоакumuлюючої системи. Завдяки акумуляції тепла баштові електростанції стали унікальною геліотехнологією, що дозволяє диспетчеризацію електроенергії при коефіцієнті навантаження до 65%. У такій системі розплавлена сіль закачується з "холодного" бака при температурі 288 °С і проходить через приймач, де нагрівається до 565°С,

а потім повертається в "гарячий" бак. Тепер гарячу сіль у міру потреби можна використовувати для вироблення електрики. У сучасних моделях таких установок тепло зберігається протягом 3...13 годин.

«Solar Two» - баштова електростанція потужністю 10 МВт в Каліфорнії - це прототип великих промислових електростанцій. Вона вперше дала електрику в квітні 1996 р., що стало початком 3-річного періоду випробувань, оцінки та дослідного вироблення електроенергії для демонстрації технології розплавлених солей. Сонячне тепло зберігається в розплавленій солі при температурі 550°C, завдяки чому станція може виробляти електрику вдень і вночі, в будь-яку погоду. Успішне завершення проекту "Solar Two" має сприяти будівництву таких веж на промисловій основі в межах потужності від 30 до 200 МВт.

У Криму ще було побудовано СЕС такого ж типу в Щолкіно як резервне джерело електрики для планованої там АЕС. Але, за великим рахунком, ця станція була експериментальна - її потужність 5 МВт. При експлуатації цієї станції виявили безліч труднощів. Один із них - система позиціонування відбивачів практично цілком (95 %) витрачала енергію, яку вироблено станцією. Також виникали проблеми з очищенням дзеркал. Невдовзі ця станція припинила своє існування й була розкрадена.

2.3.2 СЕС тарілчатого типу

Цей тип СЕС використовує принцип отримання електроенергії, схожий з таким як у башенних СЕС, але є відмінності у конструкції самої станції. Станція складається з окремих модулів. Модуль складається з опори, на яку кріпиться форменна конструкція приймача і відбивача (рис.2.7). Приймач перебуває в деякому віддаленні від відбивача, у ньому концентруються відбиті промені сонця. Відбивач складається з дзеркал у вигляді тарілок (звідси назва), радіально розташованих на опорі. Діаметри цих дзеркал досягають 2-х метрів, а кількість дзеркал - кілька десятків (залежно від потужності модуля). Такі станції можуть бути як з одного модуля (автономні), так і з кількох десятків (робота паралельно з мережею).

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

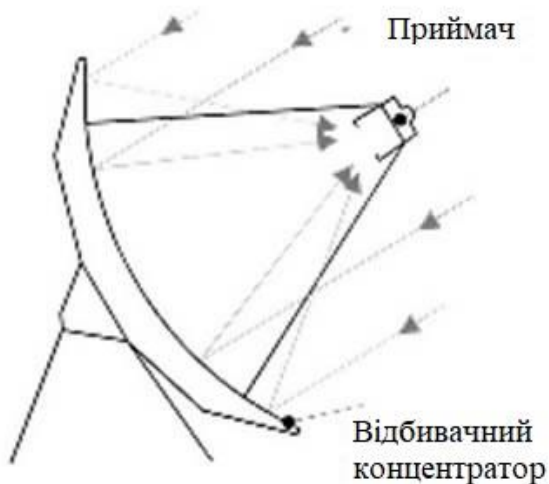


Рисунок 2.7 – Сонячна електростанція тарільчатого типу

2.3.3 СЕС, що використовують фотобатареї

СЕС цього типу нині дуже поширені, позаяк у загальному випадку СЕС складається з значної частини окремих модулів (фотобатарей) різної потужності і вихідних параметрів. Дані СЕС широко застосовуються для енергозабезпечення як малих, так і великих об'єктів (приватні котеджі, пансіонати, санаторії, промислові споруди тощо). Встановлюватись фотобатареї можуть практично скрізь, починаючи з покрівлі і фасаду і до спеціально виділених територій. Встановлені потужності теж коливаються широтою діапазону, починаючи з постачання окремих насосів, закінчуючи електропостачанням невеликого селища.

Сонячні фотоелектричні системи прості в обігу і не мають рухомих механізмів, проте самі фотоелементи містять складні напівпровідникові пристрої, аналогічні використуваним для виробництва інтегральних схем. В основі дії фотоелементів лежить фізичний принцип, при якому електричний струм виникає під впливом світла між двома напівпровідниками з різними електричними властивостями, що знаходяться в контакті один з одним. Сукупність таких елементів утворює фотоелектричну панель, або модуль. Фотоелектричні модулі, завдяки своїм електричним властивостям, виробляють постійний, а не змінний

струм. Він використовується в багатьох простих пристроях, що живляться від батарей. Змінний же струм, навпаки, змінює свій напрямок через регулярні проміжки часу. Саме цей тип електрики поставляють енерговиробники, він використовується для більшості сучасних приладів та електронних пристроїв. У найпростіших системах постійний струм фотоелектричних модулів використовується безпосередньо. Там же, де потрібен змінний струм, до системи необхідно додати інвертор, який перетворює постійний струм у змінний показано.



Рисунок 2.8 – Сонячна електростанція на фотоелектричних елементах

Сонячні панелі є основним компонентом для побудови фотоелектричних систем. Збираються вони з окремих сонячних елементів, принцип роботи яких побудований на основі явища внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках. У фотоелектричних перетворювачах сонячної енергії використовується кремній з добавками інших елементів, що утворюють структуру з р-п -переходом. Причому товщина напівпровідника не перевищує 0,2...0,3 мм.

Кремній, з якого виготовляються сонячні елементи, називають "нафтою 21-го століття". Розрахунки показують, що сонячний елемент з ККД 15 %, на які пішло 1 кг кремнію, за 30 років служби можуть зробити 300 МВт·годин електроенергії. Рівну кількість електроенергії можна отримати, витративши 75 т нафти (з урахуванням ККД теплоелектростанцій 33 % і теплотворній здатності

нафти 43,7 МДж/кг). Таким чином, 1 кг кремнію виявляється еквівалентний 75 т нафти.

Залежно від того, яким чином організовані атоми кремнію в кристалі, сонячні елементи діляться на види:

- сонячні модулі з монокристалічного кремнію;
- сонячні елементи з полікристалічного кремнію;
- сонячні елементи з аморфного кремнію.

2.3.4 СЕС, що використовують параболічні концентратори

Принцип роботи даних СЕС залежить від нагрівання теплоносія до параметрів, придатних до використання у турбогенераторі (рис.2.9).

Конструкція СЕС: на форменній конструкції встановлюється параболічне дзеркало великої довжини, а в фокусі параболі встановлюється трубка, через яку тече теплоносій (найчастіше олія). Пройшовши весь шлях, теплоносій розігрівається й у теплообмінних апаратах віддає теплоту воді, яка перетворюється на пару і потрапляє в турбогенератор.

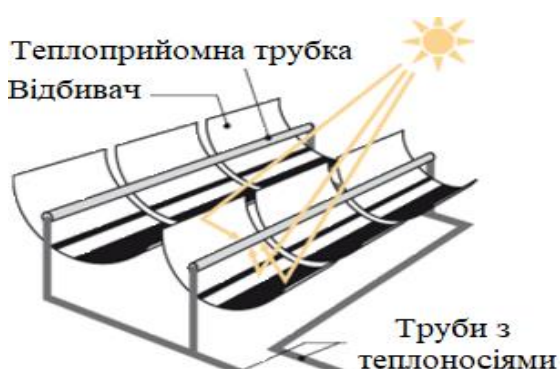


Рисунок 2.9 – Сонячна електростанція з параболічним концентратом

2.3.5 Комбіновані СЕС

Часто на СЕС різних типів додатково встановлюють теплообмінні апарати щоб одержати тепло, що використовується як для технічних потреб, так і для гарячого водопостачання та опалення. У цьому сутність комбінованих СЕС. На одній території можлива паралельна установка концентраторів і фотобатарей, що теж вважається комбінованою СЕС.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

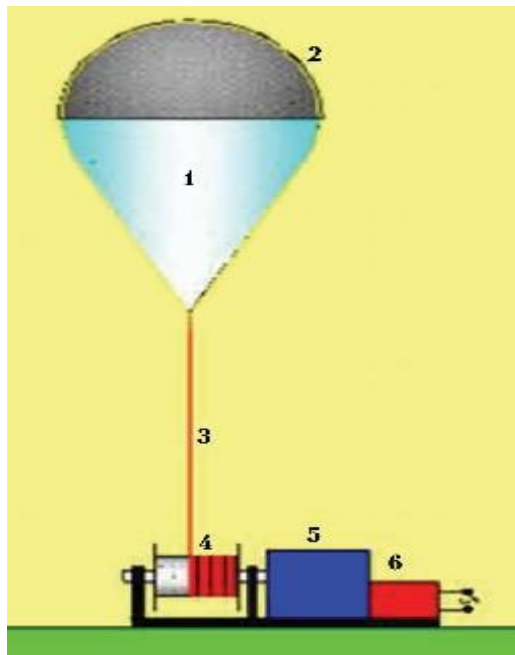
2.3.6 Аеростатні сонячні електростанції

Сонячні аеростатні електростанції можуть стати одним з можливих нових напрямків, які дозволять більш ефективно використовувати сонячну енергію. Основний елемент сонячних аеростатних електростанцій – аеростат – може бути виведеним на декілька кілометрів над поверхнею Землі, вище хмар, що забезпечить безперервне використання сонячної енергії на протязі дня.

Принципова схема роботи сонячної аеростатної електростанції (САЕС) з паровою турбіною полягає в поглинанні поверхнею аеростата сонячного випромінювання і нагрівання в результаті водяної пари, що знаходиться всередині (рис. 2.10). При цьому оболонка аеростата виконується двошаровою. Сонячні промені, проходячи через зовнішній прозорий шар, нагрівають внутрішній шар оболонки з нанесеним покриттям, яке поглинає сонячне випромінювання. Водяна пара, що знаходиться всередині оболонки, нагрівається тепловим потоком, який потрапляє через оболонку, до 100...150°C. Прошарок газу (повітря) між шарами, виконуючи роль теплоізоляції, зменшує втрати теплоти в атмосферу. Тиск пари практично дорівнює тиску зовнішнього повітря. Водяна пара гнучким паропроводом подається на парову турбіну, потім конденсується в конденсаторі, вода з конденсатора знову подається помпами у внутрішню частину оболонки, де випарюється при контакті з перегрітою водяною парою. ККД такої установки може складати 25%, причому завдяки запасу водяної пари у внутрішній частині аеростата установка може працювати і вночі. При діаметрі аеростата 150 м і розміщенні на висоті 5 км установка може мати потужність 2 МВт.

Такі САЕС можуть розташовуватися в декілька сотень метрів над поверхнею Землі або над поверхнею моря із силовою установкою на платформах з якорем, до платформ також кріпиться аеростат. При розташуванні аеростата на висоті 5...7 км забезпечується робота САЕС незалежно від погодних умов. При цьому силова паротурбінна установка може розташовуватися на землі або в люльці.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – оболонка балона аеростата; 2 – тонкоплівкові сонячні елементи; 3 – канат з електричним кабелем; 4 – барабан; 5 – електромотор-редуктор; 6 – інвертор.

Рисунок 2.10 – Аеростатна сонячна електростанція

Аеростатні сонячні електростанції можуть бути розміщені в межах міста аеростата з передачею електроенергії по кабелю на землю. На сьогодні існує досвід використання таких САЕС на Тайвані.

Перша дослідно-промислова САЕС «Чорна перлина», яка введена в експлуатацію в 2003 р., складається з приймача сонячної енергії у вигляді декількох шарів гнучких сферичних оболонок. Значною перевагою конструкції є те, що пара, яка нагнітається компресором в розділений на відсіки простір між прозорою і поглинаючою оболонками, завдяки автоматизованій системі клапанів циркулює тільки на освітленій стороні.

Така САЕС потужністю 5 МВт займає площу 0,3 км². В іншій САЕС «Чорний місяць», введений в дію в 2005 р., центр оболонки діаметром 300 м знаходиться на висоті 450 м, що дозволяє різко скоротити площу, яка використовується. На основі позитивного досвіду експлуатації таких САЕС Тайвань передбачає їх широке будівництво.

2.3.7 Орбітальні електростанції з використанням сонячних батарей

Іншим можливим напрямом використання в ХХІ ст. сонячної енергії є створення орбітальних електростанцій із сонячними батареями, які акумулюють енергію Сонця і перетворюють її в мікрохвильове або лазерне випромінювання, спрямоване до Землі, де воно сприймається спеціальними антенами і потім перетворюється на електричну енергію.

В якості перетворювачів сонячної енергії в електричну зазвичай служать сонячні елементи, які з'єднуються разом, утворюючи сонячні батареї.

У космосі, де не існує атмосфери, хмар, зміни дня і ночі, на одиницю площі потрапляє цілодобово сонячної енергії в десять разів більше, ніж на земній поверхні. Дослідницькі роботи відносно сонячних орбітальних електростанцій почалися в 70-ті роки ХХ століття в США, СРСР та інших країнах.

У теперішній час роботи над створенням таких станцій проводяться у США, Росії, Японії та інших країнах з використанням новітніх науково-технічних досягнень в фотоелектричній енергетиці, електроніці й робототехніці. При цьому подальшого вирішення потребують такі технічні питання, як зниження маси орбітальних електростанцій, витрат на виведення обладнання в космос тощо.

Японія передбачає на рівні 2030 р. зібрати на орбіті на висоті 36 тис. км сонячну електростанцію, яка буде передавати електроенергію на Землю у вигляді мікрохвильового променя, прийом її буде здійснюватися наземною антеною. Важливим досягненням є отримання недавно вченими з Японського космічного агентства елементів, які перетворюють енергію сонячного випромінювання в лазерний пучок з ККД 42%.

Для реалізації таких складних і вартісних проектів, як створення сонячних орбітальних електростанцій, важливішим фактором є міжнародне співробітництво.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Трекери установки та їх модифікації

Трекери для сонячних електростанцій - це пристрій, за допомогою якого відстежується Сонце і орієнтується конструкція так, щоб сонячні батареї мали найбільший ККД. Трекер влаштований просто, датчики визначають найбільш вигідне становище сонячних панелей, а двигун повертає батарею в потрібне положення. Установка такого трекера дозволяє виробляти на 40...45% більше електроенергії з тої самої кількості сонячних панелей.

Вибір типу трекера залежить від багатьох факторів, включаючи розмір установки, електричних параметрів, земельних обмежень, широти і місцевих погодних умов.

Трекери бувають двох видів:

1. Статична, не надто часто використовується, так як сильно поступається за своїми характеристиками.

2. Динамічна, найбільш затребувана система на сьогоднішній день. Ці системи дають можливість максимально використовувати сонячну енергію.

Максимальна вироблення електроенергії відбувається тоді, коли фотоелементи розташовані перпендикулярно сонячним променям.

Сонячні батареї, встановлені на рухомому трекері, автоматично протягом дня змінюють своє місце розташування і рухаються слідом за сонцем, а в залежності від того яку пору року автоматично змінюють кут нахилу.

Трекери бувають різними по конфігурації, через різних приводних механізмів і вибирають напрямок за допомогою різних алгоритмів. Але в основному виділяється два типи конфігурації:

Одноосьові. Це найпростіша конфігурація. Вони мають одну ступінь свободи, вона ж і вісь обертання, яка спрямована на північний меридіан. Однак якщо використовувати допоміжні пристрої, то конструкцію можна орієнтувати в будь-яких координатах. Одноосьові бувають з різною спрямованістю осі обертання: горизонтальні, вертикальні, похилі і полярні.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.11– Одноосьові

Двохвісні. Мають два ступені свободи, вони теж виступають осями обертання. Осі працюють разом, але між собою абсолютно не пов'язані. Одна виступає в якості основної осі, а інша як допоміжна. Основний віслю може бути та, яка фіксується щодо землі. Двовісні трекери поділяються на види по напрямку основної осі щодо землі. Двухосной трекер вимагає мінімуму до відходу, і у нього автоматичний хід. Ефективність їх більше на 30% ніж у одноосьових.

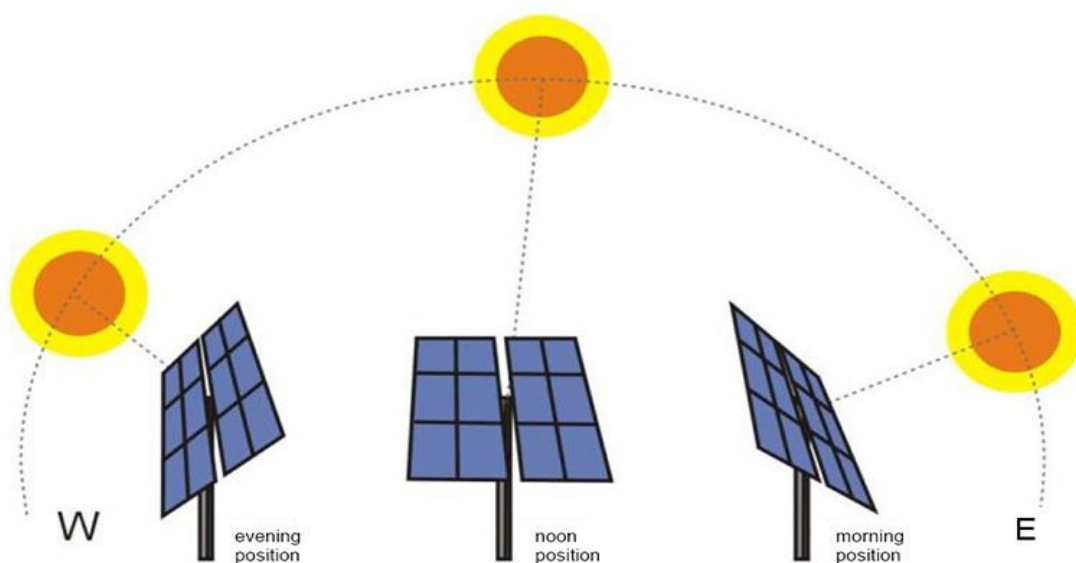


Рисунок 2.12 – Двохвісні

Система управління трекера різна, ділиться на три види:

1. Активна, орієнтація на максимальне сонячне освітлення проводиться за допомогою сенсора. У порівнянні зі статичними трекерами ефективність більше на 49%.
2. Пасивна. Панелі орієнтуються за сонячним календарем, а ефективність їх вище в порівнянні зі статичними системами на 39%.
3. Комбінована. Тут сильно збільшується надійність активного типу, а в разі якихось несправностей переходить в пасивний режим.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

3.1 Розробка алгоритму функціонування системи

Розроблювана система повинна виконувати в першу чергу опитування датчиків освітлення, які встановлені на сонячних панелях, при цьому також розраховуються Зенітний і Азимутальний кути. Ці показання відображаються на LCD дисплей. Далі поточні показання порівнюються з прописаними в пам'яті трекера значеннями і панелі за допомогою серводвигунів розташовуються так, щоб сонячні промені падали під прямим кутом на поверхню. Також додатково реалізована можливість задання координат системи через інтерфейс USART і повернення трекера у вихідне положення після заходу Сонця.

З урахуванням нашої поставленої задачі складаємо алгоритм роботи системи позиціонування, яка проектується. Робота проектованої системи починається з ініціалізації. Наступним кроком починається опитування підключених датчиків до трекера, яке працює циклічно. Для отримання інформації з датчиків здійснюється опитування портів вводу-виводу мікроконтролера. Показання записуються в пам'ять системи. Після опитування всіх датчиків та отримання від них інформації, система виконує обробку даних. В результаті цього обчислюються Азимутальний і Зенітний кути. В залежності від поточної дати та часу, система порівнює їх із заданими в пам'яті, і якщо вони відрізняються, мікроконтролер дає команду серводвигунам, які змінюють кути нахилу трекера до поки вони не стануть дорівнювати кутам розташування Сонця.

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Конструктивне виконання

Для дослідження ефективності і параметрів перетворення електроенергії розроблено дослідний макет, який складається з двох частин:

1. сонячна панель;
2. трекер поворотного типу для зміни як горизонтального так і вертикального положення.

Для виготовлення сонячної панелі застосовані полікристалічні сонячні елементи. Як правило, потужність сонячних елементів не велика, складає декілька ват. Характеристики параметрів фотоелементів приведені в табл. 3.1:

Таблиця 3.1- Характеристика фотоелектричних елементів

1	Тип		Полікристалічні;
2	Клас фотоелементів	Class	A
3	Розмір елементів	(mm)	156×156
4	Напруга	Voc(V)	0.5
5	Струм	Im(A)	8
6	Потужність	Pm(W)	4

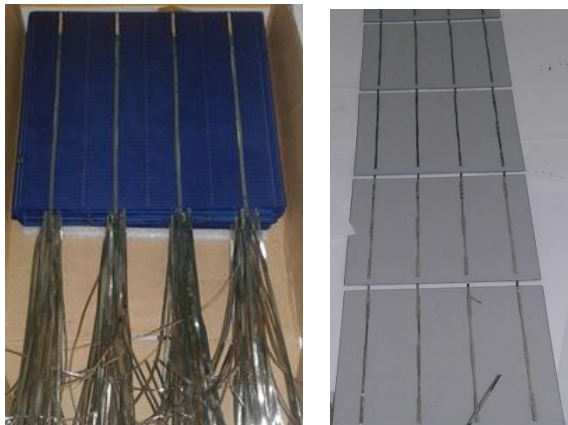


Рисунок 3.1- Підготовлені до пайки фотоелектричні елементи

Для того, щоб при генерації отримати 16-18 В на виході сонячної панелі, кількість фотоелементів прийнята рівною 36 шт, цього достатньо щоб заряджати акумулятори номінальною напругою 12 В. Після вибору кількості та геометричної конфігурації розташування елементів, виконане їх послідовне

з'єднання спеціальною шиною за допомогою спаювання. Тонка шина застосовується для послідовного з'єднання елементів у групи, ширина якої складає 1,5 мм, і широка 5 мм – для об'єднання груп в єдиний контур.

Для розміщення елементів на поверхні використане скло, оскільки воно менше заломлює світло, і ефективність панелі стає дещо вищою. Застосоване скло для сонячної панелі мало товщину 5мм. За допомогою алюмінієвого кутового профілю 25 мм виготовлений квадратний корпус 1000x1000 мм, після чого поверхню рами з внутрішньої сторони заповнено епоксидною смолою.

Герметизація виконана для уникнення проникання води в середину панелі. Після просихання всієї конструкції на склі було розміщено фотоелементи у 6 рядів, кожний з яких містив в собі також 6 фотоелементів.

При розміщенні фотоелементів від кожного фотоелементу витримано відступ не менше 5 мм. Процес пайки самих елементів та підготовлених частин безпосередньо на склі зайняв деякий час. Після повного пропаювання елементів були виведені головні контакти «+» і «-» панелі.

З внутрішньої сторони фотоелементи ущільнені підкладкою товщиною 5 мм, яка дає можливість закрити готову панель з внутрішньої сторони OSB товщиною 10 мм. Готова сонячна панель кріпиться на окремо розробленій конструкції сонячного трекера див. рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Сонячна панель на фотоелектричних елементах

В наш час сонячні елементи і сонячні батареї дедалі частіше використовуються як джерела живлення. Але сонячні панелі виробляють набагато більше енергії, якщо вони постійно наведені на сонце, ніж тоді, коли вони перебувають у фіксованому положенні. Для цього потрібен сонячний трекер - поворотний механізм, котрий змінює положення сонячної батареї відповідно до положення сонця.

Перш за все потрібно було забезпечити кріплення приводного двигуна і сонячної батареї. При розробці необхідно було зробити систему стеження, яка була б простою, недорогою і придатною транспортування. Портативність пристрою забезпечується конструкцією, яка досить легко розбирається і збирається за допомогою лише кількох інструментів.

Конструкція сонячного трекера для макету складається з труби висотою 60 см, діаметр якої складає 58 мм. На основі розміщено дві шестерні (редуктор). Для розміщення панелі на трекері використано металеву конструкцію у вигляді букви Г, яка кріпиться на одній шестерні. У свою чергу шестерня кріпиться в металевій трубі через підшипник який дозволяє передавати обертовий момент рухомій частини.

У конструкції трекера передбачено дві ступені свободи, панель може зміщуватись по осі схід-захід і осі північ-південь.

Перша ступінь, яка відповідала за вісь північ-південь зроблена на основі двигуна постійного струму ДТА-40, який підключається через силову схему, яка управляється логічним елементом.

Для корекції положення по одній осі використовується два датчика освітлення, в даному випадку фоторезистори. Вони розташовані таким чином, щоб при оптимальній орієнтації на Сонце, рівень сигналів датчиків був однаковий. Якщо вісь пристрою орієнтована на Сонце не точно, то один з датчиків освітлюється менше, а різниця між рівнями сигналів датчиків визначає в яку сторону треба обертати систему. Для нормальної роботи такої системи необхідно спочатку орієнтувати систему по одній осі, наприклад в

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

горизонтальній. А після того, як рівень сигналів від двох сенсорів вирівнюється, коригувати систему по вертикалі. Система орієнтування на Сонце працювала від сонячної енергії, тому рівень споживання електроенергії має бути якомога економічнішим.

Можна зазначити, що Сонце небосхилом рухається нешвидко, тому доступно малопотужного двигуна ДТА-40 з редуктором. Для керування напрямком обертання двигуна виготовлена силова схема яка містила в собі реле для перемикавання контактів і створення реверсного ходу двигуна.

Конструктивне виконання вертикального трекера здійснювалось за допомогою підйомного механізму. Конструкція підйомного механізму здійснювалось за допомогою електродвигуна постійного струму напругою 18 В. Двигун закріплений через редуктор, який з'єднаний з різьбовою шпилькою 40 см. На шпильку накручена труба, зовнішній діаметр якої складає 18 мм та до труби заварено два болтові з'єднувачі з різьбою 12 мм. Після того, як дана конструкція була проточина до однієї суцільної конструкції, вона була накручена на шпильку і поміщена в трубу діаметром 22 мм і довжиною 45 см. Для уникнення високих вібрацій під час викручування висувного механізму на кінцях труби встановлено резинові прокладки які забезпечують плавний момент висувного механізму. Конструктивне виконання трекера приведено на рис. 3.3.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

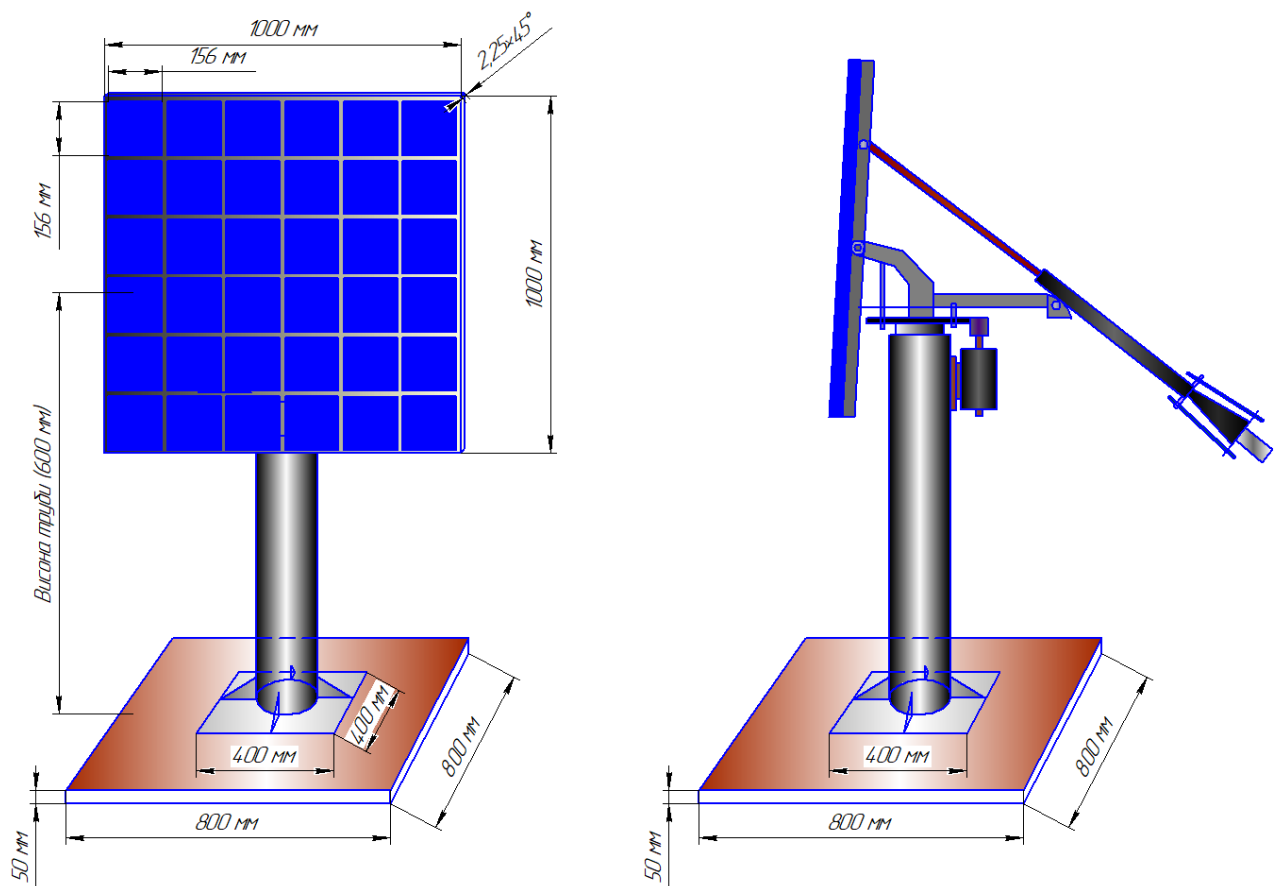


Рисунок 3.3 – Конструктивне виконання поворотної частини трекера

3.3 Розробка структурної схеми пристрою

Систему можна умовно поділити на декілька частин: блок збору показань, блок обробки значень, пристрій відображення інформації. Датчики потрібні для виміру фізичних величин, які постійно аналізуються та порівнюються.

Система узгодження являє собою драйвер для функціонування серводвигунів.

Механізмом, який здійснює поворот платформи із сонячними панелями є два актуатора. Вони отримують сигнали на виконання руху від мікроконтролера.

Пристрій обробки даних є головним вузлом системи, який керує опитуванням датчиків, обробляє отриману інформацію, передає її на пристрій виведення інформації та керує підключеним до нього навантаженням.

3.4 Розробка функціональної схеми системи

Так як в розробленій системі передбачається циклічне опитування датчиків, розрахунки по формулам, виведення результатів розрахунків на дисплей

в реальному часі та керування серводвигунами, можна дійти висновку, що систему логічно проектувати на базі мікроконтролера.

Дану систему умовно краще розділити на декілька блоків, для кращого розуміння:

- 1) блок, який визначає розташування трекера у просторі;
- 2) мікроконтролер, який виконує порівняння показань датчиків з поточними координатами сонця, подає сигнали серводвигунам на виконання переорієнтації трекера і виводить координати на дисплей;
- 3) інтерфейс користувача, в нашому випадку це LCD дисплей.

Система для орієнтації у просторі складатиметься з датчика кута нахилу (акселерометра) та модуля електронного компаса. Цих даних достатньо для досягнення точних даних для переорієнтації трекера.

В проектованій схемі в якості датчиків будуть використовуватися:

1) магнітометр – вимірювальний прилад, призначений для вимірювання параметрів магнітного поля [11]. Магнітне поле Землі в будь-якій точці характеризується вектором напруженості T , напрям якого можна визначити за трьома складовими по осях X , Y , Z в прямокутній системі координат. Також воно описується горизонтальною складовою напруженості H , тобто за Азимутальним кутом;

2) акселерометр – прилад, призначений для вимірювання різниці істинного прискорення об'єкта та гравітаційного, іншими словами знаходить інерційну масу. Ці дані завдяки розрахункам переведуться в значення Зенітного кута;

3) годинник реального часу, так як Сонце постійно змінює своє положення протягом часу та пори року. В пам'яті мікроконтролера створюється таблиця зі значеннями відповідності кутів положення сонця та показань годинника в даний момент.

В якості інтерфейсу передачі даних між датчиками і мікроконтролером використовується Inter-Integrated Circuit (I²C) – це протокол, який створювався

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для зв'язку інтегральних мікросхем всередині електронного пристрою. В основі цього протоколу використовується 8- бітна шина, яка виступає мостом для зв'язку між блоками в керуючій електроніці, та системи адресації, завдяки якій відкривається можливість спілкуватися з декількома пристроями по однакових дротах. Просто дані передаються з додаванням до пакетів ідентифікатора потрібного елемента.

Найпростіша схема I²C може містити в собі один ведучий пристрій (зазвичай мікроконтролер) і декілька введених (наприклад, дисплей LCD).

Кожен має адресу в діапазоні від 7 до 127. Двох однакових адрес пристроїв в одній схемі не має бути [12].

З протоколу I²C можна виділити такі переваги:

- підтримує різні швидкості передачі даних відповідно до версій 100 Кбіт/с, 400 Кбіт/с, 1 Мбіт/с до 3,4 Мбіт/с;
- синхронна комунікація типу SPI;
- використовує лише 2 лінії – SDA (Serial Data) і SCL (Serial Clock);
- у ланцюзі можуть бути використані більше одного пристрою;
- легко виконати діагностику виникнення помилок та їх виправлення;
- для керування декількома пристроями потрібен лише один мікроконтролер;
- пристрої можуть бути вилучені з апаратних засобів, не впливаючи на будь-які інші схеми на шині.

Проте I²C має і ряд недоліків:

- напівдуплексний режим зв'язку;
- потребує більш складного обладнання;
- швидкість передачі даних менша, ніж у SPI [13].

Як інтерфейс передачі даних на комп'ютер використовується інтерфейс RS-232. Даний інтерфейс досить просто реалізувати апаратно, він має високу швидкість передачі даних, конкурентноспроможну завадостійкість, підтримується більшістю сучасних мікроконтролерів.

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтерфейс RS-232-C з'єднує два пристрої. Лінія передачі першого пристрою з'єднується з лінією прийому другого і навпаки (повний дуплекс). Для керування з'єднаними пристроями використовують програмне підтвердження (введення відповідних керуючих символів у потік переданих даних). Також можлива організація апаратного підтвердження шляхом організації додаткових RS-232 ліній для забезпечення функцій визначення статусу і управління [14]. RS-232C - це інтерфейс, з яким ваш комп'ютер використовує для спілкування та обміну даними з вашим модемом та іншими послідовними пристроями. Десь у вашому ПК, як правило, на чіпі універсального асинхронного приймача/передавача (UART) на вашій материнській платі, дані з вашого комп'ютера передаються на внутрішній або зовнішній модем (або інший послідовний пристрій) з інтерфейсу DTER. Оскільки дані у вашому комп'ютері протікають вздовж паралельних контурів, а послідовні пристрої можуть обробляти лише один біт за раз, чіп UART перетворює групи бітів паралельно послідовному потоку бітів [25].

Дані RS-232C передаються в послідовному коді побайтно. Кожен з байтів отримує стартовий і стоповий біти. Формат даних, що передаються, показано на рисунку 3.4 [14].

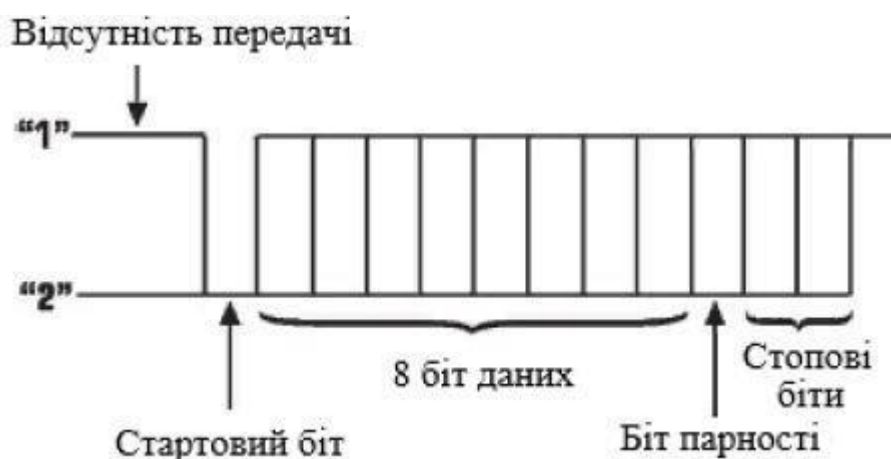


Рисунок 3.4 – Формат даних RS-232C

Власне дані (5, 6, 7 або 8 біт) супроводжуються стартовим бітом, одним або двома стоповими бітами, бітом парності. Отримавши стартовий біт, приймач вибирає з лінії біти даних через певні інтервали часу. Важливо, щоб тактові частоти передавача і приймача були однаковими (нормальна розбіжність - не більше 10%). Швидкість передачі по RS-232C може вибиратися з ряду: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с [14]. Перевагами цього інтерфейсу вважають: високе розповсюдження, простоту і дешевизну з'єднувального кабелю, доступність програмного забезпечення для роботи з інтерфейсом.

Недоліки RS-232 полягають в тому, що він реалізує зв'язок типу «точка-точка» з низькою, за сучасними технологіями, швидкістю (зазвичай 9600 біт/с), і працює тільки на невеликих відстанях.

Для перетворення послідовних даних в паралельні та навпаки, пристрої, які підключаються до RS-232, потребують модуль універсального асинхронного прийомопередавача UART. Цей модуль працює, як правило, з сигналами TTL-рівнів. Для перетворення цих сигналів в рівні інтерфейсу RS-232 і навпаки використовуються передавачі та приймачі.

3.5 Вибір елементної бази

3.5.1 Мікроконтролер

На сьогоднішній день технологічний процес не стоїть на місці, з кожним роком з'являються все складніші пристрої. Виробники мікроконтролерів не відстають від цього процесу, випускаючи на ринок все кращі мікроконтролери, проте ціни на них не зростають. Останнім часом набирають популярності ARM мікроконтролери, а з приходом бюджетних контролерів з ядром Cortex-M ціна стала дуже доступною, вони навіть можуть скласти конкуренцію з 8 і 16 бітними контролерами, такими як AVR, PIC, а в деяких випадках будуть дешевші своїх

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

восьмибітних побратимів. Попри це для ARM мікроконтролерів доступно багато засобів налагодження та програмування, ціни на які цілком доступні. Порівняння мікроконтролерів наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики популярних МК

Параметр	STM32F100- C4T6B	ATmega48PA- PU	ATtiny13A- SSU
Середня ціна	15 грн.	30 грн.	18 грн.
Об'єм флеш пам'яті (ROM, пам'яті програм)	16 кБайт	4 кБайта	1 кБайт
Об'єм оперативної пам'яті (RAM, пам'яті даних)	4096 Байт	512 Байт	64 Байта
Тактова частота	24 МГц, 30 DMIPS	20 МГц	20 МГц
Ліній вводу/виводу	37	23	6
АЦП	16 каналів, 12 біт	8 каналів, 10 біт	4 канали, 10 біт
ЦАП	12-бітний	0	0
USART	2	1	0
SPI	1	1	1
I2C	1	1	0
Кількість таймерів	5	3	1
DMA	7 каналів	0	0

З даної таблиці видно, що наймолодший ARM мікроконтролер сімейства STM-32 має більші можливості і кращі характеристики при меншій ціні.

Мікроконтролери STM32F100C4T6B (рис. 3.5) по всім параметрам кращий за своїх 8-ми бітних конкурентів, і тому, врахувавши його доступну ціну – це однозначно кращий вибір на ринку. Крім того ARM контролери є 32 розрядними, це означає, що він працює з 32 бітними даними за один такт процесора, що стає неможливим для 8-ми бітних процесорів, адже їм потрібно більше тактів.



Рисунок 3.5 – Зображення мікроконтролера STM32F100C4T6B

Ще однією особливістю використання мікроконтролерів STM-32, є сумісність в межах одного корпусу, тобто якщо з будь-яких причин невістачає ресурсів закладеного в схему мікроконтролера, можна запаяти на його місце інший мікроконтролер. При цьому зміни в програмі на рівні драйверів і периферії можуть бути лише незначні.

В якості налагоджувальної плати було обрано STM32VLDISCOVERY, зображення якої показано на рисунку 3.6.

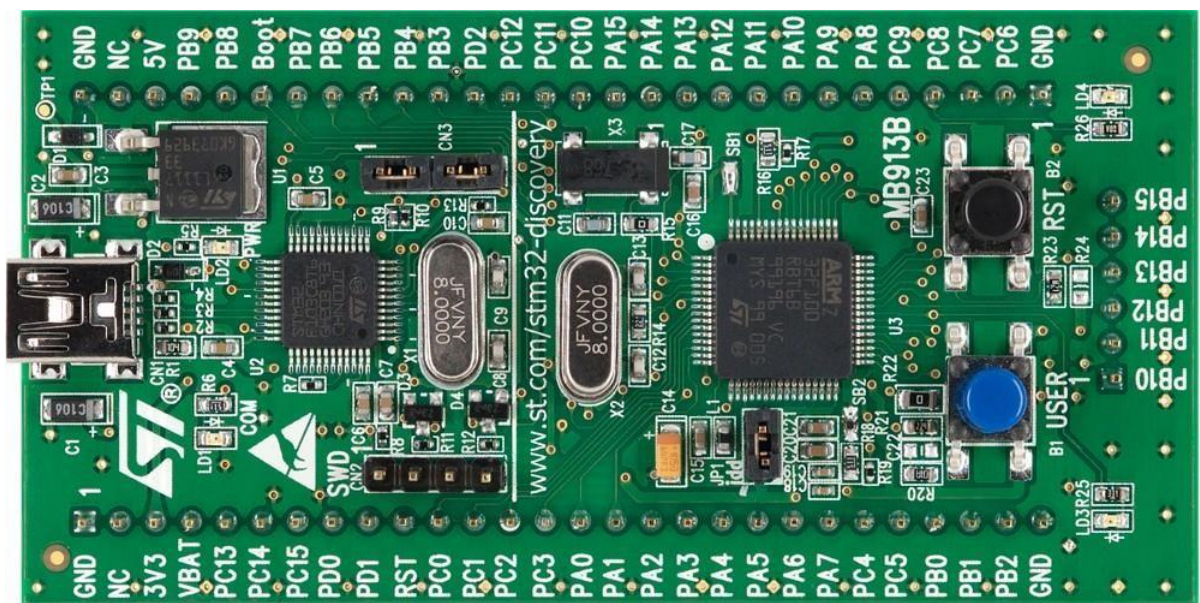


Рисунок 3.6 – Вигляд плати STM32VLDISCOVERY

Плата STM32VLDISCOVERY підтримує I²C на апаратному рівні. Завдяки

цьому протоколу можна використовувати піни PB6 і PB7 для підключення пристроїв Особливості плати STM32VLDISCOVERY:

- вбудований ST-Link з перемикачем режиму вибору для використання комплекту як автономного ST-Link (з роз'ємом SWD для програмування та налагодження);
- вбудовано мікроконтролер STM32F100C4T6B;
- інтерфейси I²C, IrDA, LIN, SPI, UART/USART;
- 8 КБ оперативної пам'яті;
- 32 – бітне ядро Cortex-M3, робоча частота 24 МГц;
- кількість входів/виходів 51;
- периферія DMA, PDR, POR, PVD, PWM, Temp Sensor, WDT;
- призначена для живлення від USB або зовнішнього джерела живлення 5 В або 3,3 В;
- робоча температура -40 ... 85 °С;
- таймер з розширеними функціями;
- 6 таймерів загального призначення;
- 16-канальний 12 бітний АЦП;
- двоканальний 12-розрядний ЦАП [16].

3.5.2 Дисплей LCD

Для виведення текстової інформації різного змісту зручно застосовувати символні дисплеї, беручи за увагу їх поширеність і простоту використання. В основі більшості таких дисплеїв лежить контролер HD44780, який дозволяє підключатися до дисплея за допомогою 4 або 8 лінійної шини даних і 3-х ліній управління. Контролер HD44780 приймає команди та виводить відповідні символи на РК дисплеї.

З доступних на ринку LCD дисплеїв, я обрав простий дисплей LCD2004 компанії Winstar, який відображає по 20 ASCII символів в 4 рядки. На рисунку 3.7 показано цей дисплей.

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 – Зображення дисплею LCD2004

Характеристики дисплея LCD2004:

- розміри 98х60х13мм;
- робоча температура -10...50°C;
- зелена під світка та жовтий колір символів;
- розмір точки 0,54х0,54мм;
- формат 20 х 4;
- інтерфейс HD44780;
- видима область 84 х 31мм;
- живлення 5В.

У таблиці 3.3 визначені всі контакти. Якщо взяти дисплей і повернути його до себе, то контакти будуть розташовані зліва направо, відповідно в таблиці йдуть по збільшенню номера. У колонці контакти в дужках вказано позначення в datasheet [17].

Таблиця 3.3 – Назви контактів дисплею та їх призначення

№	Контакти	Опис використання	Замітки
1	VSS (VSS)	GND.Земля.Живлення мікроконтролером дисплею	0V
2	VDD (VCC)	Напруга живлення для мікроконтролера дисплею	+5V
3	V0 (VEE)	Контраст символів на дисплеї. Підключати краще через потенціометр	від 0v до +5V

4	RS (RS)	Вибір регістру.	
5	RW (R/W)	Перемикання режимів читання/запису	0-читання +5V-запис
6	E	Тактування	
7	D0 (DB0)	Передача даних	Дані
8	D1 (DB1)	Передача даних	Дані
9	D2 (DB2)	Передача даних	Дані
10	D3 (DB3)	Передача даних	Дані
11	D4 (DB4)	Передача даних	Дані
12	D5 (DB5)	Передача даних	Дані
13	D6 (DB6)	Передача даних	Дані
14	D7 (DB7)	Передача даних	Дані
15	A (LED+)	+5V Напруга, підсвітка дисплею, через потенціометр можна регулювати яскравість дисплею	+5V
16	K (LED-)	GND Земля, підсвітка дисплею	0V

На рисунку 3.8 показано порядок всіх контактів та їх назви.

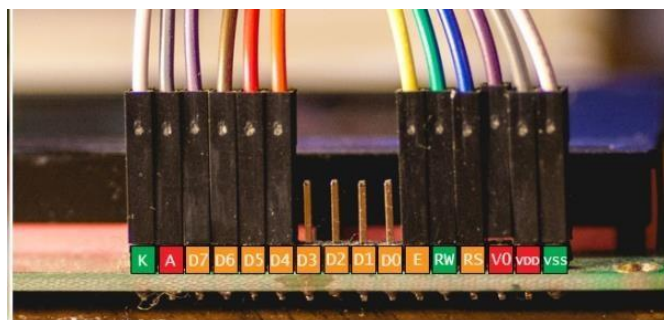


Рисунок 3.8 – Порядок контактів дисплея

3.5.3 Схема перетворювача інтерфейсу

Для керування і внесення початкових параметрів в пам'ять програми мікроконтролера використаємо перетворювач USB to UART на базі CP2102 (рис. 3.9), який дозволяє підключати різні пристрої та плати до комп'ютера або ноутбука, у яких немає COM порту. Він емулює віртуальний COM порт, який в роботі нічим не відрізняється від реального порту. Особливостями його є низька ціна і широке розповсюдження.

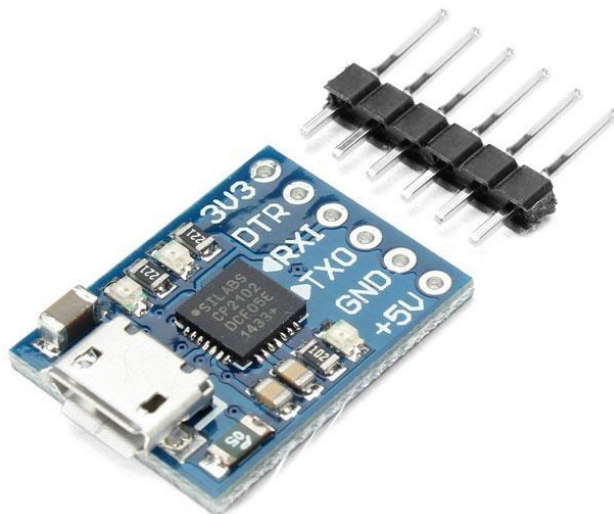


Рисунок 3.9 – Зображення перетворювача на базі мікросхеми CP2102

Характеристики перетворювача:

- робоча напруга від 4 В до 5,25 В;
- на базі мікросхеми CP2102;
- підтримка ОС: Windows XP, Vista, Windows 7, Mac OS, Linux;
- швидкість передачі даних: 300 – 1Mbps;
- 3 індикатори стану роботи;
- вихідна напруга живлення 3,3 і 5 В;
- розміри: 20x3x15;
- маса – 2 грами.

3.5.4 Датчик прискорення і нахилу

Для того, щоб орієнтувати сонячний трекер відносно горизонтальної осі потрібно знати кути його нахилу. Для такої задачі підходить датчик акселерометра, який може також визначати положення в просторі.

Акселерометр - це інструмент, задача якого полягає у вимірюванні проекції повного прискорення тіла, для виміру використовуються три чутливі осі: X, Y і Z [20].

При виборі датчика прискорення, положення і нахилу враховувалась

необхідна для майбутньої системи смуга пропускання. Звичайно аналогові датчики більш чутливі, але вони використовують зовнішній АЦП з подальшою обробкою даних. Цифрові мають достатню для нашого проекту чутливість, невисоку ціну і дуже прості в підключенні. В якості такого датчика був обраний новий цифровий акселерометр LIS2DW12 (рис. 3.10) компанії STMicroelectronics, який потребує мінімум енергії.



Рисунок 3.10 – Зображення модуля акселерометра LIS2DW12

LIS2DW12 – це маленький та малопотужний 3-х осьовий акселерометр з високою роздільною здатністю (14 біт) із діапазоном прискорення до $\pm 16 \text{ g}$, а діапазон вимірювання вибирається із значень: $\pm 2 \text{ g}$, $\pm 4 \text{ g}$, $\pm 8 \text{ g}$ і $\pm 16 \text{ g}$. Підтримуються інтерфейси SPI або I²C у вигляді 16 біт даних.

Акселерометр представляє собою датчик, який вимірює проекції прискорення на три просторові осі. Враховуючи величину прискорення вільного падіння (g) та дані отриманні по трьох осях, визначається орієнтація акселерометра в просторі.

LIS2DW12 відноситься до класу ємнісних акселераторів та володіє дуже низькою смугою пропускання (0,016...1,6 кГц). Він ідеально підходить для вимірювання низькочастотних вібрацій і кута відхилення [28]. Особливості модуля LIS2DW12:

- напруга живлення 1,62 ... 3,6 В;
- мінімальний рівень споживання енергії: 0,05 мкА в режимі очікування, 0,38 мкА в режимі зниженого споживання, 120 мкА при максимальному режимі роботи;

- інтерфейси SPI і I²C;
- визначення вільного падіння;
- можливість вибору роздільної здатності в широкому діапазоні;
- діапазон вимірювання, так як і смуга пропускання, вибирається подачею певної команди;

- рекордно низький рівень шуму 90 мкг/√Гц;
- мінімальна температурна залежність зміщення 0,2mg/°C;
- робоча температура від -40 °C до +80 °C;
- висока ударостійкість до 10000g;

LIS2DW12 випускається в дуже компактному корпусі LGA-12, зображеному на рисунку 3.11.

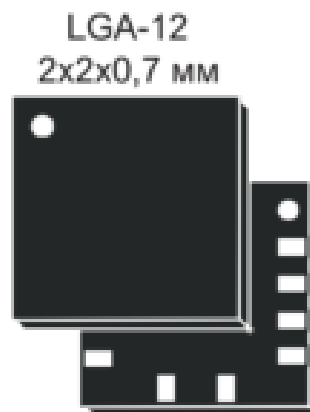


Рисунок 3.11 – Зображення корпусу LGA-12 з його розмірами

3.5.5 Модуль годинника реального часу

Так як годинник реального часу буде експлуатуватись в різних температурних умовах, в тому числі і досить високих температур, то було обрано DS3231, за рахунок впровадження в нього термокомпенсуючого кварцового резонатора, який підтримує температурну стабільність частоти.

DS3231 – це модуль високоточного годинника реального часу (real- time clock, RTC) в який вбудовано I2C інтерфейс і кварцовий резонатор. Годинник має вхід для підключення резервного автономного джерела живлення, що дозволяє

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювати температуру і забезпечувати стабільну роботу при відсутності основного джерела живлення. Зображення даного модуля представлено на рисунку 3.12.



Рисунок 3.12 – Зображення годинника реального часу DS3231

Пристрій включає в себе акумуляторний вхід і підтримує його точний хронометраж, коли основна потужність пристрою переривається. Інтеграція кристала резонатора підвищує довгострокову точність пристрою та зменшує кількість деталей у виробничій лінії. DS3231 доступний у комерційному та промисловому виробництві.

DS3231 підтримує формат інформації про секунди, хвилини, години, день, дату, місяць і рік. Дата наприкінці місяця автоматично коригується на місяці з меншим, ніж 31 день, включаючи виправлення для високосного року. Адреса і дані передаються послідовно через двонаправлену шину I²C. Точна температура компенсації напруги та компараторний монітор контролює стан VCC для виявлення відмов потужності, щоб забезпечити скидання вихідного сигналу, і автоматично перейти до резервного джерела живлення, коли це необхідно.

Основні можливості DS3231:

- висока точність з термокомпенсацією і корекцією ходу;
- точність ± 2 ppm в діапазоні температур від -40 °C до $+ 85$ °C;
- точність ± 3 °C цифрового виходу датчика температури;
- два будильники часу;

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- корекція точності ходу;
- режим швидкої роботи інтерфейсу I²C (400 кГц);
- робоча напруга живлення від 2,3 В до 5,5 В;
- Діапазон робочих температур: комерційний (від 0 °С до +70 °С), промисловий (від -40 °С до +85 °С);
- габаритні розміри: 38x22x14 мм;
- вага модуля годинника – 8 г.

3.5.6 Магнітний компас

Для того, щоб визначити положення трекера щодо вертикальної осі потрібно використати модуль трьохосьового магнітометра GY-271 на мікросхемі HMC5883L. Він досить поширений та володіє достатньою точністю для даного проекту, має інтерфейс підключення I²C. на платі встановлено параметричний стабілізатор на 3,3 В. Зовнішній вигляд даного модуля показано на рисунку 3.13.

При повороті трьохосьового магнітометра в магнітному полі Землі показання на його трьох осях змінюються. Використовуючи ці дані можна визначити напрямок по сторонах світу. Знаючи показання з осей X, Y можливо обчислити кут, який і буде кутом відхилення від напрямку на північ. В такому режимі модуль виконує роль компаса.

Для цієї задачі можна було б використати гіроскоп, але у гіроскопа є дрейф і він не може точно показати напрямок по сторонах світу.

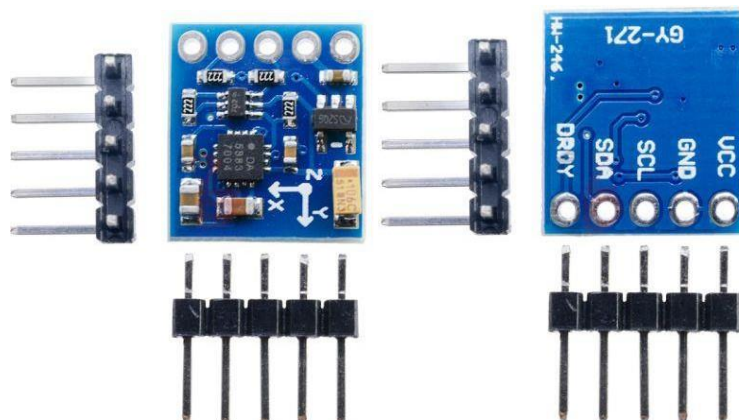


Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд модуля магнітометра GY-271

Основні характеристики GY-271:

- напруга живлення 3,3 В... 5 В;
- розрядність перетворення: 12 біт;
- автоматичне калібрування;
- підтримка інтерфейсу I²C;
- діапазон вимірювань: ± 8 Гаусс;
- точність вимірювання: ± 2 мГаусс;
- споживання струму: в режимі вимірювання – 2,5 мА, в режимі сну – 0,1 мА;
- розмір: 14x13 мм.

3.5.7 Виконавчий механізм повороту панелей

Для того, щоб виконувати позиціонування панелей треба вибрати такий пристрій, який би перетворював електричні сигнали на механічний рух. Для цієї задачі чудово підходять актуатори на базі двигунів постійного струму з редукторами. Вони мають достатню потужність для переміщенні трека та можливість блокування актуатора при сильному вітрі.

Існують різні види актуаторів, які в свою чергу, мають підвиди. Їх конструкція і принцип дії відрізняються один від одного. В залежності від виду енергії, що використовується для створення пересувного руху, виконавчі механізми діляться на: пневматичні, гідравлічні та електричні [20]. Багато з них мають в комплекті електричний двигун, шестерні і спеціальний вал, через який передається обертальний рух іншим компонентам.

Для даного проекту підходять електричні актуатори лінійного типу, в яких є властивість блокування передавального валу, що є великою перевагою. Також сучасні моделі мають збільшену кількість зубців на шестернях, що значно збільшує міцність приводу, точність позиціонування панелей та плавність обертання.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В нашому випадку, так як ми будемо рухати сонячні панелі по двох осях, необхідно використати два подібних актуатора. Для данного проекту підійде модель LAC1500 (рис. 3.14).

Технічні характеристики актуатора LAC1500:

- регульований хід;
- привід Асте (гвинтовий), що самоблокується;
- захист від води і пилу;
- високі точність та антикорозійні якості;
- струм без навантаження $\leq 1\text{A}$;
- струм навантаження $\leq 2\text{A}$;
- статичне навантаження: 5500H ;
- динамічне навантаження: 3500H ;
- вантажопідйомність: 2500H ; швидкість (з навантаженням) 5 мм/с ;
- робоча температура від $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 3.14 – Зображення актуатора LAC1500

Після того, як було вибрано актуатори, потрібно їх підключити до мікроконтролера. Проте напряду на виходи мікроконтролера такі двигуни не підключаються, тому що є обмеження по силі струму на виходах

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

мікроконтролера.

Для вирішення цієї проблеми є декілька способів:

1. Використати силовий транзистор. Але ми зможемо лише керувати швидкістю руху валу, а в нашому випадку потрібно змінювати і напрям.

Використати реле, яке буде таким собі перехідним елементом між МК і двигуном. Воно по команді мікроконтролера буде замикати чи розмикати контакти, тобто керувати подачею струму на двигун. Основним недоліком такого способу є те, що ми не зможемо керувати швидкістю та напрямком обертання валу двигуна.

2. Використати плату розширення для МК (Motor Shield), яка забезпечує роботу двигунів постійного струму.

3. Третій спосіб підходить для нашої цілі. На ринку є досить популярний плата керування двигунами RKP-01A на базі мікросхеми L298N (рис. 3.15).

Дана плата завдяки мікросхемі L298N може керувати відразу двома двигунами постійного струму, що живляться від 5 В до 35 В. Встановлений на основну мікросхему радіатор охолодження дозволяє витримувати струм навантаження до 2А на канал [21].

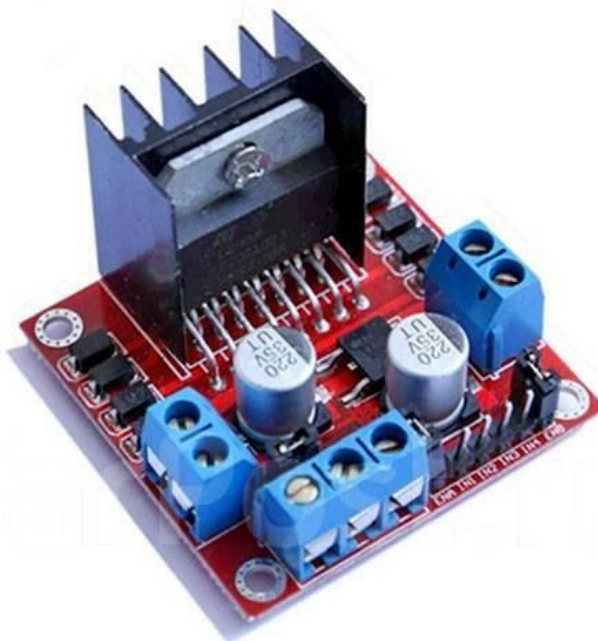


Рисунок 3.15 – Зображення модуля керування двигунами RKP-01A

Характеристика драйвера двигунів RKP-01A на мікросхемі L298N:

- можливість живлення зовнішньої логіки (V_{ss}): +5 В - +7 В;
- вхідна напруга логічної частини (V_d): від 6V до 12V;
- струм навантаження кожної керованої частини (I_o): 2A;
- максимальна споживана потужність: 20 Вт;
- робочий струм зовнішньої логічної частини (I_{ss}): 0 ~ 36mA;
- піковий струм навантаження кожної керованої частини (I_o): 3A;

високий рівень вхідного сигналу (High): $2.3V = V_{in} = V_{ss}$;

- низький рівень вхідного сигналу (Low): $-0.3V = V_{in} = 1.5V$;
- розміри модуля з радіатором L298: 53 x 47 x 27 мм;
- робоча температура навколишнього середовища: від -25 °C до +130 °C;
- вага драйвера моторів RKP-01A: 35 грам.

3.6 Розробка електричної принципової схеми

В якості схеми керування трекером обрано просту, компактну схему з доступними радіокомпонентами (рис. 3.16). Для визначення позиції Сонця при орієнтації за однією віссю використовуються два фоторезистори. Двигун поворотної частини вмикається через комутуючі реле за схемою Н-моста на основі біполярних транзисторів, які комутують струм до 500 мА при напрузі живлення 6-15В. Пристрій на основі цієї схеми працездатний і в темряві та повинен орієнтувати сонячну панель на найбільш яскраве джерело світла.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

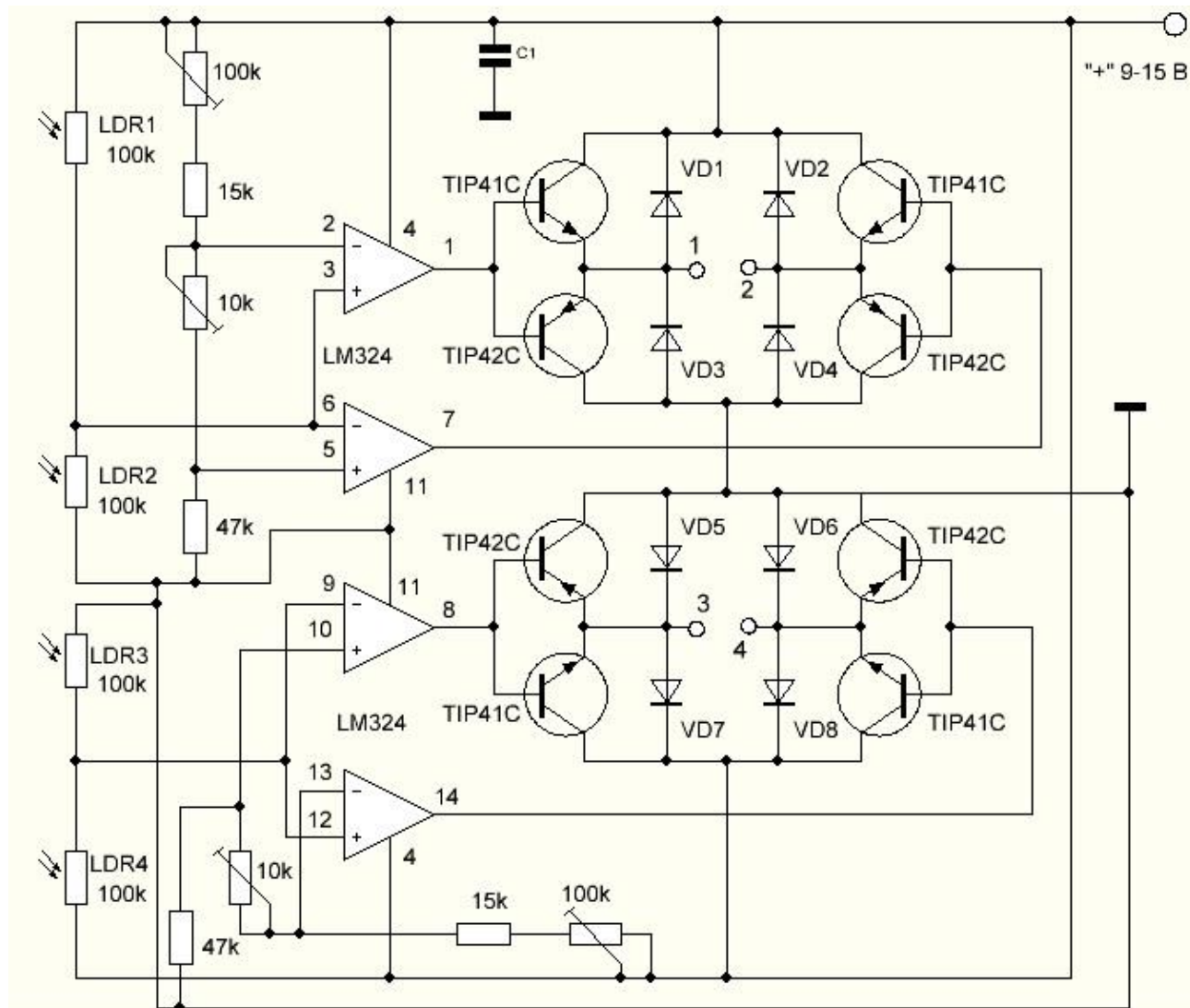


Рисунок 3.16- Схема керування трекером

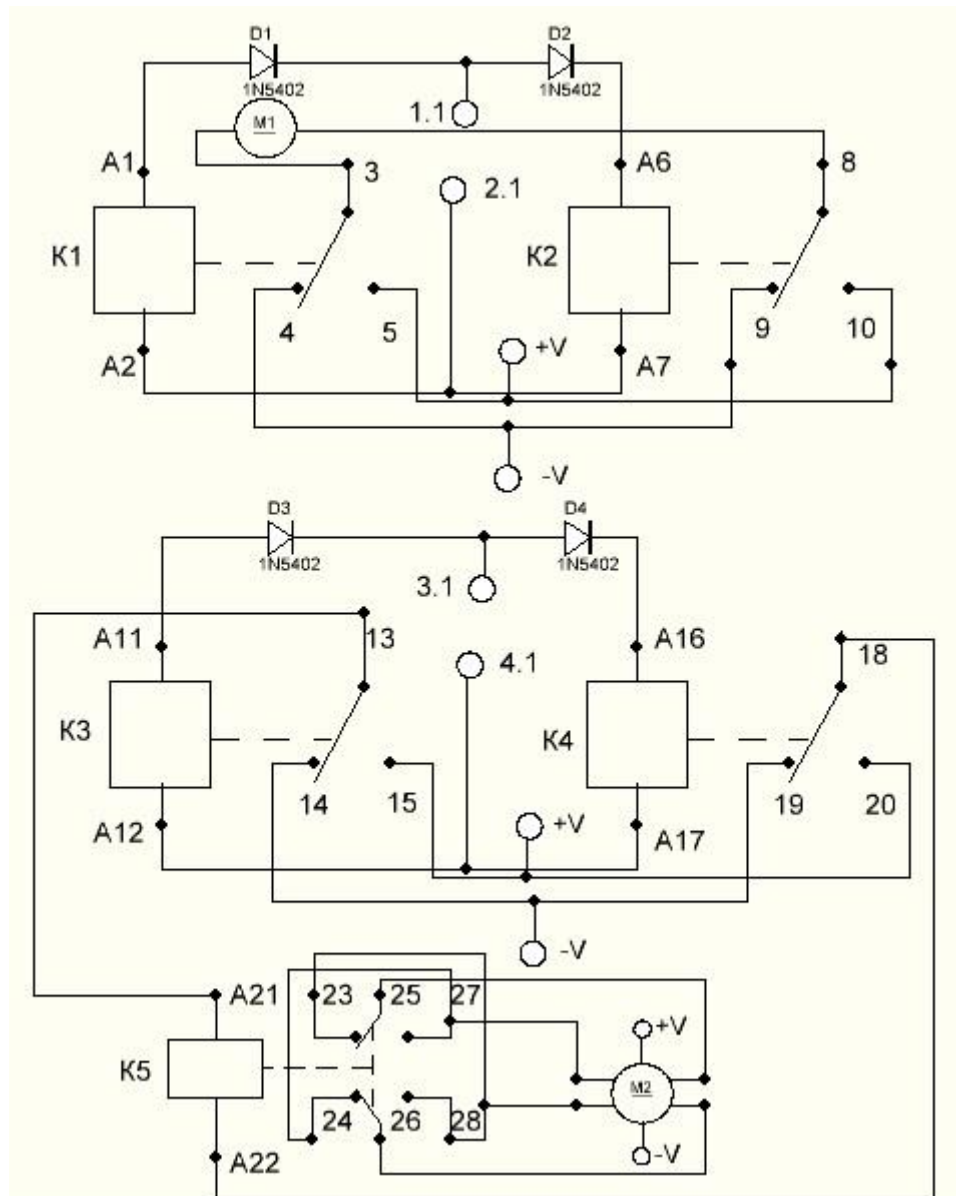


Рисунок 3.17- Схема комутації силової частини

Вхідний каскад однієї частини схеми складається з двох операційних підсилювачів (IC1) та фоторезисторів LDR1(LDR3) і LDR3(LDR4).

Якщо кількість світла, що потрапляє на них однакова, то опори фоторезисторів рівні. Отже при напрузі живлення 12 В в місці з'єднання фоторезисторів LDR1(LDR3), LDR2 (LDR4) буде напруга 6 В. Якщо кількість світла, що потрапляє на один фоторезистор буде більша, ніж на інший фоторезистор, то напруга буде зміщуватись.

Транзистори в схемі працюють в парі, по діагоналі, комутуючи + Ve або

- V_e до вихідних котушок реле, і, в залежності від полярності, змушують двигун обертатись вперед або назад.

Під час зупинки двигуна, він продовжує обертатися, тому що присутній обертальний момент. Внаслідок цього, двигун деякий час генерує потужність, яка може вивести транзистори з ладу. Для захисту транзисторів від зворотної ЕРС в схемі моста використовується 4 діоди.

Обмеження (ліміти) від $+V$ до $0V$ встановлюються чотирма послідовно з'єднаними резисторами і коригуються 2-ма резисторами підлаштування. Якщо напруга вийде за межі цих обмежень, то операційних підсилювач видасть команду на двигун і він постійно буде обертатися.

Резистором підлаштування $10K$ регулюють чутливість, тобто діапазон між лімітами. Резистор підлаштування $100K$ регулює те, наскільки ліміти будуть симетричні щодо $+V / 2$ (точка балансу).

Для налаштування схеми слід дотримуватись наступних кроків:

1. перевірити напругу джерела живлення схем;
2. підключити двигун постійного струму;
3. встановити фоторезистори поруч, щоб на них потрапляла однакова кількість світла;
4. повністю викрутити обидва резистора підлаштування проти годинникової стрілки;
5. подати живлення на схему, двигун повинен закрутитись;
6. повернути резистор підлаштування $100K$ за годинниковою стрілкою до тих пір, поки двигун не зупиниться, відмітити цю позицію;
7. продовжити обертання резистора підлаштування $100K$ за годинниковою стрілкою до тих пір, поки двигун не почне обертатись в інший бік, відмітити цю позицію;
8. розділити кут між двома позиціями навпіл і встановити тум резистор підлаштування (це буде точка балансу);

9. обертати резистор підлаштування 10K за годинниковою стрілкою до тих пір, поки двигун не почне смикатися;

10. трохи повернути положення резистора підлаштування назад (проти годинникової стрілки), щоб двигун зупинився (даний резистор відповідає за чутливість);

11. перевірити коректність роботи схеми, по черзі закриваючи від світла один і другий фоторезистори.

Для монтажу розробленої схеми виконано розведення друкованої плати, яка має вигляд приведений на рис. 3.18. Зовнішній вигляд зібраної схеми приведено на рис. 3.19.

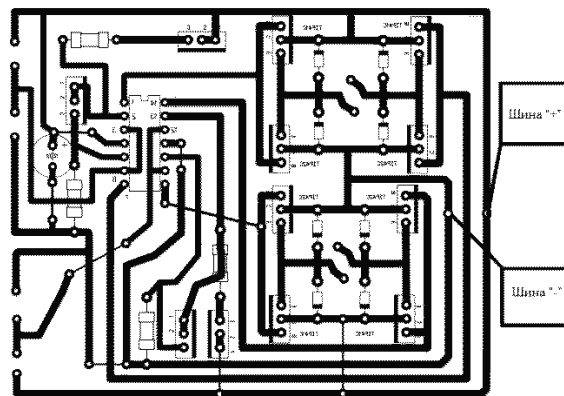


Рисунок 3.18 - Друкована плата схеми керування трекером

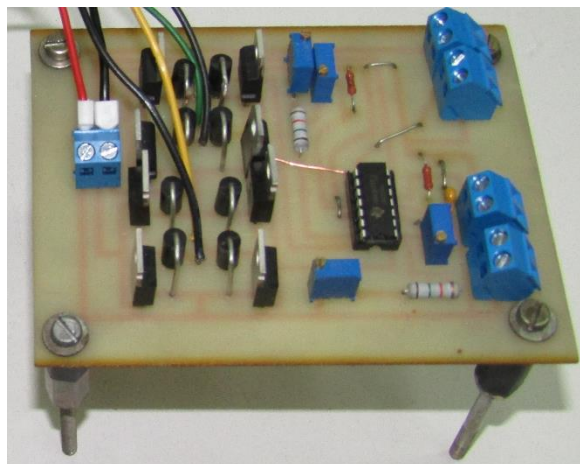


Рисунок 3.19 – Зовнішній вигляд зібраної плати

3.7 Дослідження ефективності

Для початку обчислимо справжній сонячний час для Дніпра.

Розглянемо ЕОТ для кожного місяця з січня по грудень, для розрахунків візьмемо перше число кожного місяця. Ми можемо скористатися формулою, однак розрахунки ЕОТ не залежить від місця застосування і для спрощення розрахунку можна скористатися таблицями, які знаходяться у вільному доступі.

Таблиця 3.4 – Значення ЕОТ в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
ЕОТ	+3,4	+13,6	+12,5	+4,1	-2,9	-2,4	+3,6	+6,3	+0,2	-10,1	-16,4	-11,2

Залежність істинного значення сонячного часу і місцевого часу має вигляд:

$$T_s = Tl - \frac{EOT}{60} - P - LC \quad (3.1)$$

де Tl - місцевий час;

$P = 0$ для місяців з листопада по березень, і $P = 1$ з квітня по жовтень (по скільки ми рахуємо на перше число).

$$LC = (M_D - D_{ст.м})/15 \quad (3.2)$$

де M_D - місцева довгота;

$D_{ст.м}$ - довгота стандартного меридіана.

Для міста Дніпро місцева довгота дорівнює 35,1 східної довготи, тоді отримаємо:

$$LC = 35,1/15 = 2,33^\circ$$

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ		Арк.
							70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Коли відомі всі величини, розрахуємо T_s для кожного місяця:

$$T_{S1} = 12 - \frac{3,4}{60} - 2,33 = 9,613$$

$$T_{S2} = 12 - \frac{13,6}{60} - 2,33 = 9,443$$

$$T_{S3} = 12 - \frac{12,5}{60} - 2,33 = 9,462$$

$$T_{S4} = 12 - \frac{4,1}{60} - 2,33 = 9,602$$

$$T_{S5} = 12 - 1 - \frac{3,4}{60} - 2,33 = 8,613$$

$$T_{S6} = 12 - 1 + \frac{2,9}{60} - 2,33 = 8,718$$

$$T_{S7} = 12 - 1 - \frac{2,4}{60} - 2,33 = 8,71$$

$$T_{S8} = 12 - 1 - \frac{3,6}{60} - 2,33 = 8,61$$

$$T_{S9} = 12 - 1 - \frac{0,2}{60} - 2,33 = 8,667$$

$$T_{S10} = 12 - 1 + \frac{10,1}{60} - 2,33 = 8,838$$

$$T_{S11} = 12 + \frac{16,4}{60} - 2,33 = 9,943$$

$$T_{S12} = 12 + \frac{11,2}{60} - 2,33 = 9,857$$

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Таблиця 3.5 – Значення істинного сонячного часу в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
T _s , год	9,61	9,44	9,46	9,6	9,62	9,63	9,61	9,57	9,67	9,51	9,4	9,48

Тепер нам необхідно розрахувати місцевий годинний кут.

Він знаходиться в лінійній залежності від місцевого T_s - місцевий час, год.

$$\tau = 15(12 - T_s)^\circ \quad (3.3)$$

Таблиця 3.6 – Значення місцевого годинного кута в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
τ°	35,8	38,35	38,07	35,97	50,8	49,23	49,35	50,85	50	47,43	30,9	32,15

$$t_1 = 15 \cdot (12 - T_{s1}) = 35,8$$

$$t_2 = 15 \cdot (12 - T_{s2}) = 38,35$$

$$t_3 = 15 \cdot (12 - T_{s3}) = 38,075$$

$$t_4 = 15 \cdot (12 - T_{s4}) = 35,975$$

$$t_5 = 15 \cdot (12 - T_{s5}) = 50,8$$

$$t_6 = 15 \cdot (12 - T_{s6}) = 49,225$$

$$t_7 = 15 \cdot (12 - T_{s7}) = 49,35$$

$$t_8 = 15 \cdot (12 - T_{s8}) = 50,85$$

$$t_9 = 15 \cdot (12 - T_{S9}) = 50$$

$$t_{10} = 15 \cdot (12 - T_{S10}) = 47,425$$

$$t_{11} = 15 \cdot (12 - T_{S11}) = 30,85$$

$$t_{12} = 15 \cdot (12 - T_{S12}) = 32,15$$

Визначимо кут нахилу сонця. Його можна визначити, використовуючи формулу:

$$\delta = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (81 - d)\right) \quad (3.4)$$

де d - порядковий номер дня в році.

Порядкові номери перших чисел кожного місяця:

$d = 1, 32, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 244, 274, 305, 335$

$$\sigma_1 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_1 - 81)\text{deg}\right) = -23,218$$

$$\sigma_2 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_2 - 81)\text{deg}\right) = -17,918$$

$$\sigma_3 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_3 - 81)\text{deg}\right) = -8,533$$

$$\sigma_4 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_4 - 81)\text{deg}\right) = 4,137$$

$$\sigma_5 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_5 - 81)\text{deg}\right) = 15,2799$$

$$\sigma_6 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_6 - 81)\text{deg}\right) = 22,348$$

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_7 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_7 - 81) \text{deg}\right) = 22,952$$

$$\sigma_8 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_8 - 81) \text{deg}\right) = 16,952$$

$$\sigma_9 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_9 - 81) \text{deg}\right) = 5,978$$

$$\sigma_{10} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_{10} - 81) \text{deg}\right) = -6,351$$

$$\sigma_{11} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_{11} - 81) \text{deg}\right) = -17,218$$

$$\sigma_{12} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_{12} - 81) \text{deg}\right) = -22,945$$

Таблиця 3.7 – Значення кута нахилу сонця в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
δ°	-23,22	-17,9	-8,53	4,14	15,18	22,35	22,95	16,95	5,98	-6,35	-17,21	-22,94

Відповідно до формули, висота сонцестояння h_c залежить від величини схиляння Сонця δ , часового кута τ і широти місцевості θ . Широта місцевості відповідає географічному розташуванню ФМ.

$$x_1 = \sin(\sigma_1 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_1 \text{ deg}) \cdot \cos(t_1 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,206$$

$$h_{c1} = x_1 \cdot \frac{180}{\pi} = 11,791$$

$$x_2 = \sin(\sigma_2 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_2 \text{ deg}) \cdot \cos(t_2 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,271$$

$$hc_2 = x_2 \cdot \frac{180}{\pi} = 15,509$$

$$x_3 = \sin(\sigma_3 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_3 \text{ deg}) \cdot \cos(t_3 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,411$$

$$hc_3 = x_3 \cdot \frac{180}{\pi} = 23,528$$

$$x_4 = \sin(\sigma_4 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_4 \text{ deg}) \cdot \cos(t_4 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,594$$

$$hc_4 = x_4 \cdot \frac{180}{\pi} = 34,017$$

$$x_5 = \sin(\sigma_5 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_5 \text{ deg}) \cdot \cos(t_5 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,604$$

$$hc_5 = x_5 \cdot \frac{180}{\pi} = 34,595$$

$$x_6 = \sin(\sigma_6 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_6 \text{ deg}) \cdot \cos(t_6 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,687$$

$$hc_6 = x_6 \cdot \frac{180}{\pi} = 39,348$$

$$x_7 = \sin(\sigma_7 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_7 \text{ deg}) \cdot \cos(t_7 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,691$$

$$hc_7 = x_7 \cdot \frac{180}{\pi} = 39,602$$

$$x_8 = \sin(\sigma_8 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_8 \text{ deg}) \cdot \cos(t_8 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,621$$

$$hc_8 = x_8 \cdot \frac{180}{\pi} = 35,568$$

$$x_9 = \sin(\sigma_9 \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_9 \text{ deg}) \cdot \cos(t_9 \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,505$$

$$hc_9 = x_9 \cdot \frac{180}{\pi} = 28,944$$

$$x_{10} = \sin(\sigma_{10} \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_{10} \text{ deg}) \cdot \cos(t_{10} \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,368$$

$$hc_{10} = x_{10} \cdot \frac{180}{\pi} = 21,068$$

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{11} = \sin(\sigma_{11} \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_{11} \text{ deg}) \cdot \cos(t_{11} \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,329$$

$$h_{c11} = x_{11} \cdot \frac{180}{\pi} = 18,835$$

$$x_{12} = \sin(\sigma_{12} \text{ deg}) \cdot \sin(48 \text{ deg}) + \cos(\sigma_{12} \text{ deg}) \cdot \cos(t_{12} \text{ deg}) \cos(48 \text{ deg}) = 0,232$$

$$h_{c12} = x_{12} \cdot \frac{180}{\pi} = 13,292$$

$$h_c = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \theta + \cos \delta \cdot \cos \tau \cos \theta) \quad (3.5)$$

Таблиця 3.8 – **Значення висоти сонцестояння в залежності від місяця**

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
h_c	11,79	15,51	23,53	34,02	34,6	39,35	39,6	35,57	28,94	21,06	18,84	13,29

Тепер розрахуємо K_{am} - коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти променю.

$$K_{am} = 1,1254 - \frac{0,1366}{\sin(h_c)} \quad (3.6)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$K_{am1} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_1} \right) = 0,462$$

$$K_{am2} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_2} \right) = 0,621$$

$$K_{am3} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_3} \right) = 0,793$$

$$K_{am4} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_4} \right) = 0,895$$

$$K_{am5} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_5} \right) = 0,899$$

$$K_{am6} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_6} \right) = 0,926$$

$$K_{am7} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_7} \right) = 0,928$$

$$K_{am8} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_8} \right) = 0,905$$

$$K_{am9} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_9} \right) = 0,855$$

$$K_{am10} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_{10}} \right) = 0,754$$

$$K_{am11} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_{11}} \right) = 0,71$$

$$K_{am12} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_{12}} \right) = 0,537$$

Таблиця 3.9 – Значення коефіцієнта поправки на повітряну масу в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
K_{am}	0,46	0,62	0,79	0,895	0,899	0,93	0,93	0,91	0,86	0,75	0,71	0,54

При використанні двухосной системи контролю поверхню сонячної панелі спрямована на Сонце, отже, кут β між нормаллю поверхні і сонячними променями дорівнює 0, тоді, відповідно до формули:

$$S_r = S_{r\max} \cdot K_{am} \quad (3.7)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$S_{rd1} = S_{r\max} \cdot K_{am1} = 426,989$$

$$S_{rd2} = S_{r\max} \cdot K_{am2} = 574,186$$

$$S_{rd3} = S_{r\max} \cdot K_{am3} = 733,293$$

$$S_{rd4} = S_{r\max} \cdot K_{am4} = 828,172$$

$$S_{rd5} = S_{r\max} \cdot K_{am5} = 831,728$$

$$S_{rd6} = S_{r\max} \cdot K_{am6} = 857,005$$

$$S_{rd7} = S_{r\max} \cdot K_{am7} = 858,184$$

$$S_{rd8} = S_{r\max} \cdot K_{am8} = 837,453$$

$$S_{rd9} = S_{r\max} \cdot K_{am9} = 790,867$$

$$S_{rd10} = S_{r\max} \cdot K_{am10} = 697,371$$

$$S_{rd11} = S_{r\max} \cdot K_{am11} = 656,632$$

$$S_{rd12} = S_{r\max} \cdot K_{am12} = 496,318$$

Таблиця 3.10 – Значення потужності при використанні двухосной системи орієнтування в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
S_{rd}	426	574	733	828	831	857	858	837	790	697	657	496

Відповідно до формули для одноосной системи орієнтування:

$$S_{rO1} = S_{rd1} \cdot (\cos((48 - hc_1) \deg)) = 344,522$$

$$S_{rO2} = S_{rd2} \cdot (\cos((48 - hc_2) \deg)) = 484,311$$

$$S_{rO3} = S_{rd3} \cdot (\cos((48 - hc_3) \deg)) = 667,417$$

$$S_{rO4} = S_{rd4} \cdot (\cos((48 - hc_4) \deg)) = 803,631$$

$$S_{rO5} = S_{rd5} \cdot (\cos((48 - hc_5) \deg)) = 809,069$$

$$S_{rO6} = S_{rd6} \cdot (\cos((48 - hc_6) \deg)) = 847,251$$

$$S_{rO7} = S_{rd7} \cdot (\cos((48 - hc_7) \deg)) = 848,982$$

$$S_{rO8} = S_{rd8} \cdot (\cos((48 - hc_8) \deg)) = 817,816$$

$$S_{rO9} = S_{rd9} \cdot (\cos((48 - hc_9) \deg)) = 747,526$$

$$S_{rO10} = S_{rd10} \cdot (\cos((48 - hc_{10}) \deg)) = 621,74$$

$$S_{rO11} = S_{rd11} \cdot (\cos((48 - hc_{11}) \deg)) = 573,386$$

$$S_{rO12} = S_{rd12} \cdot (\cos((48 - hc_{12}) \deg)) = 408,003$$

Таблиця 3.11 – Значення потужності при використанні одноосной системи орієнтування в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
S_{rO}	344	484	667	804	809	847	849	818	748	622	573	408

Для постійно встановленої панелі:

$$S_r = S_{r\max} \cdot K_{am} \cdot (\cos(v - h_c)) \cdot \cos(90 - \tau) \quad (3.8)$$

$$S_r B_1 = S_r O_1 \cdot \cos((90 - t_1) \deg) = 201,531$$

$$S_r B_2 = S_r O_2 \cdot \cos((90 - t_2) \deg) = 300,497$$

$$S_r B_3 = S_r O_3 \cdot \cos((90 - t_3) \deg) = 411,591$$

$$S_r B_4 = S_r O_4 \cdot \cos((90 - t_4) \deg) = 472,078$$

$$S_r B_5 = S_r O_5 \cdot \cos((90 - t_5) \deg) = 526,983$$

$$S_r B_6 = S_r O_6 \cdot \cos((90 - t_6) \deg) = 641,607$$

$$S_r B_7 = S_r O_7 \cdot \cos((90 - t_7) \deg) = 644,125$$

$$S_r B_8 = S_r O_8 \cdot \cos((90 - t_8) \deg) = 634,213$$

$$S_r B_9 = S_r O_9 \cdot \cos((90 - t_9) \deg) = 572,638$$

$$S_r B_{10} = S_r O_{10} \cdot \cos((90 - t_{10}) \deg) = 457,845$$

$$S_r B_{11} = S_r O_{11} \cdot \cos((90 - t_{11}) \deg) = 294,028$$

$$S_r B_{12} = S_r O_{12} \cdot \cos((90 - t_{12}) \deg) = 217,114$$

Таблиця 3.12 – Значення потужності без системи орієнтування в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
--------	--------	-------	----------	---------	---------	---------	--------	---------	----------	---------	----------	---------

$S_{r\bar{o}}$	202	300	411	472	626	641	644	634	573	458	294	217
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Розглянемо середній місячний рівень сонячної радіації (сонячна постійна) в Дніпрі (кВтг/м²/день). Це середній показник за останні 22 роки (За даними NASA) [22].

Таблиця 3.13 – Значення сонячної інсоляції в залежності від місяця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Всього
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36

Порівняти розрахункові показники з показниками NASA безпосередньо неможливо, так як розрахункові дані для конкретного часу в конкретний день, в той час як інформація NASA в середньому за місяць, але ми можемо побачити чітка відповідність і там, і там, рівень радіації постійно зростає, досягає максимального в липні і далі падає до кінця року.

Для порівняння ефективності всіх видів систем орієнтування створимо візуалізацію розрахунків (рис.3.20).

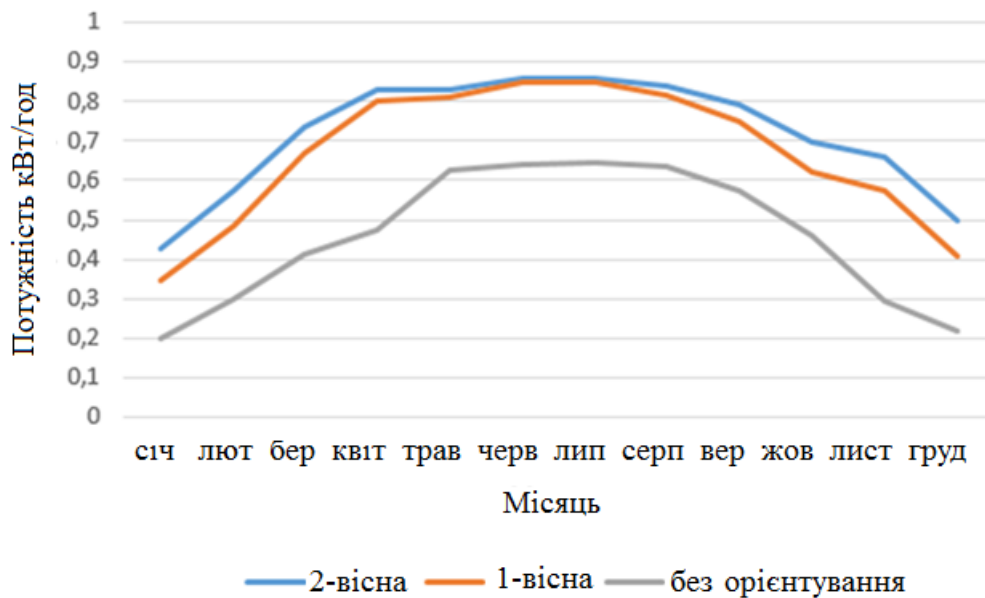


Рисунок 3.20 – Графік максимальної потужності на 1 м² в залежності від дати

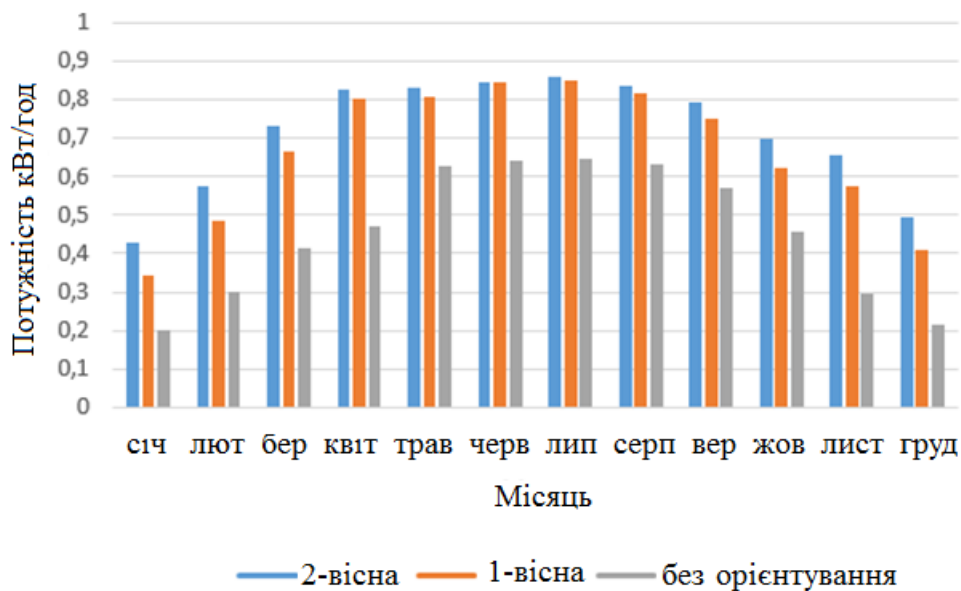


Рисунок 3.21 – Гістограма максимальної потужності на 1 м² в залежності від дати

За графіками ми можемо побачити, що системи орієнтування максимально себе реалізують в холодну пору року. Різниці між одноосной і двухосной системами в літню пору практично немає, проте з жовтня по березень двовісна система орієнтування дає вигрaш до 30 відсотків у порівнянні з одновісною.

Сумарно за рік одноосьова система орієнтування дає приріст приблизно 51 відсоток у порівнянні з панелями без орієнтування, двовісна - 63 відсотки.

В економічній частині система орієнтування в загальній сумі займає приблизно чверть вартості в порівнянні з панелями без системи орієнтування (≈ 8000 грн / 32800 грн), витрати на її обслуговування мінімальні. При прирості продуктивності в 53 відсотка її використання однозначно обгрунтовано. За рік одноосьова система орієнтування дає приріст приблизно 51 відсоток у порівнянні з панелями без орієнтування, двовісна - 63 відсотки.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі проаналізованої в даній дипломній роботі інформації можна зробити висновок про необхідність подальших наукових досліджень та розробок методів та пристроїв використання альтернативної енергії. Даний процес був та залишається актуальним навіть на сьогодні, в часи високого технологічного розвитку у світі альтернативної енергії. Розглянуте питання впровадження відновлювальних джерел енергії в Україні дає можливість зменшити використання традиційних джерел енергії таких як газ, вугілля, нафта.

У даній роботі розглянуто використання найбільш ефективних та економічно обґрунтованих способів підвищення продуктивності сонячних панелей, кращим з яких визначено спосіб орієнтування батарей за допомогою сонячних трекерів.

Для міста Дніпро було розраховане що найбільш ефективною є двовісна система орієнтування, яка є більш економічно обґрунтованою для використання ніж батареї без систем орієнтування або з одноосной системою. Розрахунок показав, що вигравш в потужності становить до 63 відсотків.

Конструкція є відносно недорогою і надійною за рахунок вибору запропонованих елементів і дозволяє за допомогою наведеного алгоритму досить точно орієнтувати панелі на сонці по двох осях - по куту місця і по азимуту.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/uk/publish/article>.
2. Лежнева Л.И. Потенціал розвитку нетрадиційних джерел енергії в Україні як фактор забезпечення енергетичної безпеки / Л. И. Лежнева // Культура народів Причорномор'я. – 2009. – № 155. – С. 52-54.
3. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець. – Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. –109 с.
4. Карта сонячної активності України [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.solar-battery.com.ua/karta-solnechnoy-aktivnosti-v-ukraine/>
5. Вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій потужністю більше 150 кВт щодо приєднання до зовнішніх електричних мереж // Жовтень 2011 року. – С. 1- 42.
6. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
7. IEC TR 61000-3-6: EMC limits. Limitation of emissions of harmonic currents for equipment connected to medium and high voltage power supply systems. (February 2008).
8. IEC TR 61000-3-7: EMC-limits. Limitation of voltage fluctuations and flicker for equipment connected to medium and high voltage power supply systems. (February 2008).
9. IEC 61400-21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines.
10. ДСТУ EN 50160:2008. Характеристики напруги електропостачання у розподільчих мережах загальної призначеності.
11. Принцип работы магнитометра. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://novotest.ua/stati/kak-rabotaet-magnitometr.html>
12. Inter-Integrated Circuit. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://electrosome.com/i2c/#Disadvantages>

13. Advantages and disadvantages of I2C. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-I2C.html>

14. Интерфейс RS 232 – стандарт для стыковки оборудования. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://telesys.by/rs-232/>

15. RS-232C. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/RS-232C>

16. STM32VLDISCOVERY user manual. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://prochip.com.ua/image/data/Products/Semiconductors/IC/microcontrollers/evaluation-boards/data/stm32f100-user-manual.pdf>

17. Arduino и символьный LCD-дисплей. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://compblog.vlukyanov.com/p=570>

18. В.Гавриков. LIS2DW12: новый акселерометр с ультранизким энергопотреблением // Новости электроники – 2017 - №3 – статья 4.

19. DS3231 arduino подключение — часы реального времени. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://usilitelstabo.ru/ds3231-arduino-podklyuchenie.html>

20. Исполнительный механизм. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://kipiavp.ru/pribori/ispolnitelnyy-mehanizm.html>

21. Драйвер Моторов Двухканальный L298N. [Электронный ресурс]– Режим доступа до ресурсу: <https://delvik.ru/raznoe/l298n-datasheet-na-russkom-drajver-motorov-dvuxkanalnyj-l298n-dual-dc-motor-driver-rkp-mdl298-01a-v2-drajvery-dvigatelyj.html>

22. Атмосфера [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.atmosfera.ua/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine/>

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		