

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

На здобуття першого (бакалаврського) ступеня вищої освіти

Розробка поворотної системи для сонячних панелей

Назва теми

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

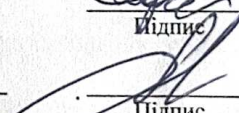
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент(ка) 4 курсу група ЕМ-21-1
Шифр


Підпис

Андрій СМУТКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник доктор технічних наук, професор
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Олег ПОЛЩУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер _____
Посада


Підпис

Юридик С.І.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри МАЕЕС
Назва


Підпис


Віталій НЕЙМАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

2.06.2025
Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

2 . 06 . 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Смутко Андрій Романович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка поворотної системи для сонячних панелей

Керівник роботи Полішук О.С., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи умови розташування сонячних панелей

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1 Огляд та аналіз альтернативних джерел енергії та устаткування для перетворення сонячної енергії. 2 Розробка схеми поворотної системи для сонячних панелей. 3 Розрахунок елементів конструкції поворотної системи для сонячних панелей. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
ДО1. Структура процесу вироблення енергії за допомогою сонячних панелей (А1). ДО2 конструкції поворотних систем (А1). С1 Принцип роботи поворотної системи для сонячних панелей (А1). РР1 Визначення зенітного кута для панелей на основі інсоляції (А1). РР2 розробка кінематичної схеми поворотної системи графоаналітичним методом

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдан прийм


7. Дата видачі завдання _____


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1. Огляд та аналіз джерел за темою кваліфікаційної роботи	березень 2025 р	
2. Розробка схеми поворотної системи для сонячних панелей	Квітень-травень 2025	
3. Розрахунок елементів конструкції поворотної системи для сонячних панелей	Квітень-червень 2025	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічних документів кваліфікаційної роботи	Березень-червень 2025	

Студент(ка)

Керівник роботи


Підпис


Підпис


Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Смутка Андрія Романовича

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Розробка поворотної системи для сонячних панелей

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг кваліфікаційної роботи: креслень 5 арк, сторінок записки 58

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

Кваліфікаційна робота присвячена розробці поворотної системи, що надає змогу використовувати сонячні панелі в таких місцях як стіни будинків, та будь-які вертикальні поверхні, які звернені хоча б частково у південному напрямку. В 1 розділі проведено огляд та аналіз альтернативних джерел енергії та устаткування для перетворення сонячної енергії. В 2 розділі наведено процес розробки поворотної системи для сонячних панелей, В 3 розділі виконано розрахунок елементів конструкції поворотної системи для сонячних панелей.

Підпис студента 

"16" Червня 2025 р.


РІШЕННЯ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ:

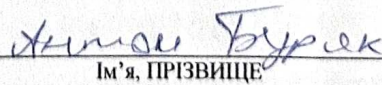
Протокол 3 від 19 06 2025 р.

Оцінка роботи ЕК 5,0 / A

Рекомендації ЕК впровадження в навчальний процес

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 
Підпис


Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

"19" 06 2025 р.

	стор.
Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз альтернативних джерел енергії та устаткування для перетворення сонячної енергії	8
1.1 Аналіз можливостей застосування сонячного випромінювання та відомих технологій перетворення сонячної енергії	8
1.2 Конструкції систем сонячних панелей для отримання енергії ...	19
1.3 Класифікація та принципи вибору поворотних систем	20
1.4 Висновки до розділу	24
2 Розробка схеми поворотної системи для сонячних панелей	25
2.1 Аналіз енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в земних умовах	25
2.2 Складові слідкуючої поворотної системи	27
2.3 Кінематичний синтез механізму поворотної системи	31
2.4 Висновки по розділу	36
3 Розрахунок елементів конструкції поворотної системи для сонячних панелей	37
3.1 Розробка системи орієнтації сонячних панелей	37
3.2 Визначення зенітних кутів повороту сонячної панелі	39
3.3 Розрахунок елементів конструкції поворотної системи, що сприймають вітрові навантаження	41
3.4 Розрахунок дії навантажень на раму з підкосом	46

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ		
					Розробка поворотної системи для сонячних панелей		
					Пояснювальна записка		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Разроб.		Снутко А.Р.			н		
Перев.		Поліщук О.С.			Аркуш	4	Аркушів 58
Т. Контр.					ХНУ, ЕМ-21-1		
Н. Контр.		Пундик С.І.					
Затверд.		Неймак В.С.					

3.5 Розрахунок болтів	49
3.6 Складання та огляд експериментальної установки	50
3.6 Висновки до розділу	53
Висновки.....	54
Перелік джерел посилань.....	56

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Вступ

Актуальність теми. Сонячна електроенергетика належить до найбільш швидкозростаючих секторів альтернативної енергетики, що активно розвиваються у світі. Великий потенціал піднесення сонячної енергетики зумовлений необхідністю забезпечення національної та екологічної безпеки і також стійким подорожчанням традиційних джерел енергії. Сучасна сонячна енергетика ділиться на дві галузі – сонячна теплоенергетика та сонячна електроенергетика. Широке застосування набуло явище фотоефекту, яке реалізовано за допомогою конструкцій – сонячних панелей.

Встановлено, що для більш дієвого перетворення енергії потрібно, щоб кут нахилу сонячних променів був перпендикулярним до поверхні сонячних панелей, що мінімізує втрати, спричинені відбиттям сонячного проміння, а сам напівпровідниковий матеріал має мати найнижчу температуру. Одним із методів, що дозволяє направляти сонячні панелі до сонячного проміння, є конструкція слідкуючої трекерної системи, яка дозволяє мінімізувати втрати енергії через відбиття сонячних променів.

Для створення слідкуючої трекерної системи основними проблемами є навантаження на конструкцію та достатній кут повороту панелей. Основний розрахунок виконується на основі даних про вітрові навантаження та інші навантаження на опори. Адже крім ефективності системи необхідно забезпечити й стійкість конструкції до впливів навколишнього середовища. І тому актуальною задачею залишається баланс між створенням ефективної системи та простою і надійною конструкцією, яка буде давати максимально можливий економічний ефект. Адже головним завданням слідкуючої трекерної системи є збільшення продуктивності у виробітку електроенергії.

Метою роботи є розробка поворотної системи для сонячних панелей.

Для досягнення цієї мети сформовані наступні задачі:

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- проаналізувати енергетичні можливості сонячного випромінювання та наявних технологій перетворення сонячної енергії;
- огляд енергетичної ефективності фотоелектричних перетворювачів та методів підвищення їх продуктивності;
- розглянути типові конструкції сонячних систем для отримання електроенергії;
- виконати кінематичний синтез механізму поворотної системи;
- розробити конструкцію поворотної системи та складові елементи поворотної системи;
- розрахувати елементи конструкції.

Розроблена конструкція поворотної системи має надати змогу використовувати сонячні панелі в таких місцях як стіни будинків, та будь-які вертикальні поверхні, які звернені хоча б частково у південному напрямку. Це дозволяє ефективніше застосовувати освітлені ділянки та заощаджує корисні площі землі, що зокрема впливає на ціну системи. Адже зазвичай сонячні електростанції займають велику територію, яка майже не використовується.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз альтернативних джерел енергії та устаткування для перетворення сонячної енергії

1.1 Аналіз можливостей застосування сонячного випромінювання та відомих технологій перетворення сонячної енергії

Прогнози експертів світового ринку стосовно щорічного зростання на 10-15% споживання енергоресурсів у сукупності із помітним подорожчанням ціни енергоресурсів говорять і про те, що ХХІ-те століття стає епохою енергозбереження та енергоощадних технологій, що дають змогу не тільки заощаджувати природні ресурси і забезпечувати енергетичну автономію і стабільність, але й дозволяють значно зменшити негативний вплив індустріалізації на довкілля та його екосистеми. Підходячи до межі вичерпання природних енергетичних ресурсів людство почало задумуватися над використанніям відновлюваних джерел енергії з метою забезпечення стабільності розвитку світової економіки та уникнення енергетичної кризи, передбачуваної у найближчі 50-70 років, коли природні запаси вуглеводів у світі вичерпаються.

До нетрадиційних поновлюваних джерел енергії зараховують гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, гази з біомаси, рідке біопаливо та відновлювані муніципальні відходи, а також теплову енергію, що «утворюється» завдяки тепловим насосам, торф, шахтний метан та вторинні джерела енергії, такі як: скидне тепло, промислові відходи, тиск доменного газу та природного газу під час його транспортування.

Одним з багатообіцяючих напрямів відновлюваних джерел енергії, що останніми роками надзвичайно активно впроваджуються у світову промисловість і побут - є сонячна енергетика. [1]. Завдяки «зеленим»

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологіям сонячні енергетичні системи та пристрої дають змогу здійснювати ефективне виробництво електричної й теплової енергії, завдяки природним, майже невичерпним можливостям світлового випромінювання Сонця з найменшим впливом на екологічний стан довкілля. Розробки та промислова продукція в цій галузі на сьогодні дуже активно розвиваються в таких країнах, як Німеччина, США, Великобританія, Японія, Корея та Китай і становлять вагомий відсоток енергетичного виробництва в світі [1, 2]. Зважаючи на останні події в секторі ядерної енергетики - техногенну катастрофу в Японії на АЕС Фукусіма, майже всі світові країни ухвалюють програми скорочення ядерних потужностей і надають перевагу альтернативним джерелам. Україна на цьому тлі також видаються дуже перспективними ринками на найближчі 30-50 років для «зелених» технологій, ключове місце в яких займе сонячна енергетика [5].

Сучасна сонячна енергетика поділяється на дві галузі:

- сонячна теплоенергетика [1, 4], що передбачає застосування теплового випромінювання енергії прямо від сонця для нагрівання теплоносія та подальшої подачі його на об'єкти обігріву (пристрої, які використовуються при цьому називають сонячними тепловими колекторами, як носій у них застосовується здебільшого вода);

- фотовольтаїка (photovoltaics) [1-6] - передбачає перетворення спектрального випромінювання сонця безпосередньо в електричну енергію,

- шляхом використання внутрішнього фотоефекту в напівпровідникових фотоелектричних перетворювачах (ФЕП) та їхніх конструкціях - сонячних батарей та модулів з великою активною площею.

Як матеріал ФЕП застосовується здебільшого кремній Si, з огляду на його широку поширеність в природі та найбільш придатні техніко-економічні показники для процесу фотоелектричного перетворення.

Інша галузь є найцікавішою та поширеною, як з огляду на здобуття електроенергії - найзагальнішого виду енергії соціуму в ХХІ ст., так і з

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

огляду на простоту процесу, надійність, технологічність та гнучкість операцій одержання електроенергії від сонячного випромінювання.

Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) [3] - напівпровідникові фотоелементи, призначені для перетворення світлового випромінювання у видимому та близькому інфрачервоному спектральному діапазоні в електричний струм за допомогою явища внутрішнього фотоефекту. ФЕП виконують перетворення енергії за схемою: енергія оптичного випромінювання — електрична енергія. Основною характеристикою ФЕП є ефективність фотоелектричного перетворення або коефіцієнт корисної дії (ККД), котрий для наявних на сьогоднішній день технологічних промислових ФЕП лежить в межах від 7 % до 18 % [1-7], а в лабораторних розробках досягає величини 39-43% [4, 8].

Сонячна батарея чи модуль - деяка кількість окремих комірок ФЕП, що фізично з'єднані в одній конструкції електрично об'єднані для здобуття встановленого рівня електричної потужності зі сталими рівнями робочих струму та напруги.

До переваг сонячних фотоенергетичних систем можна зарахувати:

- наявність та невичерпність сонячного випромінювання як джерела енергії;
- теоретично цілковита екологічна безпека для довкілля (існує незначна ймовірність нагрівання атмосфери над фотоелектростанцією);
- економічність процесу використання ФЕП;
- мінімальний рівень планового технічного обслуговування та висока надійність (біля 25-50 років для якісних фотоелементів, зі втратою по потужності до 80% від початкової).

Попри переваги, сонячних фотоелектричних систем, вони теж мають недоліки:

- залежність від погоди, пори доби та пори року, й як наслідок потреба накопичення енергії;

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- порівняно велика ціна конструкції на сьогодні (до 3-5\$/1Вт потужності всієї системи), але цей показник постійно знижується, враховуючи широке впровадження ФЕП у сьогоднішні. Зокрема аукціони, на яких приватні фірми змагаються, щоб постачати електроенергію, б'ють все нові рекорди з дешевизни сонячної електроенергії. Ці зниження цін починаються з січня 2016 року, з контрактів на виробництво електроенергії за ціною \$64 USD за мегават в Індії, потім в серпні встановлено нову найнижчу планку вартістю \$29,10 USD за мегават в Чілі. Це рекордно низькі ціни на електроенергію — приблизно половина конкурентної ціни на вугільну енергію;

- потреба періодичного очищення поверхні від пилу та атмосферних опадів.

Хоча існує певна низка недоліків, переваги від процесу здобування сонячної електроенергії набагато більші і вони мають більш якісний та кількісний характер, що було оцінено світовими виробниками сучасних технологій та оптоелектроніки. Нині у світі існує близько 700 компаній виробників сонячних панелей для промислового та побутового секторів.

Історично перші фотоелектричні перетворювачі були розроблені ще в 1883 р. електриком з Нью-Йорка американцем Чарльзом Фріттсом, який виготовив фотоелементи з селену, що перетворювали світлове випромінювання у видимому спектрі в електрику і мали ККД 1-2% [1]. На початку 50-х років ХХ століття було винайдено метод Чохральського [4], що й зараз використовується для вирощування кристалічного кремнію. У 1954 р. в лабораторії компанії "Bell Telephone" синтезували силіконовий фотоелектричний елемент з ККД 4%, надалі ефективність сягнула 11% [8]. У 1958 р. невеликі (менше 1 Вт) фотоелектричні батареї забезпечували електроенергією радіопередавач американського космічного супутника "Авангард". Надалі, космічні дослідження відіграли важливу роль у розвитку фотоелементів.

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У нинішньому світі найпоширенішим є спосіб виробництва кремнію з використанням процесу і реактора Сіменса (Siemens-Reactor) [4]. Сіменс-процес [4] - це процес хімічного осадження полікремнію з термічної газової фази (chemical vapour deposition, CVD). У цьому процесі U-подібні зливки полікремнію здобувають водневим відновленням трихлорсиланів при високій температурі $T=2500-3000^{\circ}\text{C}$. При цьому полікремній осідає на травленні стрижні розміром $2000 \times 100 \text{ мм}$ масою до 200кг, що розміщені у Сіменс-реакторі куполоподібної форми. Такі зливки нарізаються на пластини з товщиною 100-300 мкм, до котрих в подальшому технологічному процесі приєднують електричні провідники. Так формуються одиничні комірки - ФЕП, з яких в подальшому комбінуються сонячні панелі. Вихідною сировиною для виробництва полікристалічного кремнію є діоксид кремнію (кремнезем). Кремнезем широко поширений у природі у вигляді піску, кварцу та глини. У 2008 р. різні модифікації Сіменс-процесу застосовувалися більш ніж на 90% діючих потужностей виробництва полікремнію у світі [4].

У деяких працях [1-4, 7-10] повідомляється, що в окремих випадках в лабораторних умовах отримані сонячні елементи з ефективністю від 40.7 до 43% [10]. Одні з найкращих результатів продуктивності фотоелектричного перетворення з ККД =42,6% показують ФЕП на основі гетероструктур GaAs (галій арсенід) з оптичними концентраторами на лінзах Френеля та функціонують у спектральному діапазоні 0,55–3,7 мкм. Енергетичні можливості таких ФЕП складають до 260 Вт/м² при інтенсивності світлового випромінювання 1 кВт/м² [10]. Варто зауважити, що в більшості серійних ФЕП і сонячних панелей на їхній основі, цей показник становить 130-140Вт/м² в стандартних умовах STC(Standart Test Conditions) [8]. За останні 2010-2016 роки особлива увага приділяється нанотехнологічним методам виробництва ФЕП.

Можна також зауважити, що інтеграція нанотехнологій у сонячні фотоелементи дозволить досягти принципово нових фізичних та механічних

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

властивостей, наприклад таких, як побудова абсолютно пружних фотоелементів у вигляді клейких тонких плівок, роздрукування комірок на фотопапері на звичайному принтері з використанням спеціальних напівпровідникових кремнієвих чорнил. Такі елементи по ефективності на одиницю площі змагатимуться з промисловими панелями зі значно більшою вагою та вимогливістю до умов інсталяцій.

На теперішній час світові дослідницькі організації, такі як EPIA, Munich Photovoltaic Research Institute, які опікуються проблемами підвищення ефективності та робочих характеристик сонячних комірок, зосереджуються на нанотехнологічні методи інтеграції у тверді розчини кремнію домішок у вигляді наноточок, нанониток та нанопровідників, що дає змогу досягти, поки що в лабораторних умовах та невеликих промислових серіях, високих значень ефективності з ККД >40-44% та високої надійності роботи фотогальванічних комірок. Але поки що ці технології не набули широкого застосування за рахунок високої складності промислового устаткування для вирощування таких твердотільних структур та великої вартості. Але з певною впевненістю можна стверджувати, що поріг ККД у 50 % для кремнієвих сонячних батарей (як тонкоплівкових, так і полі- та моно- кристалічних) буде подолано завдяки використанню нанотехнологічних домішок інших напівпровідників - у вигляді квантових точок, труб та інших форм об'єктів з розміром 1-10нм (1-10-9м).

На теперішній час широкого розповсюдження набули 3 види фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі [1-5]:

- ФЕП на основі монокристалічного кремнію;
- ФЕП на основі полікристалічного кремнію;
- Тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію (у вигляді тонкої плівки Si).

У більшості економічно дешевих ФЕП застосовується аморфний кремній, що дає змогу досягати ККД до 7-12%. У якісних ФЕП, з яких будують промислові сонячні енергосистеми, використовується

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

монокристалічний або полікристалічний кремній з технологічним ККД 14-16 % [8] (табл. 1.1). Різниця між монокристалічними та полікристалічними ФЕП становить 1-3% по ККД, але внаслідок того, що полікристалічні фотопластини більш толерантні до косих та не ортогональних світлових променів (ліпше сприймають розсіяне та кутове світло), середня виробка в цих типах ФЕП практично однакова, як і їхня вартість в останніх комерційних марках.

Таблиця 1.1 – Найбільші показники ККД кремнієвих фотоелементів у масовому виробництві

Тип ФЕП для сонячних батарей	ККД фотоелектричного перетворення, %
Si (кристалічний)	18,7
Si (полікристалічний)	17,3
Si (тонкоплівковий)	13,6
InTeCd (тонкоплівковий)	10,4

Відповідно кожен з 3-х типів напівпровідникових матеріалів для сонячних батарей має власні переваги та недоліки.

Кожний модуль сонячної батареї складається з 36, 72 або 96 окремих елементів ФЕП. Наведені на малюнках 1.1-1.3 фотографії сонячних батарей для промислового та домашнього використання найчастіше використовуються у вигляді модульних конструкцій, що монтуються на технологічні майданчики й дахи будівель.

В залежності від ККД матеріалу, різні типи сонячних панелей матимуть різні робочі площі для здобуття одного для всіх умовного значення потужності.



Рисунок.1.1 - Фотоелектричні перетворювачі на основі монокристалічного кремнію



Рисунок 1.2 - Фотоелектричні перетворювачі на основі полікристалічного кремнію



Рисунок 1.3 - Тонкоплівкові модулі ФЕП на основі аморфного кремнію

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Промислові батареї складаються з окремих елементів, що сполучаються проводами, після чого розміщуються між скляними пластинами і полімерними плівками для захисту. Тонкоплівкові елементи випускають вже в готових матрицях, деколи навіть у готових герметизованих корпусах, що забезпечують автоматичне позиціонування комірок ФЕП.

На малюнках 1.4 та 1.5 наведено порівняння умовних площ батарей на 3-х різних типах фотоелементах, що необхідні для продукування 1000 Вт (1кВт) електроенергії.

Сонячні панелі з аморфного кремнію монтують рідше у професійних системах, головна причина - надто низькі ККД та надійність. Спеціалізовані тонкоплівкові технології [8], як CuInSe_2 (Copper Indium Diselenide) і Cadmium-Telluride (CdTe), нині складають всього 2% сектору. Але ці сонячні батареї мають також і деякі плюси у порівнянні з кристалічним кремнієм: менша товщина (активний шар до 100 разів тонший за кристалічний); тонкоплівкові ФЕП можуть приймати розсіяне та слабке сонячне світло (робота в затемнених місцях).

При цьому ціна батареї становить близько 1,5-3\$ на Вт номінальної потужності [1, 5]. При промисловій генерації електрики за допомогою фотоелементів ціна за кВт/год складе 0,2-0,25 дол. На думку Європейської Асоціації Фотовольтаїки EPIA (European Photovoltaics Association) ціна електроенергії, виробленої "сонячними батареями" знизиться до рівня менш ніж 0,10 € за кВт/год [1, 6] для промислових установок і менш 0,15 € за кВт/год для установок у житлових будинках [1].

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

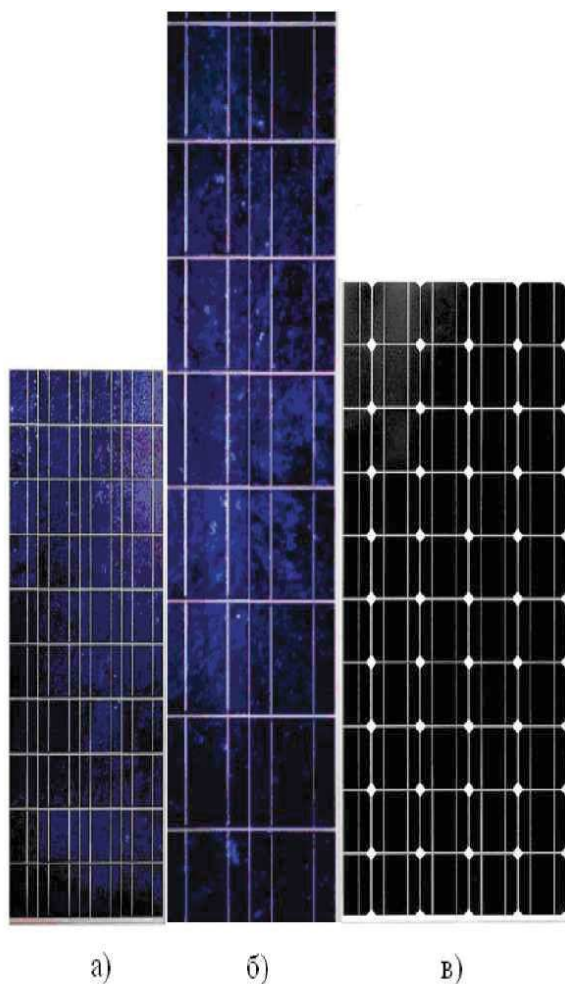


Рисунок 1.4 – Порівняння умовних площ модулів 3-х типів ФЕП для вироблення 1кВт електроенергії:

- а) монокристалічного;
- б) полікристалічного;
- в) тонкоплівкового.

Solar cell composition: Surface area required for 1 kW power

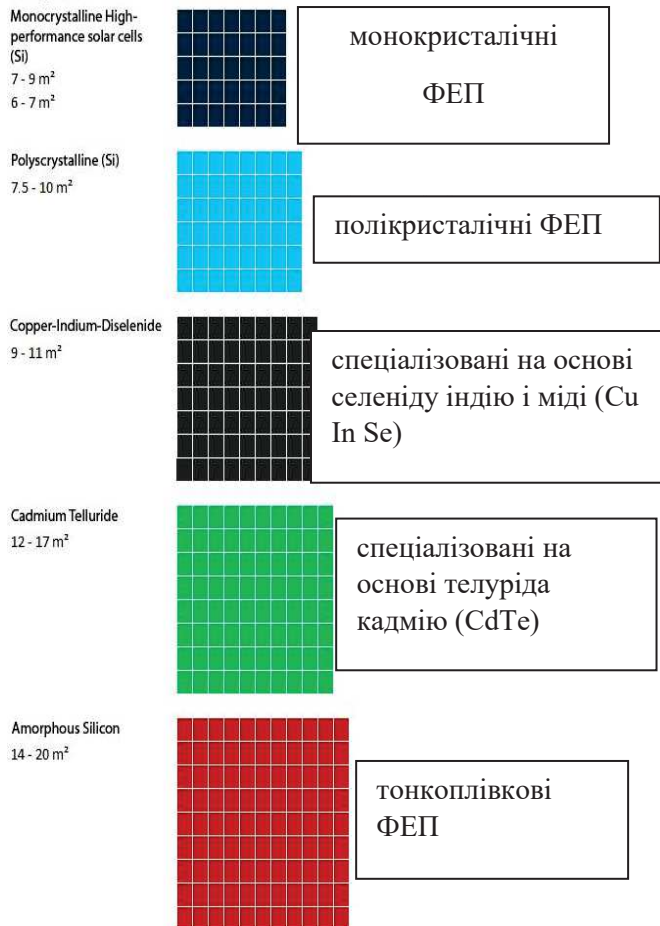


Рисунок 1.5 - Порівняння площ сонячних батарей на різних типах ФЕП для отримання 1кВт електроенергії:

- для монокристалічного 6-9 м²;
- для полікристалічного 7.5-10 м²;
- для тонкоплівкового 14-20 м²

Тонкоплівкові батареї набагато толерантніші до затінення та до вищих робочих температур, що властиві для роботи під яскравим сонцем. Але в тонкоплівкових ФЕП є суттєвий недолік - щоб здобути аналогічний рівень енергії, як у кристалічних батареї, потрібно велика площа поверхні, через невисокий ККД. Для промислового і домашнього застосування найчастіше використовуються модулі з полікристалічного та монокристалічного кремнію (рис.1.5). Кожна сонячна батарея складається з набору окремих сонячних елементів (рис.1.6). Ще зовсім недавно розмір кожного елемента становив приблизно 125 мм².



Рисунок 1.6 - Вигляд різних типів сонячних елементів: а) монокристалічних ; б)полікристалічних ; в) тонкоплівкових; г) конструкція сонячних панелей на базі ФЕП; д) одиночна пластина кристалічного ФЕП

На практиці елементи з'єднуються в батареї, щоб сумарна напруга була достатньою (на один напівпровідниковий р-п перехід виробляє стандартну напругу 0,6-1 В).

В графічній частині на аркуші БРМА 25.00.00.000 ДО1, рисунок 1 подано структурну схему виробництва енергії за допомогою модулів сонячних фотоелектричних перетворювачів.

Стандартна схема сонячної електростанції на основі ФЕП передбачає модулі ФЕП, контролер заряду акумуляторів, інвертор, лічильник електричної енергії та споживачів. Функції контролера заряду АКБ полягають не лише в забезпеченні автоматичного заряду акумуляторних батарей, але й контролю і стабілізації параметрів струму та напруги з виходів ФЕП та забезпеченні переключення виходу ФЕП безпосередньо на інвертор за умови повного заряду АКБ у денний час. В нічний час, або в мало сонячну погоду, контролер АКБ перемикає вихід збірок АКБ на інвертор в залежності від сигналів освітлення. Інвертор забезпечує перетворення напруги і струму з 12-45 В до 220/380 В 50Гц (I-III фази). А також роботу струму: постійного у змінний з промисловою частотою ~50Гц. Коефіцієнт корисності перетворення інвертора для сучасних систем перетворення дорівнює 90-95%. Лічильник електричної енергії потрібен для контролю обсягу спожитої електричної енергії, що подається кінцевим споживачам.

1.2 Конструкції систем сонячних панелей для отримання енергії

Існують два основні типи систем кріплення сонячних панелей: статична й динамічна.

Для статичної системи тримальні елементи кріпильної системи виготовляються з високоякісного екструдованого алюмінієвого профілю, а опорні компоненти зі сталі вкриті захисним покриттям «гарячий цинк».

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нерухома система притаманна тим, що орієнтацію модулів і кут нахилу по відношенню до Сонця неможливо змінити. Логічно, що сонячні модулі мусять бути максимально освітлені в світлу пору дня, тому вони мають бути орієнтовані на південь. Якщо з якоїсь причини такої можливості нема, південно-західний або південно-східний напрями також підійдуть. Водночас на продуктивність це не надто вплине.

Модулі на столі можуть розташовуватися в декілька рядів (1-5), горизонтально або вертикально. Залежно від ваги конструкції та деяких інших її характеристик, стіл може бути одно- або двоопорний. Палі, на яких тримається конструкція, можуть кріпитися в ґрунт двома способами: 1) пряме «забивання» палі в ґрунт, 2) бетонування палі в тілі ґрунту.

Ці параметри визначаються в першу чергу геологією і геодезією ґрунту і, звісно ж, проектною потужністю станції.

Щодо динамічних систем кріплення, тут назва говорить сама про себе. Таку систему ще йменують трекером, що з англійської перекладається як «пристрій, що стежить». Принцип його функціонування простий - він прямує за Сонцем, що дозволяє значно збільшити ККД установки. На ринку України трекери з'явилися порівняно недавно. Існує два їх різновиди: одновісні та двовісні.

1.3 Класифікація та принципи вибору поворотних систем

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

Трекери з однією віссю обертання — одновісні трекери мають один ступінь свободи, котрий виступає в ролі осі обертання. Вісь обертання одновісного трекера, здебільшого, орієнтована уздовж осі “Північний

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

меридіан” (північ-південь). Цілком можлива, орієнтація їх у будь-яких координатних напрямках із застосуванням алгоритмів стеження.

Існує декілька видів одноосних трекерів. Вони містять в собі трекери з горизонтальною віссю обертання, вертикальною віссю обертання, з похилою віссю обертання і з полярно орієнтованою віссю обертання.

Трекери з горизонтально орієнтованою віссю — вісь обертання горизонтальна стосовно землі. Поля є дуже гнучкими. Проста геометрія потребує, щоб всі осі обертання були паралельні одна одній,

Відповідний інтервал між осями може максимізувати виробництво електроенергії, залежної і від рельєфу місцевості, тіні та часу доби. У цих трекерах довгі горизонтальні труби спираються на підшипники встановлені на пілонах. Осі трубок орієнтовані на лінії північ-південь. Панелі монтуються на трубку, а трубка обертатиметься навколо своєї осі, щоб відстежувати видимий рух сонця впродовж дня.

Трекери з вертикальною віссю обертання - вісь обертання вертикальна відносно землі. Ці трекери обертаються зі сходу на захід впродовж дня. Такі трекери є більш ефективними у високих широтах, ніж з горизонтальною віссю. Поля трекерів повинні зважати на затінення від сусідніх трекерів, щоб уникнути зайвих втрат енергії та оптимізувати землекористування.

Вони зазвичай мають робочу поверхню (з фотоелементами) орієнтовану під кутом по відношенню до осі обертання, тобто має фіксований нахил.

Трекери з однією похилою віссю обертання - всі трекери з осями обертання між горизонтальною і вертикальною осями. У масиві трекерів має враховуватися затінення від сусідніх трекерів, щоб уникнути зайвих втрат і оптимізувати землекористування.

Трекери з полярно орієнтованою віссю обертання. Цей метод є науково відомий як стандартний метод монтажу системи, яка вирівнюється по полярній зірці. У зв'язку з цим їх називають трекери з полярно вирівняною

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віссю. У кожному конкретному випадку кут нахилу дорівнює широті розташування. Це вирівнює вісь обертання трекера з віссю обертання Землі.

Трекери з двома осями обертання - мають два ступені свободи, які виступають як осі обертання. Ці осі, як правило, не пов'язані один з одним, але працюють разом. Вісь, що фіксується по відношенню до землі, може розглядатися як основна вісь. Іншу вісь можна розглядати як вторинну. І навпаки.

Є кілька поширених реалізацій трекерів з двома осями. Вони класифікуються за спрямованістю їх головної осі по відношенню до землі. Два найбільш поширених типи трекерів з 2-а осями - з осями обертання на несучому стовпі і трекери з двома осями обертання та опорною площиною.

Орієнтація модуля відносно осі трекера важлива при моделюванні продуктивності. Трекери з двома осями обертання як правило, мають модулі орієнтовані паралельно вторинній осі обертання. Вони дозволяють прийняти оптимальну кількість сонячної енергії завдяки їх здатності слідкувати за сонцем вертикально і горизонтально. Незалежно від того, де сонце на небі, Ці трекери здатні нахилити себе в безпосередньому контакті з сонцем.

Трекери з двома осями обертання на несучому стовпі - їх так назвали тому, що масив з панелями монтується на кінці довгого стовпа. Рух трекера зі сходу на захід регулюється поворотом масиву навколо верхнього полюса, на якому закріплено підшипник. У верхній частині обертового підшипника знаходиться механізм, що забезпечує вертикальне обертання панелей і забезпечує головні точки кріплення для масиву панелей.

Трекери з двома осями обертання і опорною площиною - головна вісь - вертикальна. Вони подібні до попередніх, але вони розрізняються за способом повороту масиву. Замість обертання масиву навколо верхнього полюса стовпа, системи звичайно використовують велике кільце, встановлене на землі або платформі. Вся система монтується на ролики або на велику платформу з підшипниками. Основною перевагою такого

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

розташування є те, що вага масиву розподіляється по частинах кільця. Це дозволяє підтримувати набагато більший масив сонячних панелей або відбивачів, на відміну від трекерів з двома осями обертання на несучому стовпі, проте, системи вони не можуть бути розміщені ближче один до одного, ніж діаметр кільця, що може призвести до зменшення щільності будови системи, особливо з урахуванням міжтрекерного затінення.

Вибір різновиду трекера залежить від багатьох факторів, зокрема розмір інсталяції, електричні норми, державні заохочення, земельні обмеження, широти та місцеві погодні умови.

Трекери з горизонтальною віссю обертання, як правило, застосовуються для великих генеруючих систем. Поєднують значні енергетичні можливості та меншу вартість виробу у порівнянні з іншими трекерами, а також низькі витрати на монтаж та при експлуатації. Крім того, високі показники в другій половині дня, що особливо потрібно для великих мереж, коли виробництво відповідатиме піковому часу попиту. Системи збільшують свою продуктивність протягом весни та літа, коли сонце перебуває високо в небі. Власна надійність несучих конструкцій і простота механізму скорочує експлуатаційні витрати. Оскільки панелі розміщені горизонтально, вони можуть бути компактно розміщені на осі труби без небезпеки самозатінення і також легко доступні для очищення.

Трекери з вертикальною віссю обертання повертаються тільки навколо вертикальної осі, з панелями і вертикально, з фіксованим, регульованим кутом піднесення. Такі трекери з фіксованими або (сезонно) регульованими кутами піднесення підходять на високих широтах, де сонячний шлях не є надто високим, з великою тривалістю днів влітку, коли Сонце рухається по довгій дузі.

Підсумовуючи переваги сонячних трекерів на прийнято рішення спроектувати слідкуючу трекерну систему яка б дозволила суттєво підвищити продуктивність наявних на кафедрі сонячних панелей. Для цього

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

переходимо до вибору типу трекера, конструкція якого буде для нас найбільш вигідною у плані простоти і економічної доцільності.

1.4 Висновки до розділу

Здійснено аналіз сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів в галузі сонячної енергетики, який засвідчив динамічні тенденції до розвитку технологій ФЕП та збільшення їх експлуатаційних і технічних властивостей в галузі фотовольтаїки, яка швидко розвивається.

Визначено, що максимальна енергетична ефективність досягається при прямому куті падіння сонячних променів (90°).

Найкращим на нашу думку виходом для цієї ситуації є використання слідкуючої поворотної системи, яка складається з рами, механізму приводу та системи керування.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2 Розробка схеми поворотної системи для сонячних панелей

2.1 Аналіз енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в земних умовах

Потік сонячного випромінювання, що проходить крізь площу в 1 м², на вході в атмосферу Землі, котра розташована перпендикулярно, дорівнює в середньому 1367 Вт/м² (сонячна стала [8]). Через поглинання, при проходженні крізь атмосферу Землі, середній в Європі потік сонячного випромінювання становить 1020 Вт/м² [8]. Але беручи до уваги, що значення потоку сонячного випромінювання крізь одиничну горизонтальну площу змінюється впродовж доби, то середньодобове значення є щонайменше у 3 рази меншим (через зміну дня і ночі, та зміни кута сонця над обрієм). Узимку в помірних широтах це значення удвічі менше. Карту потужностей отриманих від фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання показано на рисунку 2.1 [8].

Аналізуючи зображення на рисунку 2.1, встановлюємо, що для України середнє значення виходу з 1 м² площі ФЕП з ККД=13-14% знаходиться в межах 130-140 Вт/м² (приблизно). Середнє значення інтенсивності на поверхні землі в Україні знаходиться в межах 1050 Вт/м² або в еквіваленті енергії за добу 3.5-7.0 кВт год/м²/день.

Для Хмельницької області середнє за рік значення інтенсивності сонячного випромінювання дорівнює 1070 Вт/м².

Потенційне вироблення сонячної енергії зменшується також через глобальне затемнення - зменшення потоку сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, проте цей процес незначний.

Інтенсивність сонячного проміння за одиницю часу називають інсоляцією [2, 8] або інакше середньодобова (середньорічна) енергія оптичного випромінювання.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому в зимову пору у вказаних широтах для освітлення тієї ж квартири потрібний семиразовий запас потужності.

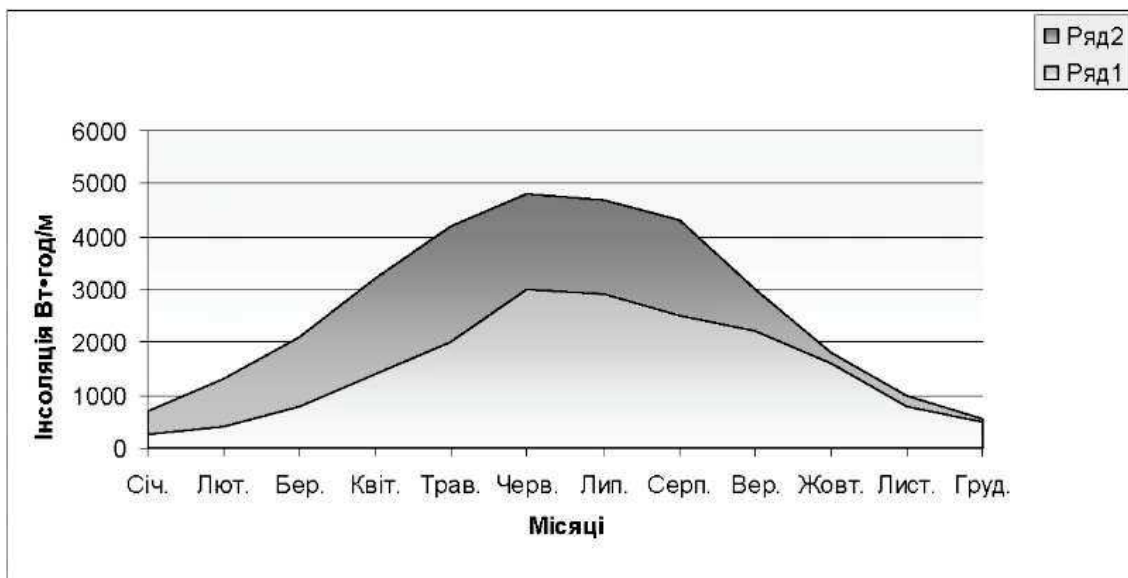


Рисунок 2.2 - Графік інсоляції в залежності від пори року:
ряд 1 - розсіяне випромінювання; ряд 2 - пряме випромінювання

2.2 Складові слідкуючої поворотної системи

Для того щоб мати уявлення про конструкцію сонячного трекера потрібно визначитися з комплектацією слідкуючої трекерної системи. Ця система в повній комплектації містить:

- 1) Несучу конструкцію, що складається з фіксованої і рухомої частин, рухома частина має одну чи дві осі обертання (рис. 2.3);
- 2) Систему орієнтації (позиціонування) рухомої частини трекера, що складається з актуаторів, та пристрою управління ними;
- 3) Системи безпеки, що включає в себе:
 - захист від блискавки;
 - захист від перевантажень та стабілізатори;

- метеостанцію, призначену для попередження системи про ураган, град, сніг, криги, несприятливих погодних умовах. Аналізуючи дані метеостанції, система переорієнтує трекер в положення, при якому несприятливі фактори будуть мінімізовані в період їх дії, а робочі поверхні захищені від руйнування або псування;

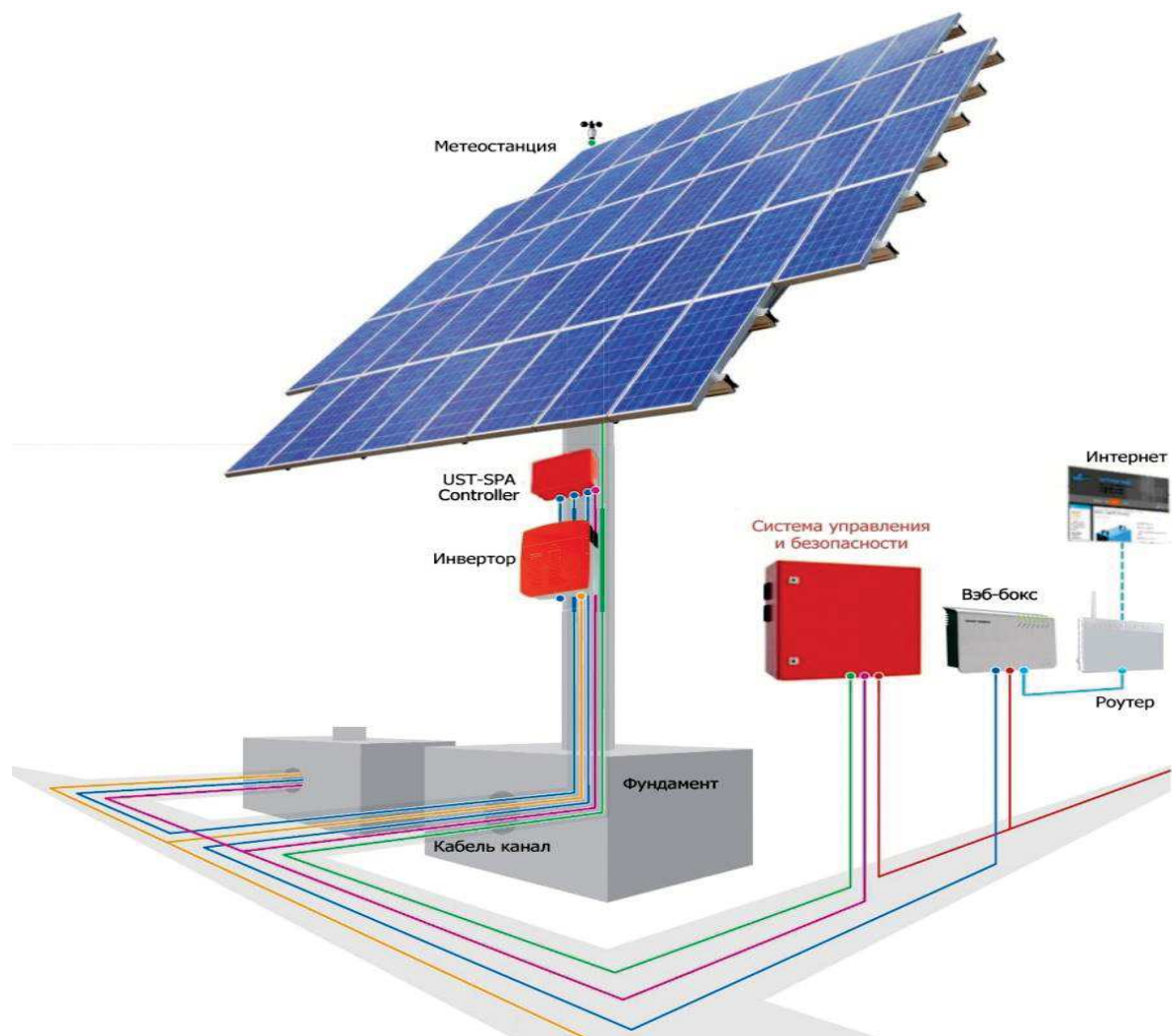


Рисунок 2.3 - Склад сонячного трекера

4) Системи керування та інтерфейс, призначені для налаштування, контролю та обслуговування енергосистеми;

5) Системи віддаленого доступу - задля віддаленого моніторингу та керування системою;

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

6) Система навігації - для визначення географічного розташування системи, висоти над рівнем моря (для трекерів на мобільній базі). На стаціонарних трекерах навігація не обов'язкова. Установчі значення широти, довготи, висоти над рівнем моря місця, де встановлюється трекер, вводяться постачальником при монтажі системи.

7) Інвертор – перетворює напругу, яка надходить від корисного навантаження трекера (PV-модулів та ін.) із постійної в змінну 220В (110В) і передає його споживачеві або на приймаючу станцію, одночасно, підживлює трекер. Кількість інверторів на трекері може бути від одного до трьох. Інвертори виконуються в захищеному варіанті (польове) або ж у корпусі, що встановлюється в приміщенні. Схеми підключення інверторів в системі можуть бути різними.

Потреба у цілковитій комплектації трекера не завжди економічно виправдана, залежить від типу трекера, призначення, та інших чинників, тому на практиці часто чимало вищезазначених складових елементів трекера відсутні.

В установці, що проектується, планується комплектація, яка складається з (рис.2.4):

- несучої конструкції;
- системи орієнтації по азимуту, що складається з актуатора, сенсора освітлення і мікроконтролера для управління процесом орієнтації;
- захисту від перевантажень;
- захисту від несприятливих погодних умов задля жорсткої фіксації трекера з метою зменшити навантаження на несучу конструкцію та вузли кріплення;
- інвертора;
- лічильника потужності.

В поворотній системі пропонується використовувати контролер сонячної панелі MakeSkyBlue MPPT 60A V123, 12В-24В-48В, який

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує оптимальне використання енергії сонця. Інтелектуальна зарядка забезпечує триетапний режим роботи: постійний струм, абсорбційна напруга та заряд, що підтримує. Вбудований LCD-дисплей дає змогу відстежувати стан системи в реальному часі.

Точна орієнтація робочих площин систем на Сонце потрібна для досягнення їх найбільшої продуктивності. При цьому завдання трекера - зменшити кут падіння Сонця на робочу поверхню сонячних панелей (PV-модулів, CPV-концентрованих фотоелектричних модулів).

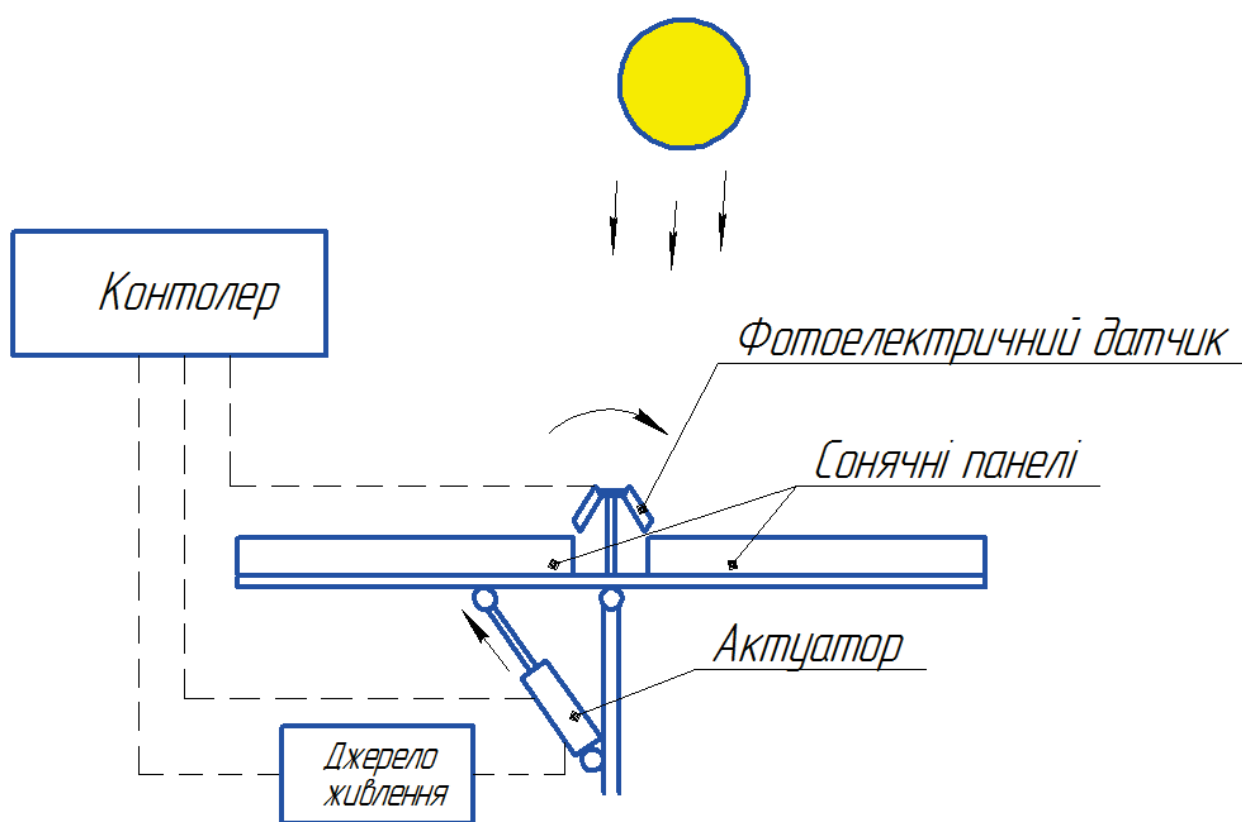


Рисунок 2.4 – Структурна схема поворотної системи для сонячних панелей

В якості приводу пропонується використовувати актуатор виробника ECO – WORTHY з вбудованими кінцевими вимикачами.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Хід актуатора 450 мм при довжині актуатора у початковому положенні 600 мм. Поставляється актуатор у комплекті із кронштейнами для закріплення на робоче місце.

2.3 Кінематичний синтез механізму поворотної системи

Механізм поворотної системи повинен мати ряд накладених робочих функцій. Серед них завдання окремих положень ланок та відтворення заданої траєкторії.

В графоаналітичному дослідженні вважаємо, що усі ланки є цілком твердими тілами, а зв'язки між ними ідеальні. [20]

Для вирішення поставленої задачі потрібно розробити кінематичну схему механізму, у якій відомі габарити всіх ланок та закон руху початкової ланки. Для цього треба обчислити всі ланки кінематичної схеми..

На рисунку 2.5 зображено основні габарити актуатора із двома крайніми позиціями штока, на які ми будемо спиратися при обчисленнях.

У проектуванні механізму ми відштовхуємося від наявного приводу, що зарекомендував себе у аналогічних системах як надійний, простий і легко керований.

Складаємо схему механізму (рис. 2.6), для котрої приймаємо такі вихідні дані:

$AC = 320$ мм – встановлюємо конструктивно;

$OD_{max} = 1050$ мм – відстань між осями кріпильних отворів актуатора при повному вильоту штока;

$OD_{min} = 600$ мм – відстань між осями кріпильних отворів актуатора в ближньому положенні;

$S = 450$ мм – робочий хід актуатора;

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно послідовно розглянути перебіг кожної ланки від початкової до вихідної у такому порядку, як вони приєднуються до механізму. Але так як розміри всіх ланок нам відомі, потрібно відшукати точку нерухомого центру O (рис. 2.7), котра має бути зміщена від головної осі на 100 мм, що унеможливило перетинання переміщень актуатора із іншими елементами конструкції.

За початкове положення беремо таке, в якому ланка AC (рис. 2.7) буде зрушена від горизонтальної осі на кут $\delta=30^\circ$ (у зв'язку із особливостями місця знаходження трекера. Адже стіна будинку, на котрій буде розташована трекерна система, не точно повернута на південь, а має зсув у південно-західному напрямку на 30° . В цьому положенні камінь куліси повинен міститися рівно в половині свого робочого ходу.

Спочатку зводимо промінь під кутом 30° та описуємо дугу діаметром 320 мм засічкою на кресленні у частині креслення, де рухатиметься механізм. В результаті віднаходимо точку A . З точки A робимо засічку до перетину лінією зміщення e . В місці перетину знаходитиметься центр шарніра з осередком в точці O .

Від одержаного центру креслимо прямі лінії до точок A та O . Знайдені лінії показують положення ланок механізму у середині робочого ходу.

Для віднайдення крайніх положень застосуємо центр шарніру O , від якого робимо дві засічки до дуги осередок якої розташовано в точці C .

Діаметр засічок дуги обираємо відповідно до технічної документації актуатора, а саме довжину між кронштейнами актуатора при висунутому та втягнутому штоку відповідно.

Ланка 1 виконує коливальний рух по колу нерухомого центру O . Ланка 2 здійснює складний рух: Центр шарніра A переміщується по колу миттєвого радіуса OA і разом з тим поступально вздовж ланки 1 . Ланка 3 виконує коливальний рух по колу радіусом OA стосовно нерухомого центру C .

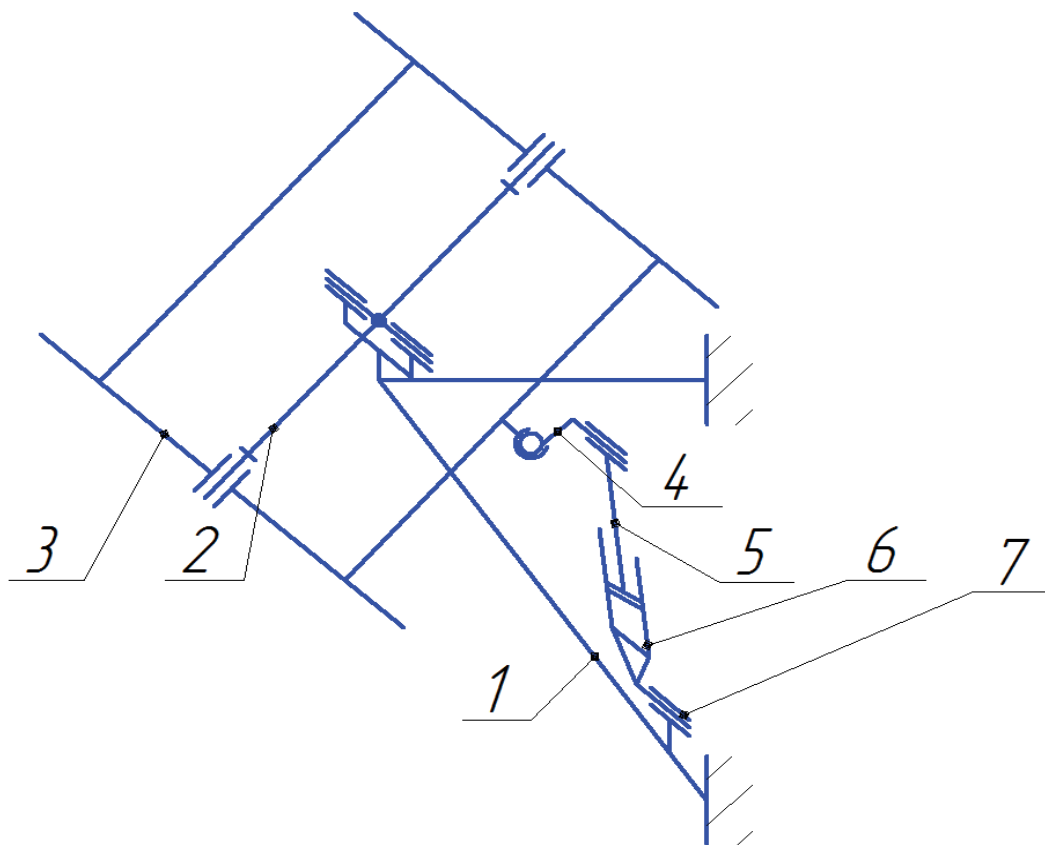
					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для кінематичних обчислень механізму розглянемо трикутник АОС (рис. 2.7), котрий витікає з кінематичної схеми механізму повороту трекера. Ця схема спричинена розташуванням актуатора (приводу) відносно підкоса несучої рами 1, а також поворотного столу 3.

На рисунку 2.7 задля спрощення розрахунку прийнято такі позначення:

$$a = OC, \quad b = OA, \quad c = AC.$$

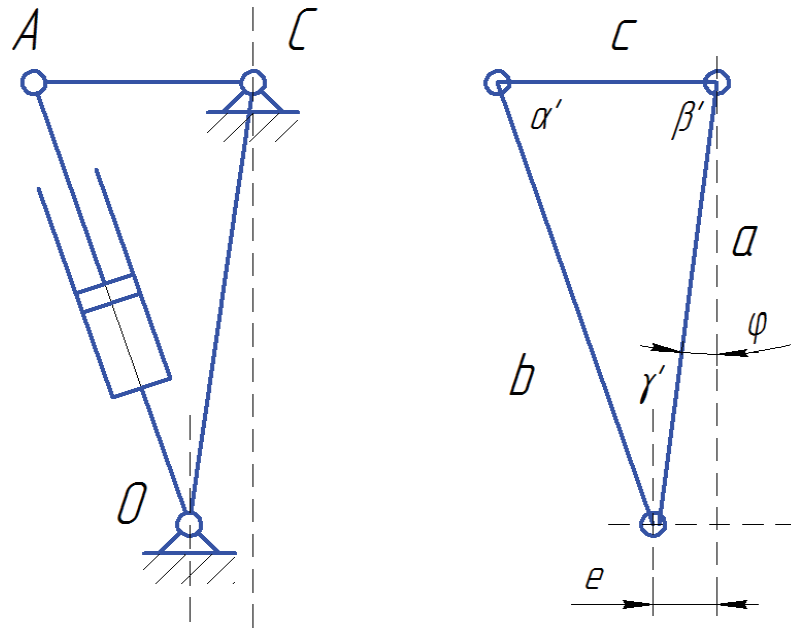
При створенні беремо до уваги, що довжина ланки $b = b_i = (600 \dots 1050)$ мм. Оскільки ця ланка у нашій схемі є лінійним приводом. Заздалегідь нам відомо, що робочий хід актуатора дорівнює 450 мм.



1-рама з підкосом; 2- вісь трекера; 3 – поворотний стіл 4-шарова опора;
5-шток привода; 6-корпус привода; 7-шарнір

Рисунок 2.6 - Кінематична схема поворотної системи

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА 25.00.00.000 ПЗ				



.Рисунок 2.7- Кінематична схема виконавчого механізму

Для відшукування кутів повороту аналітично використовуємо теорему косинусів:

$$\cos \alpha' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (2.2)$$

$$\alpha' = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (2.3)$$

аналогічно до нього:

$$\beta' = \arccos \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \quad (2.4)$$

де a, b, c – сторони трикутника, який впливає із кінематичної схеми

При підстановці у формулу (3.3) значень найбільшого і найменшого значення b (граничні близькі та дальні положення штока актуатора) отримаємо найбільші відхилення нашої конструкції по азимуту. Різниця цих кутів покаже загальний кут обертання сонячного трекера

$$\Delta = \beta'_{max} - \beta'_{min} \quad (3.5)$$

де $\beta'_{max}, \beta'_{min}$ —максимальні і мінімальні значення відповідно

2.4 Висновки по розділу

Проведений аналіз інсоляції дав змогу оглянути енергетичні перспективи Подільського регіону і дав уявлення про те, якими параметрами мала відрізнятися трекерна установка. Запропонована кінематична схема та механізм повороту робочого стола, котрий був створений графоаналітичним способом. Здійснено кінематичний синтез запропонованої установки.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 Розрахунок елементів конструкції поворотної системи для сонячних панелей

3.1 Розробка системи орієнтації сонячних панелей

Завдання поворотної системи - встановити кути нахилу робочої поверхні сонячної панелі, зорієнтувавши, її строго на Сонці. Отже, сонячні промені повинні падати перпендикулярно площині сонячної батареї.

Рухома частина трекера може змінювати своє положення за допомогою ручного приводу, або за допомогою 1-2-х актуаторів - виконавчих пристроїв, зроблених на електродвигунах.

Такої спрямованості можливо досягти кількома методами:

У першому випадку прилад керування актуаторами за допомогою декількох фотоприймачів аналізує освітлення при різних положеннях трекера та передає керуючі сигнали на актуатори до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде рівний. Розбалансування системи через рух сонця дасть імпульс для активації нового переміщення, у бік Сонця. Принципові схеми таких приладів нескладні й недорогі. Але в них є один суттєвий недолік. У хмарну погоду, при опадах і забрудненні фотоприймачів система недієздатна.

Переналаштувати систему можливо власноруч, або, керуючи актуаторами, надсилаючи сигнали за допомогою перемикачів. Але такий метод прийнятний здебільшого для сезонної орієнтації трекерів, коли на певний час встановлюється потрібний кут нахилу (на риснку 3.1 цей кут позначений як *Zenith* — зенітний кут нахилу сонця). Точність орієнтації при цьому невелика, постійно оператор не може знаходитися у трекера, тому цей спосіб розповсюджений незначно, але для сезонної орієнтації малобюджетних систем він цілком підходить.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

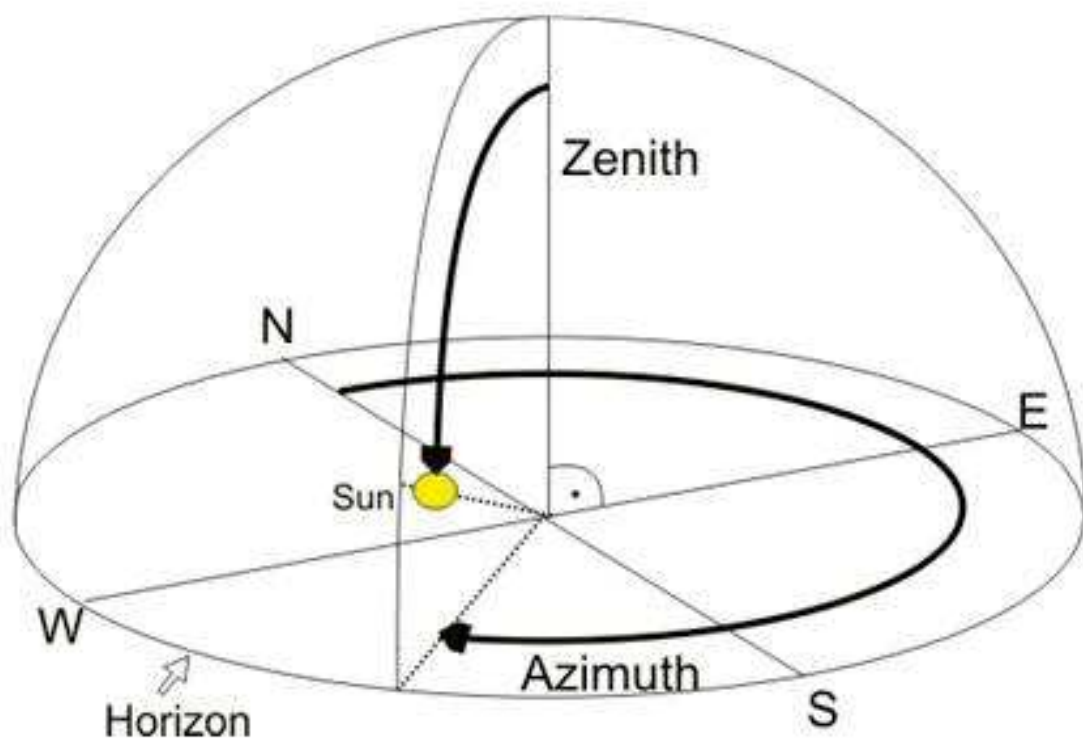


Рисунок 3.1 - Орієнтація поворотної системи

Керування рухом трекера за азимутальними і зенітними кутами можливе приладом керування, до складу котрого входить таймер. При цьому актуатори починають свою роботу з добовою програмою таймера (за потреби, і за річною програмою). Точність орієнтації при цьому не значна, адже сонце протягом року постійно змінює час, місце сходу і заходу, зенітний кут.

Наприклад, влітку в наших широтах зенітний кут невеликий, а взимку сонце рухається по горизонту і зенітний кут великий. Цей спосіб прийнятний для недорогих систем.

Найбільш дієвим став метод керування актуаторами за програмою, що в визначені проміжки часу обчислює місце знаходження Сонця. За внутрішнім годинником пристрою програма на блок управління видаватиме відомості про величини азимутального (Azimuth) і Зенітного (Zenith) кутів (рис. 3.1), з урахуванням місця розташування трекера (широта, довгота,

										Арк.
										38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

висота над рівнем моря), після чого виконавчим пристроєм виконується відповідне переорієнтування трекера в розрахункове положення. Ця програма для обчислення місця знаходження сонця, зветься - SPA (Алгоритм сонячної позиції).

Пристрої управління трекерами можуть бути виготовлені на захищених комп'ютерах, PLC - програмований логічний контролер, або у вигляді окремих закінчених пристроїв, програмованих постачальником при постачанні трекера, з прив'язкою до місцевості свого виробу. Група трекерів може управлятися одним комп'ютером, що зменшує собівартість електростанції.

3.2 Визначення зенітних кутів повороту сонячної панелі

Ефективність виробництва електроенергії ФЕП варіюється зі зміною косинуса кута розбіжності панелі з сонцем. Невеликі невідповідності можуть бути прийнятними внаслідок невеликого зниження ефективності (менше 1% до 8 градусів і менше 10% до 25 градусів), але зі зростанням кута розбіжності (понад 30 градусів), починає втрачатися вже достатньо значний відсоток потужності. Кут розбіжності буде зменшуватись до мінімуму за допомогою автоматичної системи наведення.

Технічні можливості конструкції трекера дозволяють повертати панелі на максимальний кут до 86^0 у площині азимута. Проте зенітний кут буде регулюватися вручну за допомогою тяги. На рамі передбачено градування, яке дозволить виставляти по мітках основні положення. Це суттєво здешевить та спростить конструкцію, що своєю чергою зменшить термін окупності без суттєвих втрат ККД установки. Адже основною проблемою для сонячних панелей є значний термін окупності, а додатковий актуатор буде споживати частину виробленої електроенергії.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо вхідні дані для встановлення оптимальних кутів за допомогою програми Planetcalc [14] . Для цього за допомогою GPS модуля визначаємо координати точки монтажу трекера

Здобуті GPS координати місця експериментальної установки:

Географічна широта окресленої точки — Н 49.4066; географічна довгота— Е 26.9639

Ввівши координати в програму [14] поступово вираховуємо кут положення сонця по зеніту впродовж року. За крок беремо 1 число кожного місяця в році.

Найліпші кути визначаємо з умови, що при зміні кута падіння сонячних променів на 15-20⁰ втрати потужності становлять менше 10% [22],

Таблиця 3.1 - Зенітна висота сонця над горизонтом станом на 1 число кожного місяця впродовж року

Умовна дата обчислення	Кут положення сонця по зеніту, ⁰ град	Оптимальний кут положення трекера,
01.01	11 ⁰ 54'	15
01.02	15 ⁰ 90'	
01.03	24 ⁰ 96'	35
01.04	36 ⁰ 79'	
01.05	46 ⁰ 82'	50
01.06	52 ⁰ 56'	
01.07	52 ⁰ 56'	
01.08	48 ⁰ 03'	
01.09	40 ⁰ 40'	35
01.10	31 ⁰ 11'	
01.11	21 ⁰ 18'	15
01.12	13 ⁰ 84'	

Одержані кути переносимо на раму поворотної системи в місці кріплення з регулювальною тягою. Для точного градуювання застосовуємо кутомір, котрий магнітом прикріплюємо до осі, яка тримає поворотний стіл. Мітку ставимо також на кронштейні, що тримає регулювальну тягу. Ця мітка буде індикаторною при регулюванні, і по ній буде виставлятися потрібний кут.

3.3 Розрахунок елементів конструкції поворотної системи, що сприймають вітрові навантаження

Для проведення подальших розрахунків розроблено модель навантажень, яка дозволить зв'язати характеристики положення панелей з навантаженнями, які діють на установку у процес експлуатації в жорстких погодних умовах. Це дасть змогу аналітично вивчити процеси та їх вплив на опори в зоні розміщення установки і надалі результати отримані в обчисленнях будуть застосовані для проектування вразливих вузлів та деталей. На рисунку 3.2 подано загальний вигляд конструкції поворотної системи сонячних панелей

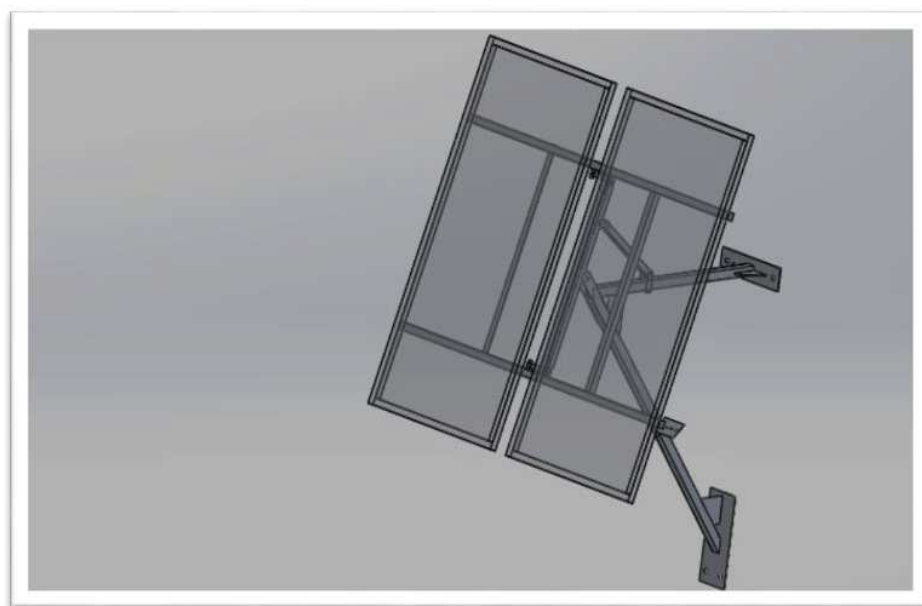


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд поворотної системи сонячних панелей

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

При створенні моделі прийнято такі припущення:

- вплив вітру рівномірно розподілений по площині панелі;
- вплив вітру на парусну площину, яка має площу S з центром маси розташованим в точці x_i, y_i , може бути представлена рівносильною дією вітру на теоретичне вітрило, площа якого складає $S_i = \Sigma s_i$ і центр якого розташований за координатами:

$$x = \Sigma x s_i = \Sigma s_i; \quad (3.1)$$

$$y = \Sigma y s_i = \Sigma s_i. \quad (3.2)$$

До останнього часу теорія впливу вітру на теоретичне вітрило базувалась на дослідженнях Ньютона, що розглядав цю дію як сукупність паралельних ударів незалежних одна від одного часточок повітря у підвітряну частину теоретичного вітрила. Це дає змогу вести розрахунок практичної парусності за допомогою елементарних формул теоретичної механіки і дає простий перехід від сумарної парусності до окремих систем, на які впливає вітрове навантаження. Вплив сили вітру відповідно до цієї теорії зводиться до його тиску при нормальному напрямку, рівному:

$$F = C \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot S \cdot v^2; \quad (3.3)$$

де C – коефіцієнт парусності, $C = 2 \dots 4$, [11];

γ – вага 1 м^3 повітря, $\gamma = 1293 \text{ г за н. у.}$ (тиск 760 мм. рт. ст. , і при температурі 15°C);

g – прискорення вільного падіння;

v – відносна швидкість вітру, становит $v = 25 \text{ м/с}$, як значення є найбільшим для даного регіону на основі положень [18];

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

S – площа поверхні панелей.

$$S = s \cdot n; \quad (3.4)$$

де s – площа однієї панелі $s = 1,28 \text{ м}^2$;

n – кількість сонячних панелей.

Однак в реальних обставинах панель частіше розташована під кутом до впливу вітру, і формула стає вигляду:

$$F = C \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot S \cdot v^2 \cdot \cos\varphi. \quad (3.5)$$

За наведеною методикою проведено розрахунки.

Сила вітрового навантаження на панелі становить $F = 341,219 \text{ Н}$

Після визначення потужності, котра визначає вітрове навантаження, переходимо до силових підрахунків опор. Використаємо головні положення теоретичної механіки. Заради цього складаємо розрахункову схему, яка зображує основні випадки навантаження на поворотну систему.

На рисунку 3.3 показано основні випадки навантаження та використано такі позначення: F – дія вітру на панель; N, N', N'' - середнє і крайні положення відповідно по зеніту; M, M', M'' - середнє і крайні положення відповідно по азимуту.

Розглядаємо навантаження на опори трекера в проєкції ZX , оскільки в цій проєкції окрім вітрового навантаження діє також і сила тяжіння тіла, яка зосереджена на осі кронштейна.

Відкидаємо закріплені частини опор кронштейна та замінюємо їх внутрішніми зусиллями. N_{BC} і N_{BD} (рис. 3.4).

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

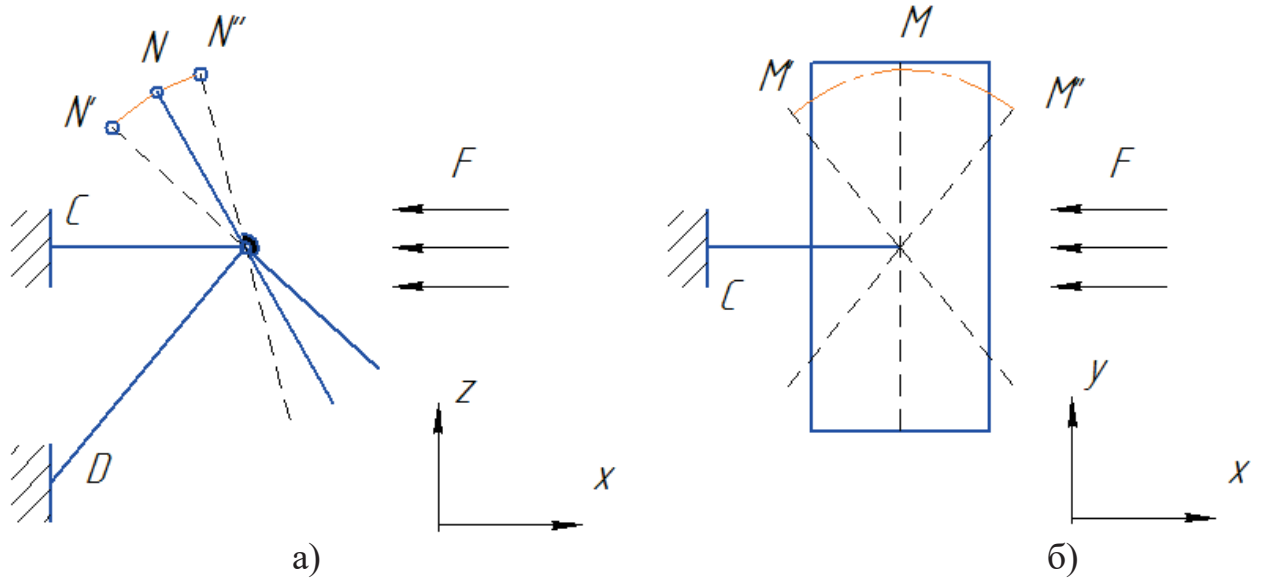


Рисунок 3.3 - Основні випадки навантаження на поворотну систему:

а) вид збоку; б) вид зверху

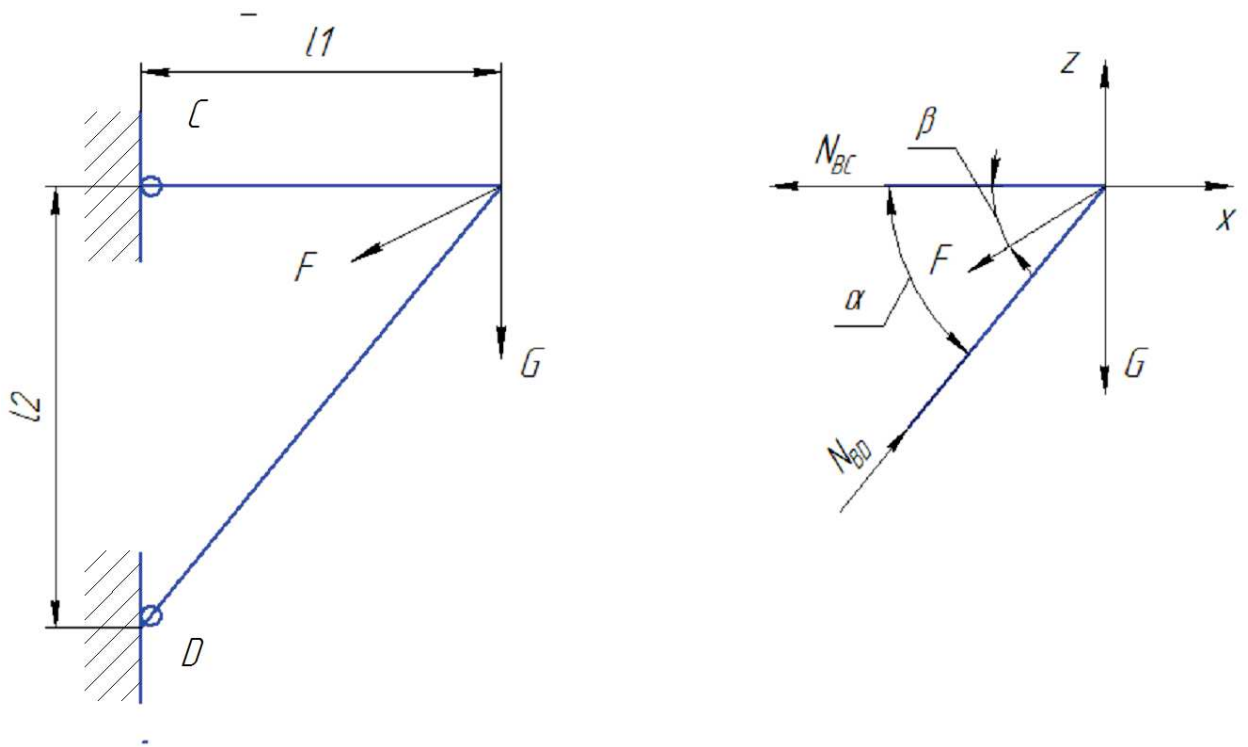


Рисунок 3.4 - Схема діючих зусиль на опори

Для подальших обчислень спроектуємо зусилля, що зображені на рисунку (3.4), на координатні осі.

Розглянемо рівняння реакцій:

									Арк.
									44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА 25.00.00.000 ПЗ				

$$\Sigma Z = -N_{BC} + N_{BD} \cdot \cos\alpha - F \cdot \cos\beta = 0; \quad (3.6)$$

$$\Sigma X = N_{BD} \cdot \sin\alpha - F \cdot \sin\beta + G = 0. \quad (3.7)$$

У даному випадку $\Sigma y = 0$

Вирішивши рівняння (3.6) та (3.7), знайдемо внутрішні напруження.

N_{BC} і N_{BD} :

$$N_{BD} = F \cdot \sin\beta + G; \quad (3.8)$$

$$N_{BC} = N_{BD} \cdot \cos\alpha - F \cdot \cos\beta. \quad (3.9)$$

За наведеною методикою проведено розрахунки та отримано наступні результати.

Навантаження на опору $N_{bd}=750,39$ Н;

Навантаження на опору $N_{bc}=472,92$ Н;

Площу поперечного перерізу опор визначаємо з вимоги міцності для сталі прокатної (Ст3):

$$\frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (3.10)$$

де, R_y – розрахунковий опір сталі [19];

γ_c – коефіцієнт умовної роботи;

Звідси:

$$A_{BC} = \frac{N_{BC}}{R_y \cdot \gamma_c}, \text{ мм} \quad (3.11)$$

$$A_{BD} = \frac{N_{BD}}{R_y \cdot \gamma_c}, \text{ мм} \quad (3.12)$$

За наведеною методикою проведено розрахунки та отримано результати.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа поперечного перерізу $A_{BC}=2,866 \text{ см}^2$

Площа поперечного перерізу $A_{BD}=0,476 \text{ см}^2$

Підбираємо найближчу більшу площу із стандартного ряду профілю з прокатної сталі для опор A_{BC} і A_{BD} , ГОСТ 8638-82 квадратні сталеві труби

3.4 Розрахунок дії навантажень на раму з підкосом

З кінематичної схеми видно, що основне навантаження від ваги всієї конструкції відчуває рамка з підкосом 1 (рис.2.7). І навіть якщо вона витримує допустимі навантаження, у рамці здатні виникнути деформації від дії ваги, що здатне привести до відхилень осі трекара. Це здатне звести нанівець наші старання по забезпеченню точності позиціювання. Для цього треба провести розрахунок підкосу на ймовірні переміщення, які виникають у точці В.

Знаходимо переміщення вузла В за допомогою графоаналітичного методу, для чого обчислимо, використовуючи закон Гука [18], абсолютні деформації стержнів. ВС і BD, вважаючи їх вільними в точці В:

$$\Delta l_{BC} = \frac{N_{BC} \cdot l_{BC}}{E \cdot A_{BC}}, \text{ мм} \quad (3.13)$$

$$\Delta l_{BD} = \frac{N_{BD} \cdot l_{BD}}{E \cdot A_{BD}}, \text{ мм} \quad (3.14)$$

За наведеною методикою проведено розрахунки та отримано наступні результати.

Абсолютна деформація стержня ВС $=7,73 \cdot 10^{-4}$ мм;

Абсолютна деформація стержня BD $=1,91 \cdot 10^{-3}$ мм.

Положення вузла В після деформації стержнів визначиться в результаті зведення деформаційного трикутника з боками $l_{BC} + \Delta l_{BC}$ і $l_{BD} - \Delta l_{BD}$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

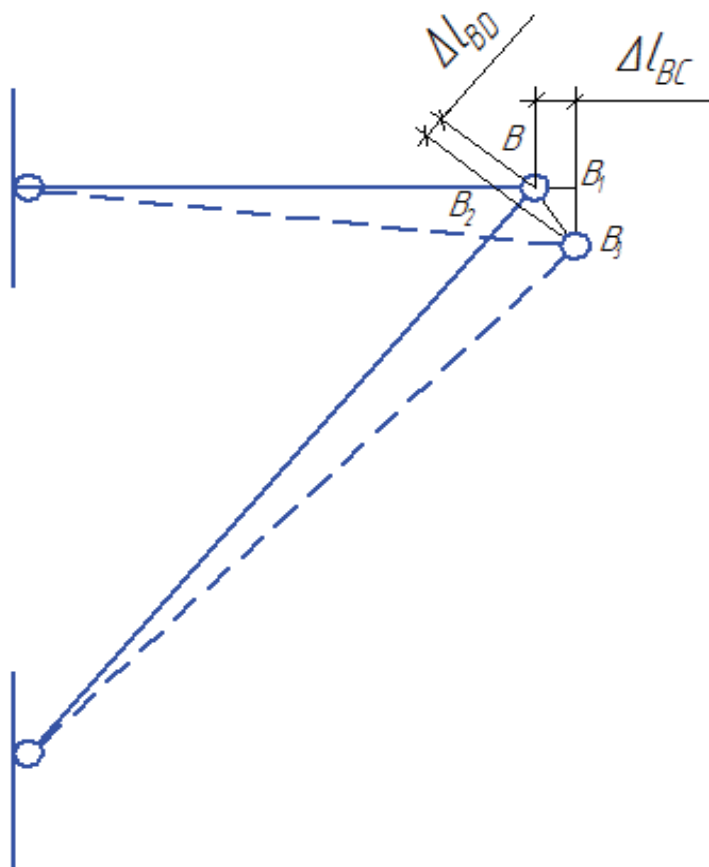


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема дії навантажень на рамку з підкосом

Стержень BC стискається на величину Δl_{BC} , кінцевий переріз переміщується в точку B_1 . Радіусом, що дорівнює CB_1 проводимо із точки C дугу. Так, як переміщення досить невеликі, то дугу можна замінити дотичною, проведеною через точку B_1 перпендикулярно до осі стержня BC (рис. 3.5).

Стержень BD стиснеться на відстань Δl_{BD} , і кінцевий переріз зміститься в точку B_2 . Заміняючи дугу, що описана з точки D радіусом DB_2 дотичною, яка проведена через B_2 перпендикулярно до осі стержня BD, отримаємо на перетині їх перпендикулярів точку B_3 – що є новим положенням вузла B. З'єднавши точку B з B_3 знайдемо переміщення Δ вузла B.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Місцем установки поворотної системи попередньо була обрана стіна на даху будівлі, де знаходиться кафедра МАЕЕС (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Фото місця установки під поворотну систему сонячних панелей.

Місце встановлення обрано не випадково, адже на кафедрі вже змонтовано невеличку сонячну електростанцію, котра займає чималу частину невикористаної площі стіни. Вона дає змогу заощаджувати електроенергію для навчального закладу, а також продавати залишок енергії в мережу. Через особливості місця монтажу нам потрібно провести розрахунок болтів. Адже на них триматиметься досить важка конструкція, яка також буде піддаватися зовнішнім навантаженням.

З розрахунків видно, що переміщення у вузлі незначні і не вплинуть на точність позиціонування.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.5 Розрахунок болтів

Враховуючи те, що місце установки - цегляна вертикальна стіна, а також з розрахункової схеми видно, що все навантаження припадає на анкерні болти та інші кріпильні болти конструкції. З практики зрозуміло, що анкерні болти для надійного кріплення здебільшого вставляють в отвори, котрі не припадають на шви кладки, які досить нетривкі і схильні до руйнування. А розмір цеглин кладки доволі малий і для уникнення розтріскування цегли при свердлінні отворів було вирішено використовувати анкерні болти $\varnothing 14$ М12. Болти в конструкціях такого роду відіграють важливу роль, адже на відміну від інших видів з'єднань здатні добре сприймати не тільки статичні, а й динамічні навантаження. У нашому випадку болтові з'єднання дуже важливі, адже дають змогу легко монтувати конструкцію і є змога легко вдосконалювати конструкцію чи усувати деякі нові проблеми, які виникають у процесі виготовлення. Адже деякі нюанси виявляються тільки при складанні установки.

Відповідно до правил проектування [18], розрахункове зусилля, що може бути сприйняте одним болтом, визначене за формулами:

- при зрізі болта:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (3.21)$$

- при зминанні металу з'єднувальних елементів в отворі:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot \sum t_{min} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (3.22)$$

- при розтягу болта:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c. \quad (3.23)$$

де R_{bs}, N_{bp}, R_{bt} - розрахункові опори одно болтових з'єднань;

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$A_b = 0.78 \cdot d_b^2$ - площа поперечного перерізу стрижня болта;

n_s - кількість розрахункових площин зрізу одного болта;

d_b - зовнішній діаметр стрижня болта;

$\sum t_{min}$ - найменша сумарна товщина елементів у з'єднанні, які зминаються в одному напрямку;

A_{bn} - площа поперечного перерізу нетто болта з різьбою, що приймається відповідно до таблиці Д.8[18];

y_c - коефіцієнт умов роботи, який визначається за табл 5.1 [18];

y_b - коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання, який визначається за табл 16.4[18]

3.6 Складання та огляд експериментальної установки

За допомогою креслення загального виду була зібрана експериментальна установка. Основні деталі, які послужили для рами були виготовлені на кафедрі машин і апаратів із профільних труб та деяких оригінальних деталей, які виготовлялися на токарному верстаті. Першочергово був зварений підкос рами із кронштейном для кріплення на анкерних болтах та інші елементи. Під час збирання рами була встановлена сферова опора і корпус із підшипником та втулкою, пройшла перевірка стикування деталей між собою без установки на місце розташування.

Після проведеної установки на місце розташування проведено під'єднання до інвертора і підключено живлення до засобів контролю (рис. 3.9), та підключений активатор (рис. 3.8).

Датчик положення Сонця (рис.3.9) міститься в нижній частині робочого столу трекара, це зумовлено зручністю в обслуговуванні, а також у цій частині він буде точніше орієнтувати сонячні панелі ніж у випадку, коли він розташовується на одному з країв панелей. Оскільки на крайніх частинах

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

панелей можливі вібрації та незначні деформації від дії вітру, які здатні нашкодити точності.



Рисунок 3.7 - Зображення слідкуючої трекерної системи у зборі

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



Рисунок 3.8 – Зображення підключеного актуатора до експериментальної установки



а



б

Рисунок 3.9 – для одновісної системи та контролер керування

а) датчик положення Сонця; б) контролер керування

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.6 Висновки до розділу

Внаслідок праці над цим розділом було розроблено систему орієнтації сонячних трекерів. Обґрунтуванням обраної конструкції послужила відносна простота у порівнянні з двовісними системами стеження а також невелика потужність самої експериментальної установки, що буде економічно не вигідно при купівлі ще одного окремого приводу. Запропонована кінематична схема механізму осьового переміщення сонячних панелей і складальне креслення опорної конструкції трекера, проведено розрахунок кутів зеніту і вибір оптимальних кутів для регулювання на основі отриманих даних.

Для запропонованої конструкції також було виконано розрахунок впливу вітрових навантажень.

Проведені розрахунки дали можливість виготовити експериментальну установку. Під час розрахунків вдалося врахувати і виявити низку недоліків, такі як значні навантаження на опори, що змусило додатково проводити розрахунок болтів. Розрахунки геометрії дали змогу уявити габарити установки. Завдяки проведеній роботі вдалося підібрати найкращу компоновку деталей і враховано особливість зміщень кронштейна, що впливає на точність позиціонування і в результаті на ККД установки.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Висновки

1. Внаслідок роботи над кваліфікаційною роботою виконано розбір сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів в сфері сонячної енергетики, котрий засвідчив динамічні тенденції до розвитку технологій ФЕП та підвищення їх експлуатаційних й технічних властивостей у швидкозростаючій та перспективній галузі фотовольтаїки.

2. На підставі проведеного розбору встановлено, що найкращим варіантом використання у виробництво є монокристалічні фотоелектричні сонячні модулі, оскільки мають найвищі техніко-економічні показники: вищий ККД (до 16-17%), високу надійність (до 25-50 років експлуатації із допустимим зменшенням потужності до 80% від максимальної в новому модулі) та вищу стабільність параметрів.

3. На основі аналізу сучасних технологій застосування ФЕП встановлено, що найбільша енергетична ефективність досягається при нормальному куті падіння сонячних променів 90° , а сам робочий напівпровідниковий матеріал ФЕП мусить мати найменшу температуру. Оптимальний режим роботи забезпечується автоматичною корекцією кута падіння за допомогою систем автонаведення на Сонце (трекери), що дає можливість одержувати на 20-30 % більше енергії порівнюючи зі стаціонарним варіантом. Також для підвищення енергетичної ефективності перспективним є можливість застосування оптичних дзеркал, котрі спрямовують додатковий оптичний потік на поверхню.

4. Оптимальним варіантом для робочої установки була обрана одновісна поворотна система з можливістю ручного регулювання кута по zenіту. Обґрунтуванням ручного регулювання послужила відносна простота конструкції в порівнянні з двовісними системами слідування, а також невелика потужність самої експериментальної установки, що буде економічно не вигідно при покупці додаткового приводу.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

5. Запропонована кінематична схема механізму осьового переміщення сонячних панелей і креслення загального виду опорної конструкції поворотної системи.

6. Проведений розрахунок кутів зеніту і вибір оптимальних кутів для регулювання на основі отриманих даних. Проведений кінематичний розрахунок дав змогу попередньо побачити деякі можливості рами та отримано уявлення про майбутні проблеми у конструюванні.

7. Розроблено систему орієнтації сонячних панелей. Обґрунтуванням вибраної конструкції послужила відносна простота в порівнянні з двовісними системами слідкування, а також невелика потужність самої експериментальної установки, що буде економічно не вигідно при покупці ще одного окремого приводу.

8. Для запропонованої конструкції також було виконано розрахунок дії вітрових навантажень. Проведені розрахунки дали змогу виготовити експериментальну установку. Під час розрахунків вдалося виявити і врахувати ряд недоліків, зокрема значні навантаження на опори, що змусило додатково проводити розрахунок болтів. Завдяки проведеній роботі, отримано геометричні параметри складових частин конструкції і враховані особливості дії навантажень від ваги конструкції, що впливає на точність позиціонування і в результаті на ККД установки.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік джерел посилань

1. Michael Forst. Germany's module industry poised for growth // SUN & Wind Energy. -Vol.5. -2011. - pp.256-263.

2. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В. П. Кожем'яко, В. Г. Домбровський, В. Ф. Жердецький, В. І. Маліновський, Г. В. Притуляк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2011. - № 2. - С. 142-157. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeiet_2011_2_20

3. Фаренбрух А. Сонячні елементи: теорія та експеримент: [Пер. з англ. І.П. Гаврилової та А.С. Даревського; за ред. М.М. Колтуна] / А. Фаренбрух, Р. Бьюб . -К.: Енергоатомвидав, 1987. -280с. -ил.

4. Сонячна енергетика: огляд галузі : [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії Nitol Solar Limited. - Режим доступу World Wide Web: <http://nitolsolar.com/rusolarenergy/>

5. Україна: огляди ринку фотовольтаїки, серпень 2011 року: [Електронний ресурс] / О.Є. Гадалова, З. Г.Симоненко, Б.Л. Ейдельман, В.М. Звероловлєв, Д. Лукомський, М. Черевко та ін. //Відкритий звіт інформаційно-аналітичної агенції Cleandex PV . - Режим доступу World Wide Web: http://www.cleandex.ua/cleanwatch/2011/08/29/Ukraine_photovoltaic_market_report_2011

6. Сафонов В.А. Розробка комбінованої сонячної установки для автономного споживача / В.А.Сафонов, В.В.Кувшинов // Відновлювана енергетика . - №4(23). -2010. - с.61-69.

7. Eckart von Malsen Opportunities for large-scale projects // SUN & Wind Energy. -Vol.5. -2011. - pp.254-255.

8. Solar energy / Wikipedia, [Free Internet Encyclopedia]. - Режим доступу World Wide Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

9. Gil Knier. How do Photovoltaics Work? : [Електронний ресурс] / по матеріалам NASA Science Headline News by Knier Gil . - vol.34. -2002. - pp.245-247. - Режим доступу World Wide Web: http://science.nasa.gov/sciencenews/science_at_nasa/2002/solarcells/

10. Photovoltaic energy, electricity from the sun : [Електронний ресурс] / Daniel Fraile, Marie Latour, Adel El Gammal, Michael Annett. // EPIA Publications. -vol.50.- april 2010. - Режим доступу World Wide Web: <http://www.epia.org/publications/photovoltaic-publications-global-market-outlook.html>

11. Парусность. Часть 1/ [Електронний ресурс] / Гл. ред. Л. К. Мартенс /Статья из Технической Энциклопедии 1927-34 г.г. Режим доступу World Wide Web: http://samlib.ua/t/tonina_o_i/te_parus_01.shtml

12. Варіант кріплення конструкції / [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії Солар Стальконструкція - Режим доступу World Wide Web: <http://www.solarsk.com.ua/index.php/en/typography/74-variant-krepleniya-konstr.>

13. Азімут та висота сонця над горизонтом/ [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії ТОВ "ПЛАНЕТКАЛЬК"- Режим доступу World Wide Web: <http://planetcalc.ru/320/>

14. Сонячні трекери/ [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії UST. - Режим доступу World Wide Web: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/>

15. Вибір типу трекера/ [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії UST. - Режим доступу World Wide Web: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/2867/>

16. Вибір типу трекера/ [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії UST. - Режим доступу World Wide Web: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/2866/>

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

17. Вибір типу трекара/ [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії UST. - Режим доступу World Wide Web:
<http://www.solarhome.ua/basics/pv/techtilt.html>

18. Строительные нормы и правила: СНиП 2.01.07 – 85. Нагрузки и воздействия [Текст]: нормативно-технический материал., 1987. – 36 с.

19. Розрахунок профільної труби на вигин / [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії ЕкспертТруб - Режим доступу World Wide Web:
<http://experttrub.ua/questions/raschet-profilnoj-truby-na-progib-224338.html>

20. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. – К.: Наукова думка, 2002. – 660 с.

21. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1988. – 640 с.

22. Трекер для сонячних батарей/ [Електронний ресурс] / за матеріалами компанії Unisolar. - Режим доступу World Wide Web:
<http://unisolartrade.com.ua/baza-znani/treker-dlia-solnechnyh-batarei>

23. Опір матеріалів. Підручник /Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський. За ред. Г. С. Писаренка — К.: Вища школа, 1993 .- 655 с. ISBN 5-11-004083-5

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58