

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущено
завідувач кафедру

Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ” 2025 року

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

на тему: "Проект системи альтернативного живлення приватного будинку на
базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем"

Виконав: студент IV курсу, групи Е-42

спеціальності

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Дмитро СОЛОВЕНЮК

Керівник проєкту Богдан АНТИПЧУК

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2025 року

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення " Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки "
Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"
галузь знань 14 "Електрична інженерія"
спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри

Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Соловенюку Дмитру Миколайовичу

- 1.Тема дипломного проєкту “ Проєкт системи альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем ” та керівник дипломного проєкту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 03 грудня 2024 року, №495-н.
2. Строк подання студентом проєкту “__” червня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: розміри ділянка для розміщення сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем; висота опорної стійки трекера 3 метра, розміри поворотної платформи трекера : довжина 3 метра, ширина 1.6 метра.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - Вступ;
 - Огляд аналітичних аспектів сонячного трекера;
 - Система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем;
 - Оцінка економічної ефективності проєкту;
 - Охорона праці;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:

- Схема електрична структурна. Система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем;
- Схема електрична принципова. Електромеханічна система керування сонячним трекером.

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
ГЧ та технічна документація	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	

7. Дата видачі завдання “03” грудня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вступ	05.12.2024р.	
2.	Розділ 1	12.12.2024р.	
3.	Розділ 2	23.12.2024р.	
4.	Розділ 3	23.01.2025р.	
5.	Розділ 4	27.03.2025р.	
6.	Висновки	25.05.2025р.	
7.	Графічна частина та технічна документація	25.05.2025р.	

Студент: _____ Дмитро СОЛОВЕНЮК

Керівник проєкту: _____ Богдан АНТИПЧУК

“ Проєкт системи альтернативного живлення приватного будинку на базі

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить 68 сторінок пояснювальної записки, що складається з чотирьох розділів, а також графічну частину, представлену на двох аркушах креслярського паперу формату А1.

У першому розділі дипломного проєкту проаналізовано функціонального призначення сонячних панелей у трекерній системі, класифікацію та конструктивні особливості трекерів, методи їх керування та актуатор як ключовий елемент механічного приводу. Також розглянуто типові конструкції трекерів і технічні вимоги до їх електромеханічної системи, що формує основу для подальшої розробки системи.

Другий розділ містить аналіз та проєктування електромеханічної системи, що забезпечує ефективне використання сонячної енергії. Розглядаються вихідні дані для розробки, розрахунок і вибір ключових елементів, таких як двигун, редуктор та мікроконтролер. Окремо аналізуються компоненти керування, архітектура енергосистеми та принципова електрична схема трекера. Завершується розділ вибором приладів обліку та оптимізацією системи для стабільного енергозабезпечення.

У третьому розділі здійснено аналіз капіталовкладень, експлуатаційних витрат та розрахунок терміну окупності системи, що дозволяє оцінити фінансову доцільність реалізації проєкту.

У четвертому розділі розглядається питання безпеки при монтажі трекерних сонячних систем, а також заходи надання першої допомоги при ураженні електричним струмом, забезпечуючи належний рівень захисту персоналу.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД АНАЛІТИЧНИХ АСПЕКТІВ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА	10
1.1 Функціональне призначення сонячних панелей у трекерній системі	10
1.2 Класифікація сонячних трекерів	13
1.3 Будова сонячного трекера	17
1.4 Методи керування сонячним трекером	18
1.5 Функції та призначення актуатора	20
1.6 Типові конструкції сонячних трекерів	21
1.7 Формування технічних вимог до електромеханічної системи трекера	22
2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ТЕХНОЛОГІЄЮ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ	24
2.1 Вихідні дані для проєктування системи	24
2.2 Розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи	25
2.2.1 Визначення необхідної потужності та оптимальний вибір двигуна	25
2.2.2 Вибір редуктора	31
2.2.3 Аналіз перевантажувальної здатності двигуна	33
2.2.4 Визначення параметрів асинхронного двигуна	35
2.3 Вибір компонентної бази для реалізації електромеханічної системи сонячного трекера	36
2.3.1 Вибір мікроконтролера	38
2.3.2 Вибір рідкокристалічного дисплея	39
2.3.3 Вибір магнітного компасу	40
2.3.4 Вибір акселерометра	42
2.3.5 Вибір годинника реального часу	43
2.3.6 Вибір частотного перетворювача	44

2.4 Опис роботи електричної принципової схеми електромеханічної системи сонячного трекера	45
2.5 Вибір архітектури сонячної енергосистеми та розрахунок інвертора	46
2.6 Вибір приладів обліку електричної енергії	48
3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ	49
3.1 Оцінка капіталовкладень проєкту	49
3.2 Аналіз витрат на експлуатацію проєкту	53
3.3 Оцінка терміну, за який система компенсує вкладені кошти	55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1 Охорона праці при монтажі трекерних сонячних систем	59
4.2 Перша допомога при ураженні електричним струмом	61
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	68

ВСТУП

На сьогоднішній день енергія широко використовується в усіх аспектах людського життя, причому її потреби постійно зростають. Однак традиційні запаси природних палив, таких як нафта, вугілля та газ, є вичерпними, що спричиняє необхідність активного пошуку альтернативних джерел енергії. До таких належать сонячна, вітрова та геотермальна енергія, які вважаються невичерпними.

Серед усіх відновлюваних джерел саме сонячна енергія виділяється масштабами ресурсів та екологічною чистотою. Її використання для виробництва електроенергії в Україні стрімко набирає популярності. Сонячна енергетика входить до пріоритетних національних проєктів, а восени 2010 року була введена в експлуатацію перша сонячна електростанція. Станом на початок 2024 року загальна потужність українських сонячних електростанцій перевищила 752 МВт.

Пряме перетворення сонячного випромінювання на електроенергію є зручним для споживачів і водночас екологічно чистим, оскільки не потребує використання викопного палива, ядерної сировини чи гідроресурсів. Втім, поряд з перевагами існують і певні недоліки. Погодні умови можуть суттєво впливати на ефективність систем, а висока вартість сонячних елементів і тривалий термін їх окупності нерідко стають перешкодами. Проте щороку попит на сонячні електростанції в Україні зростає, що сприяє зниженню цін на відповідні технології.

Важливим аспектом експлуатації таких станцій є їх технічне обслуговування, що може становити певні труднощі. Разом з тим, сонячна енергетика продовжує розвиватися, демонструючи позитивні тенденції та зростаючу доступність.

Використання сонячних панелей показало, що значний нагрів фотоелементів може суттєво знижувати продуктивність системи, тому необхідно передбачити механізми охолодження модулів. Крім того, сонячні батареї потребують регулярного очищення від пилу та бруду, а у випадку великогабаритних установок це може створювати додаткові труднощі.

Основним викликом у використанні сонячної енергії залишається її залежність від інтенсивності світла. Для ефективного збору енергії панель повинна бути розташована перпендикулярно до сонячного випромінювання. Оскільки сонце змінює своє положення як протягом дня, так і протягом року, необхідно застосовувати системи стеження, що забезпечують оптимальний кут нахилу панелей.

Вирішенням цієї проблеми є використання трекерів, які коригують положення панелей відповідно до руху сонця, гарантуючи максимальний рівень поглинання енергії. Такі системи можуть бути активними або пасивними та функціонувати на основі одноосьових або двоосьових механізмів регулювання.

Може здатися, що технологія сонячної енергетики має низку недоліків, проте завдяки постійному розвитку технологій їх усунення — лише питання часу.

Таким чином, дипломний проєкт спрямований на вирішення однієї з ключових проблем у сфері видобутку енергії, а саме на підвищення її ефективності шляхом розробки системи автоматичного позиціонування сонячних панелей у найбільш оптимальне положення.

1 ОГЛЯД АНАЛІТИЧНИХ АСПЕКТІВ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

1.1 Функціональне призначення сонячних панелей у трекерній системі

Трекер є важливим елементом у сфері сонячної енергетики, оскільки дозволяє максимально ефективно використовувати сонячне випромінювання протягом світлового дня.

Для перетворення сонячної енергії в електричну застосовуються сонячні панелі (рис. 1.1). Історія розвитку сонячної енергетики налічує понад століття. Спочатку сонячну енергію використовували переважно для виробництва пари, яка слугувала джерелом механічної енергії. Однак після відкриття Едмондом Беккерелем явища фотоефекту стало можливим безпосереднє перетворення сонячної енергії в електричну.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд сонячних панелей

Це відкриття сприяло створенню першого сонячного елемента Чарльзом Фріттсом у 1893 році, який виготовлявся шляхом нанесення тонкого шару золота на селенові пластини. Саме цей винахід став основою сучасних сонячних батарей. У 1941 році американський інженер Рассел Ол запатентував перший кремнієвий сонячний елемент, що згодом привело до виробництва першої комерційної сонячної панелі в 1954 році.

Спочатку сонячні панелі знайшли застосування в космічних супутниках, а згодом стали доступними для широкого використання. Для багатьох людей перше знайомство із сонячною енергією відбулося через калькулятори, які почали оснащуватися сонячними батареями у 1970-х роках.

Сьогодні сонячні панелі використовуються для живлення різноманітних пристроїв, включаючи житлові та комерційні будівлі, що робить їх одним із ключових елементів сучасної енергетики.

Сонячні панелі та їхні системи широко застосовуються для живлення різних пристроїв. Вони продовжують використовуватися у вигляді сонячних батарей, зокрема в калькуляторах, а також забезпечують електроенергією житлові та комерційні будівлі.

Застосування сонячних панелей є ефективним способом виробництва електроенергії для різних потреб. Однією з ключових переваг є можливість автономного енергозабезпечення, що особливо актуально для місць, не

підключених до централізованої електромережі. Завдяки сонячним системам віддалені будинки та підприємства отримують незалежне джерело енергії, усуваючи необхідність у дорогих електричних комунікаціях.

Крім того, сонячна енергія є екологічно чистим і відновлюваним джерелом. В умовах глобальних кліматичних змін її використання сприяє зменшенню викидів парникових газів. Сонячні панелі мають просту конструкцію без рухомих частин, що мінімізує потребу в обслуговуванні.

Ще однією важливою перевагою є економічна ефективність: після окупності початкових витрат на встановлення система забезпечує безкоштовне виробництво електроенергії протягом десятиліть. Для власників мережевих сонячних установок це також може означати додатковий дохід від продажу надлишкової енергії. Таким чином, сонячні панелі є перспективним рішенням для сталого енергозабезпечення.

Сонячні панелі мають значну перевагу: після окупності початкових витрат на встановлення вони забезпечують безкоштовне виробництво електроенергії протягом усього терміну експлуатації, який може тривати 15–20 років залежно від якості системи.

Для власників мережевих сонячних установок вигоди починаються з моменту запуску системи, оскільки вони можуть значно зменшити або повністю усунути щомісячні витрати на електроенергію. Крім того, надлишок виробленої енергії можна передавати в електромережу, отримуючи додатковий дохід від енергетичної компанії.

Фотоелектричні модулі використовують сонячне світло (фотони) для генерації електрики через фотоефект. Більшість модулів складаються з кристалічних кремнієвих елементів або тонкоплівкових комірок. Їхня конструкція передбачає захист від зовнішніх впливів, що можуть пошкодити систему.

Сонячні панелі можуть мати жорстку або напівгнучку структуру, залежно від технології виготовлення. Елементи панелей зазвичай з'єднуються послідовно для досягнення необхідного рівня напруги, а потім

паралельно для збільшення струму. Важливим параметром, що визначає ефективність всієї установки, є її корисна потужність, яка залежить від напруги та вихідного струму. Потужність модуля (Вт) розраховується як добуток напруги (В) та струму (А).

Сонячна панель забезпечує живлення контролера заряду, який відповідає за накопичення енергії в акумуляторних батареях. Найефективніше використання сонячної енергії досягається при розташуванні панелі перпендикулярно до сонячних променів, що потребує її автоматичного обертання відповідно до положення Сонця. Для цього застосовується сонячний трекер, який складається з механізмів переміщення платформи, двигуна та електронної системи керування.

Одним із перспективних напрямків у розвитку сонячних технологій є прозорі сонячні панелі, які можуть бути частково або повністю прозорими. Звичайні панелі поглинають сонячне світло та перетворюють фотони в електроенергію, проте у випадку прозорих панелей цей процес ускладнюється через їхню здатність пропускати світло. Це створює виклик для розробників, оскільки ефективне поглинання енергії стає складнішим.

Попри технологічні труднощі, вже існують інноваційні розробки, що сприяють прогресу в цій сфері. Компанія NEXT Energy запустила стартап із встановлення прозорих сонячних панелей у вікна, що може значно покращити енергетичну ефективність будівель. Вікна, створені за технологією Ubiquitous Energy, мають органічне покриття товщиною 1/1000 міліметра, яке поглинає інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання, перетворюючи його на електричний струм. Отриману енергію можна накопичувати в батареях або використовувати для живлення будинків і офісів.

Ця технологія отримала підтримку уряду штату Каліфорнія, який зобов'язав девелоперів оснащувати нові будівлі системами генерації сонячної енергії, починаючи з 2020 року. Це може стати важливим кроком у розвитку екологічно чистих енергетичних рішень.

1.2 Класифікація сонячних трекерів

Виробники постійно вдосконалюють сонячні панелі, прагнучи підвищити їхню продуктивність порівняно з попередніми та конкурентними моделями. Одним із ефективних способів збільшення вихідної потужності системи є використання сонячних трекерів. На відміну від стаціонарних систем із фіксованим нахилом, трекери дозволяють панелям слідувати за рухом Сонця протягом дня, забезпечуючи оптимальне поглинання енергії.

Для досягнення максимальної ефективності роботи сонячної станції необхідно, щоб сонячні промені падали на панелі під кутом 90° . Це забезпечує найкраще освітлення поверхні панелей, що періодично змінює своє положення відповідно до руху Сонця.

Переміщення Сонця по небу протягом дня та року є ключовим параметром для системи контролю. Вона відповідає за коригування орієнтації панелей, щоб вони залишалися спрямованими на Сонце. Геометричні взаємозв'язки між Сонцем і Землею відіграють важливу роль у цьому процесі. Земля протягом року рухається по еліптичній орбіті навколо Сонця, що спричиняє зміну сезонів та тривалості світлового дня. Це необхідно враховувати при розробці ефективних систем позиціонування сонячних панелей.

Висота Сонця на небосхилі змінюється протягом року через прецесію земної осі, що спричиняє її переміщення відносно площини екліптики. Упродовж дня Земля обертається навколо своєї осі, здійснюючи повний оберт, що зумовлює явища сходу та заходу Сонця.

Протягом доби Земля здійснює повний оберт навколо своєї осі на 360° , однак сонячні панелі виробляють електроенергію лише в період світлового дня. Тривалість освітлення змінюється залежно від широти та місця встановлення панелей.

Важливо враховувати два фактори, що впливають на висоту Сонця: його добове переміщення та сезонні зміни. Положення Сонця на небосхилі визначається двома кутами: азимутом і зенітом. Азимут – це кут між напрямком на північ і проекцією Сонця на горизонтальну площину Землі. Зенітний кут характеризує висоту Сонця над горизонтом.

Азимут змінюється протягом дня через обертання Землі навколо своєї осі (його також називають часовим кутом), а зенітний кут змінюється внаслідок прецесії земної осі. Таким чином, при розробці системи контролю необхідно враховувати два основні рухи Сонця: щоденне переміщення по осі азимута та щорічну прецесію земної осі, що впливає на його положення відносно екліптики.

Положення Сонця можна контролювати двома способами: за допомогою однієї або двох осей. Відповідно до цього механізм системи контролю поділяється на одноосьовий та двоосьовий. (див. рисунок 1.2)

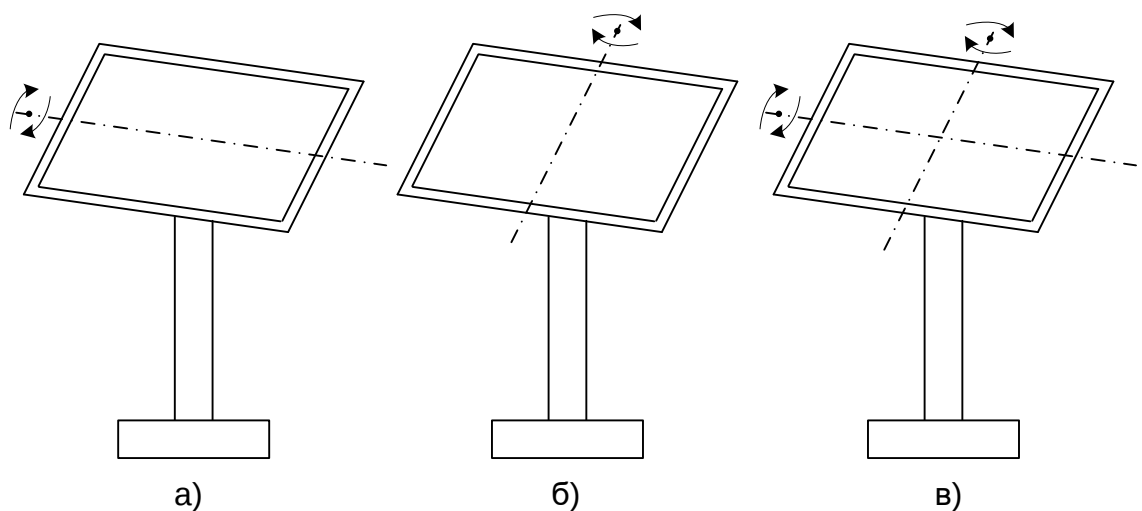


Рисунок 1.2 – Системи контролю: а) – одноосьова (горизонтальна), б) – одноосьова (вертикальна), в) – двовісна

Одноосьові трекири регулюють положення панелей лише в одній площині, контролюючи їхнє переміщення відповідно до азимутального або екліптичного руху Сонця. Оскільки зміна положення Сонця по азимуту

протягом дня має більший вплив, системи контролю по осі екліптики застосовуються рідко.

Для підвищення ефективності одноосьового стеження другу вісь орієнтують паралельно осі Землі, спрямовуючи її на південь під кутом до горизонту, що відповідає широті місцевості. Двоосьові системи забезпечують більш точне відстеження сонячного руху та вищу продуктивність, проте їхня конструкція є складнішою і дорожчою. Тому найчастіше використовують одноосьові системи, а для оптимізації їхньої роботи вручну коригують кут нахилу 3 – 4 рази на рік.

Одноосьові трекири виробляють менше енергії за одиницю часу порівняно з двоосьовими системами, проте їхня компактна конструкція займає менше місця, що спрощує монтаж, експлуатацію та обслуговування.

Ці трекири поділяються на централізовані та децентралізовані. Централізовані (або розподілені) моделі використовують один двигун для приводу трансмісії між рядами, що забезпечує синхронне переміщення всього сегмента панелей. Децентралізовані системи оснащені окремими двигунами для кожного ряду, а деякі конструкції мають приводи на кожному сегменті, що дозволяє регулювати положення панелей незалежно від сусідніх модулів.

Спочатку одноосьові трекири працювали за принципом жалюзі, синхронно переміщуючи ряди панелей протягом дня. Сучасні програмні алгоритми відстеження враховують розсіяне світло, вітрові навантаження та затінення, що підвищує ефективність роботи системи.

Сонячні панелі працюють найефективніше, коли їхня поверхня розташована перпендикулярно до сонячних променів. Зазвичай вони встановлюються на дахах або спеціальних конструкціях у фіксованому положенні, що не дозволяє їм слідкувати за рухом Сонця протягом дня. Через це панелі не завжди знаходяться під оптимальним кутом (90°) упродовж усього світлового періоду.

Оскільки Земля рухається навколо Сонця, кут падіння променів змінюється залежно від сезону. Взимку Сонце знаходиться нижче над горизонтом, ніж у літній період. Ідеальне розташування панелей передбачає їхнє більш горизонтальне положення влітку та більш вертикальне взимку. Якщо немає можливості змінювати кут нахилу двічі на рік, панелі слід встановлювати під середнім значенням між оптимальними кутами для літнього та зимового періоду. Для кожної широти існує свій оптимальний кут нахилу, а в екваторіальних регіонах панелі зазвичай розташовують горизонтально.

Двовісні трекири забезпечують більш ефективне використання сонячної енергії, оскільки вони коригують положення панелей відповідно до сезонних змін. Завдяки цьому вони можуть генерувати на 30–40% більше енергії порівняно зі стаціонарними системами. Двовісні трекири широко застосовуються в житлових і комерційних будівлях, а також починають використовуватися у великих комунальних проектах.

Кожен двовісний трекир встановлюється на піднятій опорі, що дозволяє досягати більшого діапазону кутів нахилу панелей. Такі системи можуть вміщувати до 20 панелей на одній поворотній площині. Висота конструкції ускладнює доступ до панелей для очищення від пилу або снігу, особливо в зимовий період. Однак завдяки своїй конструкції двовісні трекири залишають простір під собою придатним для інших цілей, таких як сільське господарство або облаштування навісів для автомобілів.

1.3 Будова сонячного трекира

Повна комплектація сонячного трекира включає такі основні компоненти:

- *несучу конструкцію, що складається з фіксованої та рухомої частини з однією або двома осями обертання;*

- систему позиціонування, яка містить актуатори та керуючі пристрої;
- систему безпеки, що забезпечує захист від перевантажень, блискавок та аналізує погодні умови;
- систему керування та інтерфейс, призначені для обслуговування енергосистеми;
- систему віддаленого доступу, що використовує роутер для підключення до інтернету;
- систему навігації, яка визначає географічне положення станції (на стаціонарних трекерах може бути необов'язковою);
- інвертор, що перетворює постійний струм у змінний для передачі споживачеві або на приймаючу станцію. Кількість інверторів може варіюватися від одного до трьох.

Загальний вигляд системи сонячного трекера представлений на рисунку 1.3.

Повна комплектація трекера не завжди є економічно доцільною, тому на практиці деякі його компоненти можуть бути відсутні. Конфігурація трекера залежить від його типу, функціонального призначення та інших факторів.



Рисунок 1.3 – Складові частини сонячного трекера

Конструкція трекера повинна бути достатньо міцною, щоб витримувати сильні вітрові навантаження. Зі збільшенням кількості сонячних панелей на платформі зростає і її парусність, що впливає на стійкість всієї системи. Тому при виборі складових частин особливу увагу приділяють надійності та механічній стійкості конструкції.

Ще одним фактором, що може впливати на роботу трекера взимку, є сніговий покрив. Для підвищення ефективності системи його необхідно своєчасно очищати.

1.4 Методи керування сонячним трекером

Керування сонячним трекером може здійснюватися різними методами, основні з яких: ручний метод, метод який базується на фотоприймачах, метод програмованого керування актуаторами.

Ручне регулювання положення сонячних панелей є застарілим та малоефективним методом. Через економічні фактори та вплив людського чинника цей спосіб керування вже давно не застосовується.

Функціонування системи позиціонування сонячних панелей ґрунтується на використанні фотоприймачів (рис. 1.4). Вони розташовані з обох боків трекера, що дозволяє отримувати дані про рівень освітленості на відповідних ділянках. На основі цієї інформації формується керуючий сигнал для актуаторів, які регулюють положення панелей до моменту, поки освітленість на фотоприймачах не стане рівномірною.



Рисунок 1.4 – Система позиціонування сонячного трекера на фотоприймачах

Однак така система часто працює некоректно в умовах хмарної погоди або при забрудненні фотоприймачів. Її головною перевагою є надзвичайно доступна вартість.

Програмоване керування актуаторами здійснюється на основі визначення положення Сонця у відповідний момент часу. Його рух по небу відбувається за траєкторією від сходу до заходу, а координати Сонця під час переміщення описуються двома параметрами: азимутом і зенітом (див. рисунок 1.5).

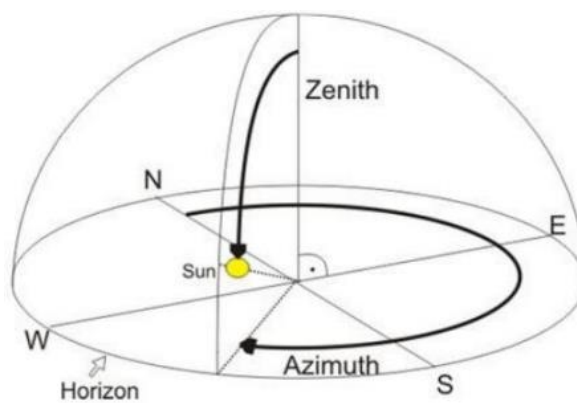


Рисунок 1.5 – Розташування Сонця за Азимутом та Зенітним кутом

Азимут – це кут між напрямком на південь і положенням Сонця.

Зенітний кут – це кут між лінією, що з'єднує Сонце з об'єктом, на який воно світить, та горизонтальною площиною.

Пристрій оснащений вбудованим годинником, який використовується для розрахунку параметрів положення Сонця та самої установки. На основі

цих даних блок керування надсилає команди двигунам, змінюючи положення трекера на задану величину.

Основний принцип роботи системи полягає у компенсації двох типів зміщення Землі:

- добове зміщення, спричинене обертанням Землі навколо своєї осі;
- річне зміщення, що виникає внаслідок руху Землі навколо Сонця.

1.5 Функції та призначення актуатора

Актуатор – це універсальний виконавчий механізм, який може бути оснащений електромотором або працювати без нього, керуючись спеціальним пристроєм управління. Його відмінність від інших виконавчих пристроїв (наприклад, ШВП, РВП, ремінного приводу) полягає у відсутності необхідності додаткових компонентів, таких як лінійні підшипники, рейки чи каретки, для створення кінцевої конструкції.

Існують також електричні актуатори лінійного типу, які мають перевагу у можливості блокування передавального вала. Сучасні моделі актуаторів характеризуються збільшеною кількістю зубців на шестернях, що забезпечує підвищену міцність приводу, плавність ходу та точність роботи.

Актуатори можуть бути побудовані на основі двигунів постійного струму (див. рисунок 1.6), асинхронних двигунів (див. рисунок 1.7), крокових двигунів та інших типів електромеханічних приводів.

Лінійний актуатор складається з електродвигуна, механічного приводу та направляючої. Як привід використовуються різні механізми переміщення, зокрема кульково-гвинтова передача, гвинт-гайка, ремінний або рейковий привід. Направляюча може бути виконана у вигляді телескопічних труб, профільних рейкових елементів або лінійних направляючих ковзання чи кочення, що забезпечують рух. Актуатор може працювати з електродвигуном постійного або змінного струму.



Рисунок 1.6 – Актуатор реалізований на базі двигуна постійного струму



Рисунок 1.7 – Актуатор реалізований на базі двигуна змінного струму

1.6 Типові конструкції сонячних трекерів

Сонячний трекер – це рухома система, яка регулює орієнтацію сонячних модулів для досягнення максимальної ефективності їхньої роботи. Його принцип дії заснований на ключових властивостях сонячних батарей, які найкраще функціонують, коли сонячні промені падають на них під кутом 90° .

Практичні дослідження підтверджують значне підвищення продуктивності при використанні трекерів. Щорічне виробництво електроенергії може зрости на 30–35%, що є вагомим результатом, особливо з огляду на те, що для цього не потрібно збільшувати кількість панелей чи встановлювати додаткове дороге обладнання.

Сонячні трекери, що застосовуються у будівництві сонячних електростанцій, значно розширюють можливості використання сонячних елементів у різних регіонах. Наприклад, електростанції з трекерами в

північних областях України можуть виробляти електроенергію на рівні аналогічних станцій у Криму.

Український ринок пропонує широкий вибір сонячних трекерів як для побутового, так і для промислового використання. Зокрема, компанія GreenChip випускає різноманітні моделі, серед яких особливо цікавою та доступною є установка ST1500 (див. рисунок 1.8). Вона має одну вісь обертання, що дозволяє використовувати лише один привідний двигун, а її розташування під кутом 45° до землі забезпечує ефективність, порівнянну з двопривідними трекерами.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд трекера моделі ST1500

1.7 Формування технічних вимог до електромеханічної системи трекера

З огляду на ефективність, сонячний трекер доцільно реалізувати у двоосьовому виконанні, оскільки це забезпечує приблизно на 30% вищу продуктивність, як зазначено у попередніх розділах. Важливим параметром також є стійкість до вітрових навантажень, що досягається завдяки міцності конструкції та потужності приводу.

Основні функції електромеханічної системи сонячного трекера включають:

- забезпечення плавного та безперервного руху установки;
- точне регулювання кута повороту з кроком 1° ;
- визначені конструктивні параметри: висота опорної стійки – 3 метри; габарити поворотної платформи – 3×1.6 метра.

2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ТЕХНОЛОГІЄЮ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ

2.1 Вихідні дані для проектування системи

Згідно з поставленим завданням, у цьому проєкті передбачається розробка системи електропостачання приватного будинку на основі наземної сонячної електростанції, оснащеної фотоелектричними модулями та системою відстеження руху Сонця.

Вихідними даними для створення такої системи є земельна ділянка площею $6,5 \times 7,5$ м, розташована безпосередньо поруч із будинком, як показано на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Ділянка для розміщення сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем

З точки зору оптимального розміщення сонячних модулів, їх ефективної роботи, вибору двигуна для трекерної системи та фінансових витрат на реалізацію, доцільно розмістити всю електропостачальну систему на одній конструкції, оскільки наявна площа є достатньою для цього.

Також слід врахувати сформовані технічні вимоги до електромеханічної системи сонячного трекера наведені у підрозділі 1.7

даного проєкту, які були прийняті в ході огляду аналітичних аспектів побудови сонячних трекерів.

Отже, переходимо до розробки системи, починаючи з розрахунку необхідної потужності та вибору двигуна для трекерної частини.

2.2 Розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи

Щоб забезпечити належну роботу сонячного трекера, необхідно правильно підібрати елементи електромеханічної системи, зокрема електродвигун і редуктор, які відповідатимуть вимогам технологічного процесу. Крім того, слід провести розрахунок загального моменту інерції системи.

2.2.1 Визначення необхідної потужності та оптимальний вибір двигуна

Зважаючи на визначені вимоги до сонячного трекера (див. підрозділ 1.7), було обрано систему слідування за сонцем ST 1500, яка має такі ключові характеристики:

- кут повороту – 180°;
- дві осі обертання;
- підвищення ефективності до 30% порівняно зі статичними системами;
- робочий температурний діапазон від –40°C до +60°C.

Для визначення оптимального двигуна проведемо розрахунок необхідних параметрів.

Маса поворотної платформи, яка є рухомою частиною системи:

$$m_{\text{зар}} = m_1 + m_2 , \quad (2.1)$$

де:

m_1 – вага сонячних панелей, кг;

m_2 – вага поворотної площини кг.

Система стеження за сонцем ST1500 розрахована на встановлення до 6 сонячних панелей. Враховуючи той факт що, розроблювана нами система має бути економічно доцільною, то в якості основних фото-модулів ми будемо використовувати монокристалічні сонячні панелі, оскільки вони мають на 18-22 % вищий коефіцієнт корисної дії порівняно із полікристалічними сонячними панелями, що є вкрай важливим, так як максимально можлива кількість, яку ми можемо використати обмежена розмірами поворотного майданчика обраної нами системи ST1500 і тому чим більше продуктивність сонячної панелі – тим, в нашому випадку, краще.

В нашій системі ми будемо використовувати монокристалічні сонячні панелі компанії виробника Longi Solar модель LR5-54НТН-430М (див. рисунок 2.2), так як на момент проєктування нашої системи вони мали найдешевшу ціну купівлі, а саме 3392 грн, і підходять за габаритними розмірами для розміщення в розроблюваній нами системі. Потужність однієї такої панелі становить 430 Вт. Вага однієї сонячної панелі, яка необхідна нам для визначення маси поворотної платформи становить 16 кг.

Отже, визначимо вагу сонячних панелей:

$$m_1 = n \cdot m_{\text{панелі}}, \quad (2.2)$$

де:

n – кількість сонячних панелей, шт;

$m_{\text{панелі}}$ – маса однієї сонячної панелі, кг.

За виразом 2.1, що:

$$m_1 = 6 \cdot 16 = 96 \text{ кг.}$$

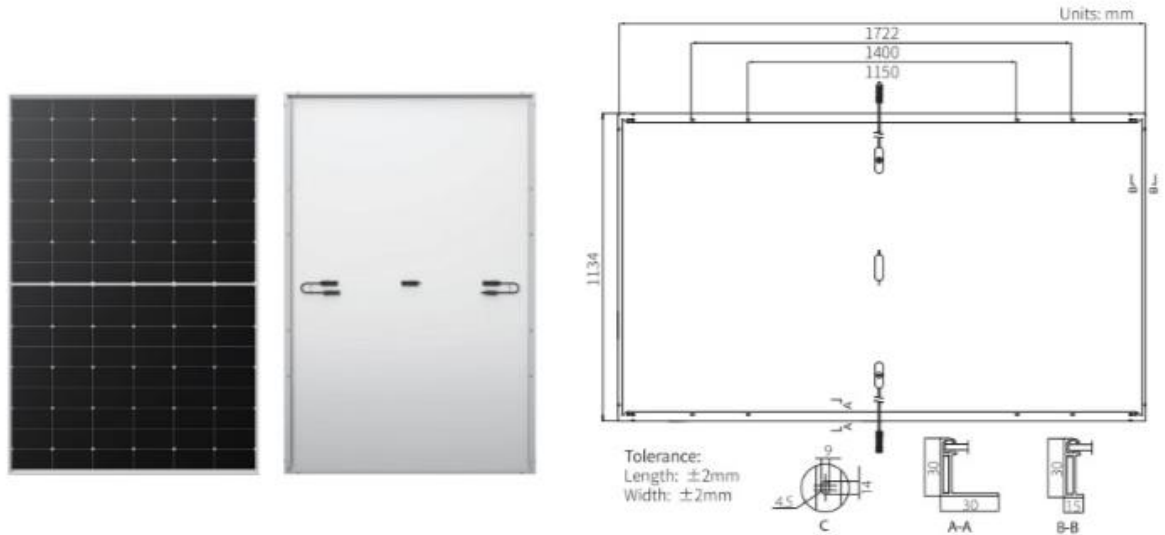


Рисунок 2.2 – Сонячна панель компанії виробника Longi Solar модель LR5-54НТН-430М

Знаючи габарити металевої конструкції поворотного майданчика (див. рисунок 2.3), розрахуємо її масу:

$$m_2 = L \cdot m_{\text{м.п.}}, \quad (2.3)$$

де:

L – загальна довжина металевого профілю, м;

$m_{\text{м.п.}}$ – вага метра погонного, кг.

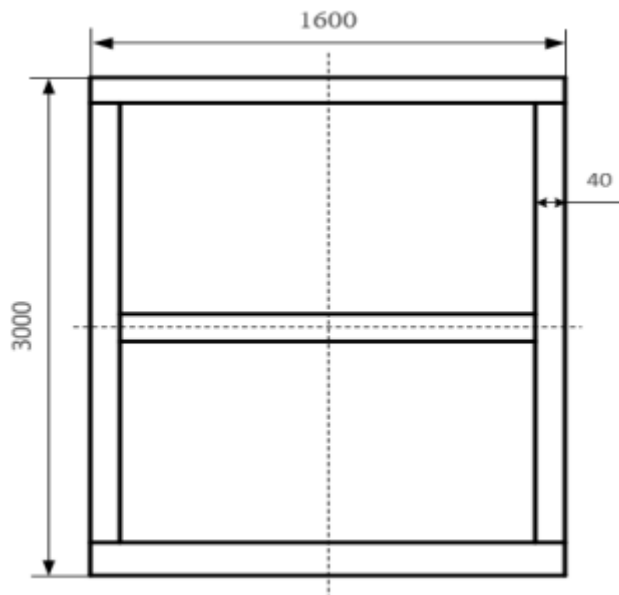


Рисунок 2.3 – Габарити металевої профільної конструкції

Слід зазначити, що конструкція виготовлена із трубчатого металевого профілю 40х40 мм, вага погонного метра якого становить 1,85 кг. Тоді будемо мати, що:

$$m_2 = (3 \times 3 + 1.6 \times 3) \times 1.85 = 25,5 \text{ кг.}$$

Отже за виразом 2.1 загальна маса поворотної платформи становитиме:

$$m_{\text{заг}} = 96 + 25,5 = 121,5 \text{ кг} \approx 122 \text{ кг.}$$

Далі визначимо максимальний обертаючий момент нашої системи:

$$M_{\text{max}} = m_{\text{заг}} \times r + M_{\text{в\piтер}}, \quad (2.3)$$

де:

M_{max} – максимальний обертаючий момент, Нм;

r – довжина штока актуатора, м;

$m_{\text{заг}}$ – вага поворотної поверхні, кг;

$M_{\text{в\piтер}}$ – додаткове вітрове навантаження, Нм.

Довжина штока актуатора в системі в ST1500 становить 9 см, або 0,09

м. Додаткове навантаження вітру визначимо за наступним виразом:

$$M_{\text{вітер}} = \frac{1}{4} \times S \times V \times H, \quad (2.4)$$

де:

S – площа поворотної поверхні м²;

V – середньорічна швидкість вітру (для Житомирської області вона становить 2,5 м/с);

H – висота конструкції, яка рівна значенню 3 м.

Тоді за виразом 2.4, матимемо:

$$M_{\text{вітер}} = \frac{1}{4} \times (3 \cdot 1,6) \times 2 \times 3 = 7,2 \text{ Нм}.$$

Отже, за виразом 2.3 максимальний обертаючий момент нашої системи становить:

$$M_{\text{max}} = 122 \times 0,09 + 7,2 = 18,2 \text{ Нм}.$$

Враховуючи проведені вище розрахунки, орієнтовне значення швидкості двигуна приймаємо рівним $n = 750$ об/хв., що відповідає його синхронній частоті обертання. Значення кутової частоти обертання двигуна визначимо із формули обертового руху:

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30}, \quad (2.5)$$

де:

n – частота обертання об/хв.;

ω – кутова частота обертання рад/с.

Отримаємо:

$$\omega = \frac{3,14 \times 750}{30} = 78 \text{ рад/с}.$$

Для розрахунку потужності двигуна застосуємо відповідну формулу:

$$P = M_{\max} \cdot \omega, \quad (2.6)$$

де:

P – потужність двигуна, Вт;

ω – кутова частота обертання рад/с;

$M_{\max}$ – максимальний обертаючий момент, Нм.

Матимемо, що:

$$P = 18,2 \cdot 78 = 1419,6 \text{ Вт} \approx 1,5 \text{ кВт}.$$

Виходячи з отриманих результатів розрахунку, обираємо асинхронний електродвигун AIP100L8 (див. рисунок 2.4) із частотою обертання 690 об/хв.



Рисунок 2.4 – Електродвигун AIP100L8

Паспортні дані обраного нами двигуна наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані двигуна AIP100L8

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Номінальна потужність	1,5 кВт
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 220/380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 8$

Момент інерції	$J_d = 0.0123 \text{ кг} \times \text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.69$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.62$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2$
Номінальне ковзання	$S_n = 0.07$
Критичне ковзання	$S_k = 0.38$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overrightarrow{X_1'} = 0.27$
Активний опір статора	$\overrightarrow{R_1'} = 0.23$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overrightarrow{X_2''} = 0,5$
Приведений активний опір ротора	$\overrightarrow{R_2''} = 0,14$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overrightarrow{X_\mu} = 2,14$

2.2.2 Вибір редуктора

Щоб вибрати відповідний редуктор, слід врахувати, що необхідна лінійна швидкість висувного штока становить 10 мм/с (або 0,01 м/с), а кутова швидкість (частота) обертання обраного двигуна дорівнює 78 рад/с.

За допомогою наведеної нижче формули визначимо лінійну швидкість двигуна:

$$v_d = R \cdot \omega, \quad (2.7)$$

де:

R – радіус обертання висувного штока двигуна, м;

ω – кутова частота обертання рад/с;

v_d – лінійна швидкість двигуна, м/с.

Слід зазначити, що радіус R обертання висувного штока обраного електродвигуна двигуна AIP100L8 становить 1,4 м або 0,014 м. Тоді за

виразом 2.7 отримаємо:

$$v_d = 0,014 \cdot 78 = 1,09 \text{ м/с} .$$

Коефіцієнт передавання редуктора обчислимо на основі швидкості висувного штока та радіусу обертання висувного штока двигуна:

$$i = \frac{R}{v_{вш}}, \quad (2.8)$$

де:

i – коефіцієнт передавання редуктора;

R – радіус обертання висувного штока двигуна, м;

$v_{вш}$ – лінійна швидкість висувного штока становить, м/с.

Отримаємо, що:

$$i = \frac{0,014}{0,01} = 14 .$$

На основі розрахунків бачимо, що необхідне передаточне число становить від 1 до 14, тому вибираємо редуктор RV02515 (див. рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд редуктора RV02515

2.2.3 Аналіз перевантажувальної здатності двигуна

Оцінка перевантажувальної здатності попередньо обраного двигуна проводиться на основі максимального моменту ($M_{\max} = 18,2 \text{ Нм}$) за заданих умов:

$$M_{\max} \leq \lambda \cdot M_n, \quad (2.9)$$

де:

$\lambda = 2$ – перевантажувальна здатність;

M_n – номінальний момент вибраного двигуна, Нм.

Отже, розрахуємо номінальний момент вибраного двигуна M_n . Для цього спершу визначимо кутову частоту напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (2.10)$$

де:

f – номінальна частота напруги статора, Гц;

ω_{0n} – кутова частота напруги статора, рад/с.

Отримаємо:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

Далі визначимо швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n}, \quad (2.11)$$

де:

ω_{xx} – швидкість ідеального холостого ходу двигуна, рад/с;

ω_{0n} – кутова частота напруги статора, рад/с;

p_n – число пар полюсів обраного двигуна.

Матимемо:

$$\omega_{xx} = \frac{314}{8} = 39,27 \text{ рад/с.}$$

Тоді номінальна швидкість обертання обраного двигуна становитиме:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - S_n), \quad (2.12)$$

де:

ω_{xx} – швидкість ідеального холостого ходу двигуна, рад/с;

S_n – номінальне ковзання.

ω_n – номінальна швидкість обертання обраного двигуна, рад/с.

Отримаємо:

$$\omega_n = 39,27 \cdot (1 - 0,07) = 36,52 \text{ рад/с.}$$

Отже, номінальний момент вибраного двигуна становитиме:

$$M_H = \frac{P_{2n}}{\omega_n}, \quad (2.13)$$

де:

M_H – номінальний момент вибраного двигуна, Нм;

ω_n – номінальна швидкість обертання обраного двигуна, рад/с;

P_{2n} – номінальна потужність обраного електродвигуна, Вт.

Отримаємо:

$$M_H = \frac{1500}{39,27} = 41,1 \text{ Нм.}$$

Тоді критичний момент електродвигуна з урахуванням перевантажувальної здатності λ становитиме:

$$M_K = \lambda \cdot M_H = 2 \cdot 41,1 = 82,2 \text{ Нм.} \quad (2.14)$$

Як бачимо, у відповідності до виразу 2.9 попередньо обраний нами електричний двигун відповідає вимогам перевантажувальної здатності.

2.2.4 Визначення параметрів асинхронного двигуна

Номінальні ефективні діючі значення фазної напруги U_n та струму статора I_n обраного нами електродвигуна становитимуть:

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}};$$

(2.15)

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi},$$

де:

U_{1n} – номінальна лінійна напруга статора, В;

η – коефіцієнт корисної дії;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Будемо мати, що:

$$U_n = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В};$$

$$I_n = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,69 \cdot 0,62} = 7,53 \text{ А}.$$

Амплітудні значення фазної напруги U_{na} і струму статора I_{na} обраного нами електродвигуна будуть рівні:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 310,3 \text{ В};$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 7,53 = 10,6 \text{ A.} \quad (2.16)$$

Максимальне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу за умови, що активний опір статора $\overrightarrow{R_1}' = 0$ становитиме:

$$\Psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{310,3}{314} = 0,99 \text{ Вб.} \quad (2.17)$$

2.3 Вибір компонентної бази для реалізації електромеханічної системи сонячного трекера

Оскільки система виконує низку важливих функцій, зокрема керування двигуном, зчитування та перетворення координат у сигнал завдання, доцільно розробити її на базі мікроконтролера.

Для кращого розуміння принципу роботи системи керування сонячним трекером її можна поділити на такі функціональні блоки:

- блок визначення просторових координат системи;
- мікроконтролер, який формує сигнал завдання на основі різниці між реальним положенням установки та сонця;
- інтерфейс користувача.

Система орієнтації буде містити акселерометр та електронний компас, що забезпечують точне позиціонування трекера у просторі.

До основних датчиків орієнтації належать:

- годинник реального часу (RTC) – необхідний для запису положення сонця у кожен момент часу та збереження цих даних у пам'яті контролера. RTC-модулі здатні підтримувати точний час навіть при вимкненні основного живлення, використовуючи резервну батарею

(CR2032 або літій-іонний акумулятор LIR2032 на 3,6 В), якої вистачає на кілька років;

- акселерометр – вимірює різницю між істинним і гравітаційним прискоренням об'єкта, а отримані дані при цьому використовуються для розрахунку зенітного кута;
- магнітометр – визначає параметри магнітного поля Землі, задані у вигляді вектора напруженості, координати якого перетворюються у значення азимутального кута.

Для обміну даними між мікроконтролером і датчиками будемо використовувати протокол I2C, розроблений для зв'язку між інтегральними мікросхемами в межах одного електронного пристрою. Цей 8-бітний інтерфейс дозволяє здійснювати комунікацію між блоками керуючої електроніки через спільні дроти, що дає змогу взаємодіяти з кількома пристроями одночасно. Основні переваги та недоліки протоколу наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Переваги та недолік інтерфейсу передачі даних I2C

ПЕРЕВАГИ	НЕДОЛІКИ
підтримує швидкості передачі даних: з 100 Кбіт/с до 3,4 Мбіт/с;	потребує більш складного обладнання;
легко виконати діагностику виникнення помилок;	напівдуплексний режим зв'язку;
пристрої можуть бути вилучені, не впливаючи на інші схеми на шині;	менша швидкість передачі даних у порівнянні з SPI.
використовує лише 2 лінії – SDA і SCL.	

2.3.1 Вибір мікроконтролера

Мікроконтролери широко використовуються в різних електронних пристроях для керування їх роботою.

З розвитком технологій виробництво мікроконтролерів стрімко прогресує, змушуючи виробників створювати дедалі складніші та більш функціональні пристрої в умовах високої конкуренції. Останнім часом

популярності набули ARM-мікроконтролери, а завдяки появі доступних контролерів на основі ядра Cortex-M їхня вартість стала досить прийнятною.

Мікроконтролер STM32F100C4T6B (див. рисунок 2.6) перевершує своїх 8-бітних конкурентів за всіма основними характеристиками, а з урахуванням його вартості – це один із найкращих варіантів серед доступних сьогодні на ринку України.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32F100C4T6B

У якості налагоджувальної плати обрано STM32VLDISCOVERY (див. рисунок 2.7), яка забезпечує апаратну підтримку I2C.

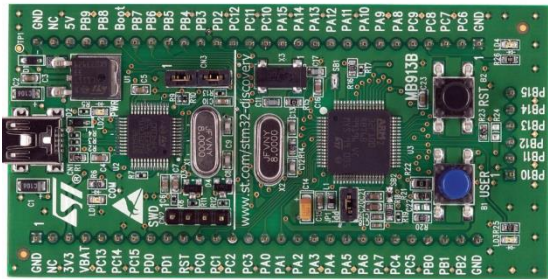


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд плати STM32VLDISCOVERY

Вона має широкий функціонал, детальний опис якого представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики плати STM32VLDISCOVERY

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Кількість входів/виходів	51
Тип живлення	від USB або зовнішнього джерела живлення 5 В

	або 3,3 В
Інтерфейси	I2C, IrDA, LIN, SPI, UART/USART
Робоча температура	-40 ... 85 °C
Об'єм оперативної пам'яті	8 Кб

2.3.2 Вибір рідкокристалічного дисплея

LCD-дисплей – це рідкокристалічний екран, що англійською означає Liquid Crystal Display. Тож терміни "рідкокристалічний" і "LCD" позначають одну й ту саму технологію. Її назва пов'язана з використанням особливої речовини, яка зберігає рідкий стан, водночас маючи оптичні властивості, характерні для кристалів.

Сучасні LCD-дисплеї мають низку переваг, які забезпечуються фізичними властивостями рідких кристалів. Оскільки їхні молекули завжди залишаються у рідкому стані, їхні оптичні характеристики можна змінювати за допомогою електричного струму. Це дозволяє регулювати розташування молекул, змінювати напрям заломлення світла та відсіювати певний спектр випромінювання.

Для відображення різноманітної інформації найчастіше застосовуються символні LCD-дисплеї. Вони стали значним технологічним проривом, замінивши світлодіодні (LED) і газоплазмові дисплеї. Завдяки рідким кристалам LCD-екрани значно тонші за електронно-променеві трубки (ЕЛТ) та споживають менше енергії порівняно зі світлодіодними та газовими дисплеями. Це пояснюється принципом їхньої роботи – вони блокують світло, а не випромінюють його. На відміну від світлодіодів, які генерують світло, рідкі кристали LCD-дисплея створюють зображення за допомогою заднього підсвічування.

Оскільки система сонячного трекера має досить просту конструкцію, для її потреб обрано дисплей, який повністю відповідає функціональним вимогам – це дисплей LCD1602A, який зображено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – дисплей LCD1602A

Характеристики обраного нами дисплею наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики дисплею LCD1602A

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Живлення	5 В
Робоча температура	-25...50 °С
Колір підсвітки	зелений та жовтий колір символів
Графічний інтерфейс	HD44780

2.3.3 Вибір магнітного компасу

Магнітний компас – пристрій, що визначає положення трекера відносно вертикальної осі за трьома координатними векторами. При зміні положення трьохосьового магнітометра в магнітному полі Землі його показання на кожній осі змінюються. Завдяки цим даним можна визначити напрямок руху щодо сторін світу. Використовуючи значення осей X і Y, можна обчислити кут відхилення від північного напрямку, що дозволяє застосовувати магнітометр як компас.

Для визначення координат положення установки можна також використовувати гіроскоп, проте він має дрейф, що впливає на точність вимірювань.

Як магнітний компас оберемо трьохосьовий магнітометр GY-271, який є популярним серед аналогічних пристроїв і добре зарекомендував себе на ринку України. Він підтримує інтерфейс I2C для підключення. Модуль GY-

271 оснащений мікросхемою QMC5883L, що дозволяє виявляти магнітні поля та визначати їхні напрями. Зовнішній вигляд пристрою показано на рисунку 2.9. Основні характеристики модуля наведені у таблиці 2.5.

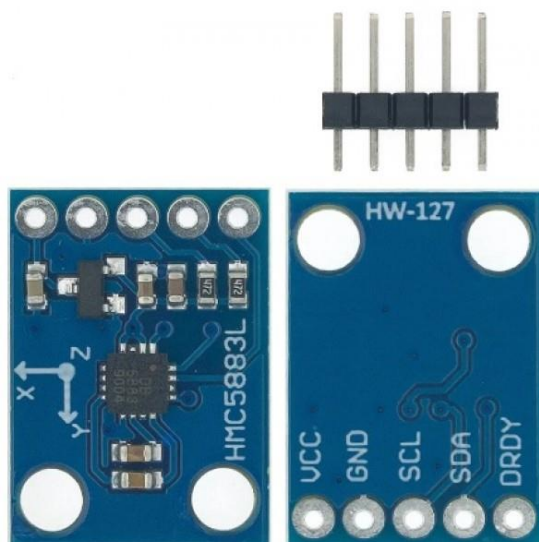


Рисунок 2.9 – Магнітометр GY-271

Таблиця 2.5 – Характеристики магнітометра GY-271

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Напруга живлення	3,3...5 В
Калібрування	автоматичне
Діапазон вимірювань	± 8 Гаусс
Точність вимірювання	± 2 мГаусс
Споживання в режимі вимірювання	2,5 мА
Розмір	14x13 мм

2.3.4 Вибір акселерометра

Для орієнтації сонячного трекера щодо горизонтальної осі необхідний пристрій для вимірювання його нахилу. Для таких задач зазвичай застосовується акселерометр.

Його використання зумовлене необхідністю вимірювання повного прискорення об'єкта, що здійснюється за трьома координатними осями X , Y та Z .

Як датчик акселерометра оберемо пристрій LIS2DW12, який вирізняється простотою підключення та низьким енергоспоживанням. Зовнішній вигляд модуля наведено на рисунку 2.10. Технічні характеристики акселерометра LIS2DW12 наведено у таблиці 2.6.

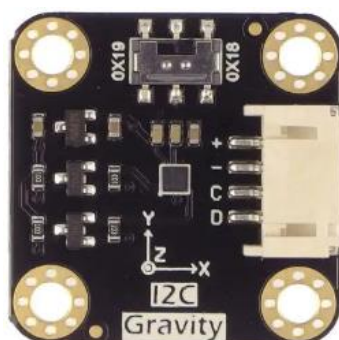


Рисунок 2.10 – Акселерометр LIS2DW12

Таблиця 2.6 – Характеристики акселерометра LIS2DW12

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Напруга живлення	1,62...3,6 В
Інтерфейси	SPI і I2C
Рівень шуму	90 мкг/√Гц
Робоча температура	від -40 °С до +80 °С

LIS2DW12 – це продуктивний трьохосьовий лінійний акселерометр із наднизьким енергоспоживанням, що належить до сімейства «фемто». У його виробництві застосовуються перевірені технологічні процеси, які вже використовуються для створення акселерометрів.

Пристрій підтримує налаштовувані користувачем діапазони вимірювання: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$, а його вихідна частота даних варіюється від 1,6 Гц до 1600 Гц. Даний акселерометр має функцію самотестування, що дає можливість перевірити його працездатність у конкретному застосуванні.

2.3.5 Вибір годинника реального часу

Однією з ключових експлуатаційних характеристик модуля реального часу для сонячного трекера є його здатність стабільно працювати в широкому діапазоні температур, оскільки протягом року в Україні вони коливаються від -20°C до $+30^{\circ}\text{C}$.

З огляду на це для системи обрано DS3231 – модуль годинника реального часу, який оснащений термокомпенсованим кварцовим резонатором. Завдяки цьому резонатору пристрій підтримує стабільну частоту незалежно від температурних змін.

DS3231 – це високоточний реальний час (RTC) модуль, що має інтегрований I2C-інтерфейс та кварцовий резонатор. Він також має вхід для підключення резервного автономного джерела живлення, що забезпечує вимірювання температури та стабільну роботу навіть при відсутності основного електроживлення. Зовнішній вигляд пристрою представлено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Модуль годинника реального часу DS3231

DS3231 здатний зберігати інформацію в різних форматах, зокрема:

- секунди;
- хвилини;
- години;

- день, дата, місяць і рік.

Наприкінці кожного місяця модуль автоматично коригує дату відповідно до кількості днів у місяці, включаючи врахування високосних років. Обмін даними здійснюється через I2C-шину. Основні характеристики DS3231 наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристики годинника реального часу DS3231

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Напруга живлення	2,3...5,5 В
Вага модуля годинника	8 г
Режим роботи інтерфейсу	I ² C
Робоча температура	від -40 °C до +85 °C
Точність	± 2 ppm

2.3.6 Вибір частотного перетворювача

Частотні перетворювачі – це електротехнічні пристрої, призначені для регулювання частоти змінної напруги. Їх основне застосування полягає у зміні швидкості обертання та крутного моменту електродвигунів.

Зважаючи на характеристики вибраного двигуна AIP100L8 із потужністю 1,5 кВт, для керування ним обрано частотний перетворювач Altivar_312.

Altivar_312 (див. рисунок 2.12) розроблений для керування асинхронними електродвигунами, підтримує джерела живлення від 200 В до 600 В, а його робочий діапазон потужностей становить 0,18–15 кВт.

Altivar_312 вирізняється високою надійністю, компактними розмірами та простотою монтажу. Його вбудовані функції підходять для застосування у базових виробничих механізмах. Завдяки легкому налаштуванню та сучасній концепції пристрій забезпечує економічно ефективне та стабільне рішення для розробників компактних машин (ОЕМ) та інтеграторів.



Рисунок 2.12 – Частотний перетворювач Altivar_312

Перетворювач Altivar_312 легко інтегрується в системи автоматизації завдяки додатковим платам зв'язку, що розширюють його функціональні можливості. Він має гнучке налаштування конфігурацій накопичувачів через різні інструменти, такі як SoMove, мобільне програмне забезпечення, віддалені термінали та конфігураційні утиліти (завантажувач, мультизавантажувач). Може адаптуватися до мереж зв'язку та шин завдяки простій заміні карти введення-виведення на відповідну карту зв'язку. Володіє зручним користувацьким інтерфейсом, що полегшує налаштування та прискорює інтеграцію в різні застосування.

2.4 Опис роботи електричної принципової схеми електромеханічної системи сонячного трекера

Принципова електрична схема керування системою спостереження за сонцем (система сонячного трекера) зображена на листі №2 формату А1 графічної частини даного дипломного проєкту.

Принцип її роботи полягає у наступному. До мікроконтролера підключено дві кнопки. Перша – користувацька кнопка SB1, з'єднана з виходом PA0. У стані спокою вона розімкнута, а конденсатор C1 виконує функцію захисту входу мікроконтролера від зовнішніх завад. Під час

натискання *SB1* її вхід замикається на плюс живлення, подаючи на мікроконтролер логічну одиницю. Друга кнопка – *SB2* виконує функцію апаратного скидання: її натискання замикає вхід мікроконтролера на землю, що змушує пристрій перезавантажити програму з початку.

Для керування асинхронним двигуном використовується частотний перетворювач *Altivar_312*, який контролюється за допомогою реле *K1* та *K2*. Ці реле, у свою чергу, управляються мікроконтролером *STM32F100C4T6B*.

Інші компоненти системи, зокрема *LCD*-дисплей, модуль акселерометра, модуль годинника реального часу та магнітометр, живляться від *+5В*. Їхні керуючі виходи підключаються до відповідних входів мікроконтролера.

2.5 Вибір архітектури сонячної енергосистеми та розрахунок інвертора

На сьогодні відомі три основні типи побудови сонячних електростанцій (див. таблицю 2.8).

Таблиця 2.8 – Основні типи побудови фотоелектричних систем

Автономна фотоелектрична система	Фотоелектрична система з'єднана з мережею	Резервна фотоелектрична система
1 – сонячні панелі; 2 – контролер заряду АБ та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – навантаження	1 – сонячні панелі; 2 – інвертор; 3 – мережа; 4 – навантаження	1 – сонячні панелі; 2 – контролер заряду АБ та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – мережа; 5 – навантаження

Всі наведені вище варіації щодо реалізації систем альтернативного

живлення на базі сонячної електростанції мають як свої конкретні переваги так і недоліки. В нашому випадку зупинимо свій вибір на фотоелектричній системі з'єднаній із мережею. Так як для побудови автономної системи нам не вистачить потужності обраних нами сонячних панелей, бо їх кількість обмежена поворотною платформою системи сонячного трекера, яка дозволяє розмістити максимум 6 шт. До того ж автономна система передбачає додаткові капітальні вкладення на купівлю акумуляторних батарей та контролера заряду, що відноситься і до недоліків, у нашому випадку, резервної фотоелектричної системи також.

Для реалізації варіанту фотоелектричної системи з'єднаної з мережею нам потрібно розрахувати та вибрати лише інвертор. До того ж обраний нами варіант побудови сонячної системи гарно впишеться в концепцію всієї установки розроблюваної в даному дипломному проєкті, так як інвертор можна буде розмістити безпосередньо на самій трекерній платформі.

Для того щоб вибрати інвертор визначимо загальну потужність сонячних панелей, які ми обрали раніше:

$$P_{СП_{заг}} = n_{СП} \cdot P_{СП}, \quad (2.18)$$

де:

$P_{СП_{заг}}$ – загальна потужність сонячних панелей розроблюваної системи, Вт;

$P_{СП}$ – потужність однієї сонячної панелі, Вт;

$n_{СП}$ – загальна кількість сонячних панелей, які використовуються в розроблюваній системі, шт.

Отримаємо:

$$P_{СП_{заг}} = 6 \cdot 430 = 2580 \text{ Вт.}$$

Як бачимо, загальна потужність обраних сонячних панелей становить

2580 Вт, а тому інвертор який нам необхідний має бути обраний таким чином, щоб його потужність була рівною або трохи більшою за розраховане значення загальної потужності всіх сонячних панелей в системі.

Отже, враховуючи вище зазначене, оберемо інвертор компанії-виробника PowerMe, модель PWM-IPS2600 (12/220 В) потужністю 2600 Вт (див. рисунок 2.13). Технічні характеристики обраного типу інвертора наведені в таблиці 2.9.



Рисунок 2.13 – Інвертор PWM-IPS2600 компанії виробника PowerMe

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики *інвертора* PWM-IPS2600 компанії виробника PowerMe

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
<i>Вхідна напруга</i>	<i>12 В</i>
<i>Вихідна напруга</i>	<i>220 В</i>
<i>Номінальна потужність</i>	<i>2600 Вт</i>
<i>Частота</i>	<i>50/60 Гц</i>
<i>Робоча температура</i>	від -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$
Тип вихідного сигналу	чиста синусоїда

2.6 Вибір приладів обліку електричної енергії

Для контролю споживаної та виробленої електроенергії в альтернативній енергосистемі приватного будинку, що розробляється в даному дипломному проекті, необхідно встановити лічильник електроенергії.

Щоб визначити оптимальний тип лічильника, слід проаналізувати інформацію, представлену в таблиці 2.10. У ній наведено порівняння

сучасних моделей лічильників, зокрема індукційних та електронних.

Таблиця 2.10 – Порівняльний аналіз індукційних та електронних лічильників електроенергії

ХАРАКТЕРИСТИКА	ІНДУКЦІЙНІ ЛІЧИЛЬНИКИ	ЕЛЕКТРОННІ ЛІЧИЛЬНИКИ
Точність вимірювання	Низька (до 2,0%)	Висока (0,2-0,5%)
Робота при змінних навантаженнях	Значне зростання похибки	Зберігають точність
Захист від розкрадання	Слабкий	Фіксують несанкціонований доступ
Багатотарифність	Відсутня	Підтримується
Дистанційне зчитування	Обмежене	Доступне
Вартість	Низька	Вища
Довговічність	До кількох десятків років	Тривалий термін, залежить від електронних компонентів
Чутливість до перепадів напруги	Стійкі	Вразливі до комутаційних та грозових перепадів
Енергоспоживання	Відносно високе	Низьке

Враховуючи дані таблиці 2.11, а також аналіз переваг і недоліків електронних та індукційних лічильників з урахуванням особливостей нашої системи альтернативного енергозабезпечення, прийнято рішення на користь електронного лічильника. Серед доступних на ринку України моделей, відповідно до критерію «ціна / якість», оптимальним вибором є лічильник Itron SL7000 з класом точності 0,5s, який є трифазним, багатотарифним і відповідає актуальним вимогам енергетичного ринку. Зображення вибраної моделі наведене на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Лічильник електронного типу, модель Itron SL7000

3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ

3.1 Оцінка капіталовкладень проєкту

У межах цього дипломного проєкту була розроблена система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем. Основні завдання цього розділу полягають у проведенні аналізу капітальних та експлуатаційних витрат, необхідних для реалізації запропонованої системи, а також у розрахунку строку її окупності. Це дозволить оцінити економічну доцільність використання даної системи. При цьому слід враховувати не лише вартість обладнання, а й витрати на його технічне обслуговування протягом 10 років експлуатації. Витрати на обслуговування елементів системи оцінюються на рівні 1% від загальної вартості устаткування.

Під час проведення кошторисного аналізу першочерговим завданням є розрахунок загальної річної вартості розробленої нами системи альтернативного енергозабезпечення – TAC (Total Annualized Cost) із використанням відповідного виразу:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (3.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – сукупна вартість розробленої системи протягом усього терміну її використання, грн.;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – сукупний показник фактичної вартості розробленої системи, грн.

Фінансові вкладення у створення та придбання основних фондів і нематеріальних активів, що амортизуються, визначають капітальні витрати. Вони відіграють важливу роль у економічному аналізі ефективності розробленої системи. Таблиця 3.1 містить перелік необхідних капітальних витрат для її впровадження.

Таблиця 3.1 – Капіталовкладення в розробку системи

№	Назва технічних матеріалів	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	База сонячного трекера ST1500	1	10000	1000
2	Сонячні панелі Longi Solar модель LR5-54HTH-430M	6	3392	20352
3	Електродвигун AIP100L8	1	6150	6150
4	Редуктор RV02515	1	2050	2050
5	Інтерфейс I2C	1	30	30
6	Мікроконтролер STM32F100C4T6B	1	200	200
7	Налагоджувальна плата STM32VLDISCOVERY	1	430	430
8	Дисплей LCD 1602A	1	103	103
9	Магнітометр CY-271	1	190	190
10	Акселерометр LIS2DW12	1	545	545
11	Годинник реального часу DS3231	1	75	75
12	Частотний перетворювач	1	6900	6900

	Altivar_312			
13	Інвертор PWM-IPS2600	1	3500	3500
14	Електронний лічильник Itron SL7000	1	14700	14700
Разом:				56225

Фінансова оцінка процесу монтажу та налаштування буде проведена за допомогою розрахункового рівняння:

$$K_{MH} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_D \cdot K_{CM} \cdot K_{PP}, \quad (3.2)$$

де:

C_i — обсяг кадрових ресурсів i -го розряду, необхідний для виконання монтажних чи налагоджувальних завдань;

a — тарифна ставка за годину роботи фахівця i -го розряду, грн.;

t_i — тривалість виконання визначеного обсягу монтажних або налагоджувальних робіт, год.;

$K_D = 1,1 \dots 1,5$ — коригувальний коефіцієнт, що враховує додаткові виплати;

$K_{CM} = 1,22$ — коефіцієнт, що охоплює соціальні відрахування;

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$ — коригувальний коефіцієнт, що включає додаткові витрати на монтажні та налагоджувальні роботи.

Вартість монтажних та налагоджувальних робіт визначатиметься на основі базових договірних розцінок і тарифів компанії «Electrolight», яка спеціалізується на виконанні електромонтажних робіт різних типів. Згідно з інформаційним листом компанії, тарифна ставка її працівників становить 135,8 грн./год., а тривалість монтажних та налагоджувальних робіт, необхідних для встановлення розробленої системи, складе від 6 до 10 робочих годин. Отже, відповідно до виразу 3.2, отримаємо:

$$K_{MH} = (2 \cdot 135,8 \cdot 8) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 4373,9 \text{ грн.}$$

Вартість транспортування визначається на основі тарифів ТОВ «Car and Bus», маси вантажу та відстані до складу постачальника. Перевізник розрахував, що доставка 6 вантажних одиниць масою до 0,5 т складе 5745 грн.

Далі розрахуємо капітальні витрати запропонованої системи, використовуючи зазначений нижче математичний вираз:

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH} , \quad (3.3)$$

де:

K_{OB} – загальна вартість обладнання за підсумком витрат, без урахування ПДВ, грн;

K_{TP} – фінансові затрати на перевезення, постачання та складування, грн;

K_{MH} – витрати, необхідні для виконання монтажних і налагоджувальних процесів, грн.

Отримаємо, що:

$$K = 56225 + 5745 + 4373,9 = 66343,9 \text{ грн} .$$

Таким чином, сумарні капітальні витрати на впровадження розробленої системи альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем, складуть 66343,9 грн.

3.2 Аналіз витрат на експлуатацію проєкту

Експлуатаційні витрати – це фінансові ресурси, необхідні для використання та підтримки розробленої системи в межах нашого проєкту протягом визначеного періоду. Ці витрати виражені у грошовому еквіваленті та включають такі основні компоненти: амортизаційні відрахування (C_a), витрати на електроенергію (C_e), заробітну плату обслуговуючого персоналу

та соціальні внески (C_3), витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання (C_T), а також інші супутні витрати ($C_{ін}$). Відповідно, загальні річні експлуатаційні витрати для проєктованої системи складають:

$$C = C_a + C_e + C_3 + C_T + C_{ін} . \quad (3.4)$$

Розроблена нами система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем є повністю автономною, не потребує постійного контролю оператора чи обслуговуючого персоналу. Всі планові роботи з технічного обслуговування виконуватимуться власниками житла, тому витрати на обслуговування (C_3) та інвестиційні витрати ($C_{ін}$) приймаються рівними нулю.

Амортизаційні відрахування системи розраховуються з урахуванням строку її експлуатації, прогнозованих економічних вигод, технічних параметрів основного обладнання, фізичного зносу та інших факторів, що можуть впливати на її використання. Термін ефективного функціонування встановленого обладнання становить 10 років. Згідно з прямолінійним методом амортизації, її норма залишається незмінною протягом усього періоду та становить:

$$H_a = \frac{K}{K \cdot T_n} \cdot 100\% , \quad (3.5)$$

де:

T_n – термін амортизації розробленої системи, років;

K – капітальні витрати розробленої системи, грн.

Таким чином, норма амортизації для нашої системи складатиме:

$$H_a = \frac{66343,9}{66343,9 \cdot 10} \cdot 100\% = 10\% .$$

Наступним кроком розрахуємо величину річних амортизаційних відрахувань за допомогою відповідного виразу:

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100} , \quad (3.6)$$

де:

H_a – норма амортизації, %.

Матимемо, що:

$$C_a = \frac{66343,9 \cdot 10}{100} = 6634,39 \text{ грн} .$$

Для розрахунку річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання нашої системи необхідно врахувати витрати на матеріали, запасні частини та оплату праці ремонтного персоналу. Орієнтовно ці витрати становитимуть близько 1% від загальної суми капітальних вкладень:

$$C_T = 0,01 \cdot K . \quad (3.7)$$

Отримаємо:

$$C_T = 0,01 \cdot 66343,9 = 663,44 \text{ грн} .$$

Річні експлуатаційні витрати по проєктованій системі розраховуємо за виразом 3.4. Вони будуть становити:

$$C = 6634,39 + 0 + 0 + 663,44 = 7297,93 \text{ грн} .$$

3.3 Оцінка терміну, за який система компенсує вкладені кошти

На сьогодні впровадження систем електропостачання на основі нетрадиційних джерел енергії потребує значних фінансових вкладень, проте їх експлуатація є менш енергоємною. Таким чином, основні витрати, що потребують відшкодування – це капітальні інвестиції.

Запроєктована нами система альтернативного енергозабезпечення є мережевою, що дозволяє використовувати вироблену енергію для живлення побутових електроприладів у будинку, а при надлишку – продавати в міську електромережу.

Згідно із Законом України №514-VIII від 04.06.2015 р. та постановою НКРЕКП №725 від 25.03.2020 р., встановлено такі ставки «зеленого» тарифу: у період з 1 січня 2023 року до 31 грудня 2024 року ставка становить 0,163 євро або 6,81 грн.

Виконаємо розрахунок річного обсягу генерації електроенергії нашою альтернативною енергосистемою. Для цього визначимо загальну потужність всіх сонячних панелей в нашій системі:

$$P_{СП_заг} = P_{СП} \cdot n , \quad (3.8)$$

де:

n – кількість сонячних панелей, шт;

$P_{СП}$ – потужність однієї сонячної панелі, Вт;

$P_{СП_заг}$ – загальну потужність всіх сонячних панелей в розробленій системі, кВт.

Отримаємо:

$$P_{СП_заг} = 430 \cdot 6 = 2580 \text{ Вт} \approx 2,58 \text{ кВт.}$$

Тепер визначимо річний виробіток електроенергії енергії нашою сонячною системою без врахування, того, що розроблена нами система є трекерною, тобто поки розраховуємо її в стаціонарному варіанті. Середня кількість сонячних годин на день протягом року в м. Житомир становить близько 4,5 год. Тоді денне вироблення електроенергії визначимо за виразом:

$$E_{\text{доба}} = P_{\text{СП_заг}} \cdot n_{\text{сон.год}} , \quad (3.9)$$

де:

$E_{\text{доба}}$ – загальна кількість виробленої електроенергії за добу розробленою нами системою без врахування її можливості слідкування за сонцем, кВт·год.;

$P_{\text{СП_заг}}$ – загальну потужність всіх сонячних панелей в розробленій системі, кВт;

$n_{\text{сон.год}}$ – середня кількість сонячних годин на добу протягом року в м. Житомир, год.

Будемо мати:

$$E_{\text{доба}} = 2,58 \cdot 4,5 = 11,61 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тоді річний виробіток електроенергії становитиме:

$$E_{\text{р\kern0.08em\text{рік}}} = 365 \cdot E_{\text{доба}} , \quad (3.10)$$

де:

$E_{\text{р\kern0.08em\text{рік}}}$ – загальна кількість виробленої електроенергії за рік розробленою нами системою без врахування її можливості слідкування за сонцем, кВт·год.

В результаті отримаємо наступні дані:

$$E_{\text{рік}} = 365 \cdot 11,61 = 4237 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тепер проведемо коригування на те, що розроблена нами система є трекерною, тобто врахуємо той факт, що в такому разі її продуктивність зросте на 30% або в 1,3 рази, тоді загальний виробіток електроенергії за рік становитиме:

$$E_{\text{рік_трекер}} = 1,3 \cdot E_{\text{рік}} = 1,3 \cdot 4237 = 5510 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3.11)$$

Отже, загальний річний прибуток від експлуатації впровадженої системи альтернативного енергозабезпечення однокімнатної квартири, що функціонує на основі вітрогенераторів типу «тюльпан», становитиме:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot E_{\text{рПк_трекер}}, \quad (3.12)$$

де:

$Y_{\text{розробленої системи}}$ – щорічний дохід від експлуатації розробленої системи, грн.

Отримаємо, що:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot 5510 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 37523,1 \text{ грн}.$$

Щоб визначити термін окупності розробленої системи альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем, використаємо наступну формулу:

$$T_{\text{розробленої системи}} = \frac{K}{Y_{\text{розробленої системи}}}, \quad (3.13)$$

Матимемо, що:

$$T_{\text{розробленої системи}} = \frac{66343,9}{37523,1} \approx 1,8 \text{ роки}.$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Охорона праці при монтажі трекерних сонячних систем

Монтаж трекерних сонячних систем потребує особливої уваги до охорони праці, адже робота часто виконується на висоті та включає електротехнічні ризики. Ось кілька ключових аспектів безпеки. По-перше, перед початком монтажу необхідно провести аналіз місця встановлення, перевірити структурну цілісність поверхні та визначити потенційні небезпеки, адже Кожен будинок і комерційний об'єкт мають свої особливості, тому перед монтажем сонячних панелей необхідна детальна оцінка. Фахівці повинні особисто відвідати місце встановлення, щоб ретельно проаналізувати всі аспекти. Під час цього огляду вони виконують такі важливі завдання:

- вибір відповідного обладнання для ефективної оцінки об'єкта;

- визначення оптимального розташування панелей, інверторів, батарей та інших компонентів для максимального балансу;
- пошук місця з правильною орієнтацією, достатнім доступом до сонячного світла та перевіреною конструкційною міцністю;
- виявлення можливих ризиків і небезпек на території;
- створення плану майбутнього будівельного майданчика з урахуванням існуючих споруд та обладнання;
- аналіз рівня сонячного випромінювання і середньої температури для оцінки ефективності системи;
- визначення потреб об'єкта в електроенергії шляхом аналізу комунальних платежів, зняття показників лічильників та консультацій із власником.

Завчасна оцінка безпеки дозволяє монтажнику сонячної енергії бути готовим до будь-яких викликів, а добре спланований робочий процес допомагає уникнути проблем.

Крім того, все необхідне обладнання має бути протестоване та підготовлене, щоб гарантувати його справність та функціональність перед початком робіт.

Далі слід подбати про безпеку при роботі на висоті, тобто потрібно використовувати страхувальні системи, правильно розміщувати сходи (обрати правильну довжину, місце розташування та з якого матеріалу краще використовувати сходи: з алюмінію чи металеві) та дотримуватись правил роботи на висоті, що допоможе уникнути падінь.

Важливим пунктом є і електробезпека. Монтажники повинні працювати з сертифікованими компонентами, уникати перевантаження системи та правильно заземлювати обладнання.

Для забезпечення безпеки працівники повинні використовувати непрозорі матеріали для тимчасового накриття панелей після їх розпакування. При підключенні трекерних сонячних систем необхідно суворо дотримуватися запобіжних заходів: знеструмити об'єкт, перевірити відсутність напруги та уникати роботи із системою під навантаженням. Це допоможе запобігти можливим ризикам і забезпечити безпечну експлуатацію.

Також неправильне підключення або пошкодження ізоляції можуть спричинити перегрівання та пожежу. Регулярне технічне обслуговування трекерних сонячних систем допомагає запобігти таким ризикам.

Під час встановлення, експлуатації, технічного обслуговування та ремонту трекерних сонячних систем важливо завжди дотримуватися заходів безпеки. Це допоможе запобігти травмам, знизити ризики для здоров'я і забезпечити ефективну роботу сонячних панелей. Дотримання правил і техніки безпеки є ключовим елементом на всіх етапах їх використання.

4.2 Перша допомога при ураженні електричним струмом

У разі ураження електричним струмом необхідно діяти оперативно та правильно, щоб мінімізувати ризики для потерпілого. Основні кроки надання першої допомоги включають: перш за все – це припинення дії струму – негайно вимкніть джерело електроживлення або відведіть потерпілого від струмоведучих частин, використовуючи сухі діелектричні матеріали (наприклад, дерев'яний предмет чи гумові рукавички).

У разі необхідності нейтралізації джерела ураження слід діяти швидко та обережно:

- вимкнення електроустановки – першочергово слід припинити подачу електроенергії до пристрою, з яким контактує постраждалий. Це мінімізує ризик подальшого впливу струму та убезпечить рятувальника;

- перерубання проводу – якщо немає можливості вимкнути живлення, можна перерізати провід. Важливо використовувати інструмент із діелектричною ручкою, наприклад, сокиру з дерев'яною рукояткою;
- відтягування постраждалого – при наявності гумових рукавичок можна обережно відсмикнути людину за одяг. Якщо одяг сухий, допускається відтягування за його ділянки, які не контактують безпосередньо зі шкірою;
- видалення обірваного дроту – у випадку контакту з обірваним проводом повітряної лінії електропередачі слід скористатися ізоляційною штангою. Як альтернативу можна використати сухий дерев'яний предмет відповідної довжини, наприклад, ціпок.

Дотримання цих заходів допоможе зменшити ризик ураження електрострумом та забезпечити безпеку під час рятувальних дій.

Далі слід оцінити стан постраждалого. Перед наданням першої допомоги необхідно швидко оцінити стан потерпілого. Головне – зберігати спокій і знати ключові ознаки, щоб ця процедура зайняла мінімум часу. Важливо пам'ятати, що своєчасне реагування має вирішальне значення.

Основні критерії оцінки:

- *свідомість – визначається візуально за поведінкою потерпілого;*
- *колір слизової оболонки – особливо зручно оцінювати за губами: при погіршенні стану колір змінюється з нормального рожевого на блідий або синюшний;*
- *дихання – слід спостерігати за амплітудою руху грудної клітки, без використання додаткових методів, як-от прикладання дзеркала;*
- *пульс – у деяких випадках може бути складно знайти його на зап'ясті, тому краще перевіряти на сонній артерії.*

Пульс може бути рівномірним або нестабільним, проявлятися у вигляді різких коливань, ослаблення чи повної відсутності. Також важливо перевірити реакцію зіниць на світло: якщо вони не звужуються у відповідь на освітлення, це може свідчити про зупинку роботи центральної нервової

системи через порушення кровопостачання мозку, що вказує на стан клінічної смерті.

Якщо присутні явні біологічні ознаки смерті, надання допомоги вже не матиме ефекту. Однак до їхнього прояву людину слід розглядати як таку, що перебуває у стані клінічної смерті, та докладати зусиль для її реанімації, використовуючи відповідні методи відновлення життєдіяльності.

Якщо людина перебуває без свідомості, а її дихання та кровообіг порушені, а також відсутня реакція зіниць на світло, це може свідчити про клінічну смерть. У такому випадку слід негайно розпочати реанімаційні заходи.

Якщо серцевий ритм нерівномірний, а вдихи слабкі, необхідно спробувати стабілізувати стан за допомогою штучного дихання. У випадках, коли після втрати свідомості відбулося її повернення та нормалізація показників життєдіяльності, постраждалого слід розмістити горизонтально, бажано на підстилці із доступних матеріалів.

Щоб забезпечити комфортні умови:

- розстібніть одяг, якщо він перешкоджає вільному диханню;
- створіть тепло або забезпечте приплив прохолодного повітря залежно від потреби;
- організуйте спокій, попросивши сторонніх залишити місце події;
- до приїзду лікарів ретельно спостерігайте за станом потерпілого.

Якщо людина зберігає пульс і дихання, але втратила свідомість, слід врахувати можливість порушення дихання через западання язика та відповідно скоригувати її положення.

Якщо потерпілий не має видимих пошкоджень і наполягає на поверненні до роботи, цього слід уникати, оскільки його стан може погіршитися з часом. Оцінку стану людини після ураження електрострумом мають проводити виключно медичні фахівці, які компетентні в цьому питанні.

Швидка та правильна оцінка стану потерпілого допоможе ефективно організувати першу допомогу.

Надання першої допомоги при електротравмах, що супроводжуються опіками різного ступеня тяжкості, передбачає накладання на ушкоджену ділянку стерильної пов'язки. У разі глибоких опіків бажано додатково застосувати знеболюючий розчин, наприклад, лідокаїн.

При ураженнях III-IV ступеня необхідно негайно розпочати заходи з реанімації: виконати непрямий масаж серця та провести штучне дихання методом «з рота в рот». Ці дії слід продовжувати до моменту, поки потерпілий повністю не опритомніє або не з'являться явні ознаки біологічної смерті.

Надання допомоги при опіках також передбачає спочатку охолодження ураженого місця водою, а потім стерильна пов'язка і знеболювальне.

Дотримання цих правил допоможе знизити ризики та забезпечити своєчасну допомогу потерпілому.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проєкту було розроблено систему альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем.

Проведено аналіз типових конструкцій сонячних трекерів, визначено їх функціональні характеристики та складові елементи. Розглянуто ключові переваги та недоліки існуючих рішень, на основі яких сформульовано вимоги до проєктованої системи. Обрано систему з однією віссю обертання, яка є досить ефективною, оскільки керується лише одним актуатором. Вона майже не поступається двовісним установкам завдяки оптимальному розташуванню панелі під кутом 45° до горизонту.

На основі технічних вимог виконано розрахунок необхідної потужності

двигуна, у результаті чого обрано асинхронний двигун АИР100L8. Проведено перевірку його перевантажувальної здатності, яка підтвердила відповідність двигуна встановленим параметрам. Проведено обґрунтований вибір компонентної бази для реалізації електромеханічної системи сонячного трекера. Розраховано та вибрану необхідну кількість сонячних, інвертора та тип реалізації сонячної електростанції. Розроблено структурну та принципову електричні схеми розроблюваної системи.

В ході виконання економічної частини було проведено оцінку капіталовкладень розроблюваної системи, аналіз витрат на її експлуатацію та визначено термін її окупності, який становить 1,8 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Циганок О. В., Череп А. В. Альтернативні джерела енергії як засіб ресурсоефективності / О. В. Циганок, А. В. Череп. *Глобальні та національні проблеми економіки* : електронне фахове видання / Миколаївський нац. ун-т ім В. О. Сухомлинського. 2018. Вип. 22. С. 688–691. URL: <http://global-national.in.ua/issue-22-2018/30-vipusk-22-kviten-2018-r/3982-tsiganok-k-o-cherep-a-v-alternativni-dzherela-energiji-yak-zasib-resursoefektivnosti>
2. Хрипко С. Л., Кідалов В. В. Сонячні батареї створенні на основі низько-розмірних нанокompозитних структур / С. Л. Хрипко, В. В. Кідалов. *Журнал нано- та електронної фізики*. 2016. Том 8, № 4(2). С. 04071(10).

3. Фотоелектричні панелі та їх типи. *Теплоціль*. 2014. URL: <http://xn--e1amaldq6a1c6e.xn--j1amh/fotoelektricheskiye-paneli-i-ikh-tipy>.
4. Які сонячні панелі кращі – монокристалічні чи полікристалічні? *Гексагон-енергія. Альтернатива енергії природи*. 2017. URL: <https://cutt.ly/me7rDpl>.
5. Герасимюк О. Типи сонячних батарей та їх ККД / О. Герасимюк. *Компанія "Концепція Енергозбереження"*. 2016. URL: <https://cutt.ly/te7r02e>.
6. Боровик Ю. Т., Єлагін Ю. В. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні / Ю. Т. Боровик, Ю. В. Єлагін. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2019. № 65. С. 68–75.
7. Касич А. О., Литвиненко Я. О. Чинники розвитку альтернативної енергетики у сучасних умовах / А. О. Касич, Я. О. Литвиненко. *Економіка і суспільство*. 2017. Випуск 12. С. 93–99.
8. Климко В. І., Щур І. З. Інтелектуальна система керування електропостачанням окремого об'єкта від мережі та поновлюваних джерел енергії / В. І. Климко, І. З. Щур. *Проблеми розвитку систем енергетики і автоматики в АПК* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених (25-26 жовтня, 2012 р., м. Київ). Київ, 2012. С. 25-26.
9. Основи охорони праці : підруч. для студентів вищ. навч. закладів / за ред. М. П. Гандзюка. Київ : Каравела, 2003. 408 с.
10. Antypchuk B. O. Research of the impact of production and operation of photoelectric panels on the environment : abstracts / B. O. Antypchuk. *The 6th International scientific and*

practical conference "Progressive research in the modern world" (March 2-4, 2023). Boston : BoScience Publisher, 2023. P. 225-227.

11. Відновлювальні джерела енергії : монографія / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Ін-т відновлювальної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
12. Півняк Г. Г., Шкрабець Ф. П. Альтернативна енергетика в Україні : монографія / Г. Г. Півняк, Ф. П. Шкрабець ; Нац. гірн. ун-т. Дніпро : НГУ, 2013. 109 с.
13. Огляд одноосьових трекерів. URL: <http://www.solarstrategia.com/ua/oborudovanie/treker-slezheniya-za-solntsem/> (дата звернення: 24.05.2025р.).
14. Опис руху сонця. URL: <https://prel.prom.ua/a279654-sonyachnij-treker-scho.html> (дата звернення: 21.05.2025р.).
15. Будова сонячного трекера. URL: <https://solarsystem.com.ua/zbilshennya-produktyvnosti-sonyachnyh-panelej-sonyachnyj-treker/> (дата звернення: 23.04.2025р.).
16. Розгляд актуатора та його призначення. URL: <https://cassvitaflour.com/625-actuator> (дата звернення: 24.04.2025р.).
17. Сонячний трекер ST1500. URL: <https://greenchip.com.ua/26-0-196-0.html> (дата звернення: 7.05.2025р.).
18. Огляд ваги погонного метра металевого профіля 40x40мм. URL: <https://kt-stal.com.ua/products/truba-kruglaya-vgp-2/pryamoymgolnue-profilnue-trubu/kvadratnye-profilnye-truby-40-40> (дата звернення: 8.05.2025р.).
19. Асинхронний електродвигун AIP100L8. URL: <https://systemax.ua/elektrodivigateli/trehfaznye-obshchepromyshlennye-elektrodivigateli/air/air100l8-1-5-kvt-750-obmin-.html> (дата звернення: 8.05.2025р.).
20. Технічна специфікація мікросхеми STM32F100C4T6B. URL: <https://eic.com.ua/stm32f100c4t6b-1983637956> (дата звернення: 12.05.2025р.).

21. Характеристики дисплею LCD1602A. URL:
<https://www.openhacks.com/uploadsproductos/eone-1602a1.pdf> (дата звернення:
12.05.2025р.).
22. Модуль магнітометра. URL: <https://beegreen.com.ua/modul-kompastriosovij-gy-271-hmc5883l-arduino-1041> (дата звернення: 12.05.2025р.).
23. Огляд характеристик акселерометра LIS2DW12. URL:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis2dw12.pdf> (дата звернення: 15.05.2025р.).
24. Технічна специфікація модуля годинника реального часу DS3231. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/chasy-realnogo-vremeni-ds3231/> (дата звернення:
15.05.2025р.).

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>КОНТАКТОРИ</i>		
<i>KM1</i>	<i>АСКО ПМ 1-09-01 9А</i>	<i>1</i>	
	<i>ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ</i>		
<i>M</i>	<i>AIP100L8</i>	<i>1</i>	
	<i>ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ</i>		
<i>UZ1</i>	<i>Altivar_312</i>	<i>1</i>	
	<i>МІКРОКОНТРОЛЛЕРИ</i>		
<i>DD1</i>	<i>STM32F100C4T6B</i>	<i>1</i>	
	<i>РЕЗИСТОРИ</i>		
<i>R1, R2</i>	<i>100 Ом, 2 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R3</i>	<i>10 кОм, 5 Вт</i>	<i>1</i>	
<i>R5, R6</i>	<i>2,2 кОм, 2 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R4, R7</i>	<i>4,7 кОм, 0,25 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R8, R9</i>	<i>10 кОм, 5 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R10, R11</i>	<i>4,7 кОм, 0,25 Вт</i>	<i>2</i>	
	<i>КОНДЕНСАТОРИ</i>		
<i>C1, C2</i>	<i>1 мкФ, 400В</i>	<i>2</i>	
<i>C3</i>	<i>1 мкФ, 400В</i>	<i>1</i>	<i>плівковий</i>
<i>C4</i>	<i>1 мкФ, 400В</i>	<i>1</i>	<i>керамічний</i>
	<i>МІКРОСХЕМИ</i>		
<i>DD2</i>	<i>ULN2003</i>	<i>1</i>	<i>інтеграл. мікросхема</i>
<i>DD3</i>	<i>DS3231</i>	<i>1</i>	<i>годинник реал. часу</i>
<i>DD4</i>	<i>LIS2DW12</i>	<i>1</i>	<i>акселерометр</i>
<i>DD5</i>	<i>GY-271</i>	<i>1</i>	<i>магнітометр</i>
<i>HL1</i>	<i>LCD1602A</i>	<i>1</i>	<i>дисплей</i>

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення " Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки "
Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"
галузь знань 14 "Електрична інженерія"
спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри

Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Соловенюку Дмитру Миколайовичу

- 1.Тема дипломного проєкту “ Проєкт системи альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем ” та керівник дипломного проєкту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 03 грудня 2024 року, №495-н.
2. Строк подання студентом проєкту “ ____ ” червня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: розміри ділянка для розміщення сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем; висота опорної стійки трекера 3 метра, розміри поворотної платформи трекера : довжина 3 метра, ширина 1.6 метра.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - Вступ;
 - Огляд аналітичних аспектів сонячного трекера;
 - Система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем;
 - Оцінка економічної ефективності проєкту;
 - Охорона праці;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:

- Схема електрична структурна. Система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем;
- Схема електрична принципова. Електромеханічна система керування сонячним трекером.

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
ГЧ та технічна документація	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	

7. Дата видачі завдання “03” грудня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вступ	05.12.2024р.	
2.	Розділ 1	12.12.2024р.	
3.	Розділ 2	23.12.2024р.	
4.	Розділ 3	23.01.2025р.	
5.	Розділ 4	27.03.2025р.	
6.	Висновки	25.05.2025р.	
7.	Графічна частина та технічна документація	25.05.2025р.	

Студент: _____ Дмитро СОЛОВЕНЮК

Керівник проєкту: _____ Богдан АНТИПЧУК

[illegible]

“ Проєкт системи альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем ”

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить 68 сторінок пояснювальної записки, що складається з чотирьох розділів, а також графічну частину, представлену на двох аркушах креслярського паперу формату А1.

У першому розділі дипломного проєкту проаналізовано функціонального призначення сонячних панелей у трекерній системі, класифікацію та конструктивні особливості трекерів, методи їх керування та актуатор як ключовий елемент механічного приводу. Також розглянуто типові конструкції трекерів і технічні вимоги до їх електромеханічної системи, що формує основу для подальшої розробки системи.

Другий розділ містить аналіз та проєктування електромеханічної системи, що забезпечує ефективне використання сонячної енергії. Розглядаються вихідні дані для розробки, розрахунок і вибір ключових елементів, таких як двигун, редуктор та мікроконтролер. Окремо аналізуються компоненти керування, архітектура енергосистеми та принципова електрична схема трекера. Завершується розділ вибором приладів обліку та оптимізацією системи для стабільного енергозабезпечення.

У третьому розділі здійснено аналіз капіталовкладень, експлуатаційних витрат та розрахунок терміну окупності системи, що дозволяє оцінити фінансову доцільність реалізації проєкту.

У четвертому розділі розглядається питання безпеки при монтажі трекерних сонячних систем, а також заходи надання першої допомоги при ураженні електричним струмом, забезпечуючи належний рівень захисту персоналу.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД АНАЛІТИЧНИХ АСПЕКТІВ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА	10
1.1 Функціональне призначення сонячних панелей у трекерній системі	10
1.2 Класифікація сонячних трекерів	13
1.3 Будова сонячного трекера	17
1.4 Методи керування сонячним трекером	18
1.5 Функції та призначення актуатора	20
1.6 Типові конструкції сонячних трекерів	21
1.7 Формування технічних вимог до електромеханічної системи трекера	22
2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ТЕХНОЛОГІЄЮ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ	24
2.1 Вихідні дані для проєктування системи	24
2.2 Розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи	25
2.2.1 Визначення необхідної потужності та оптимальний вибір двигуна	25
2.2.2 Вибір редуктора	31
2.2.3 Аналіз перевантажувальної здатності двигуна	33
2.2.4 Визначення параметрів асинхронного двигуна	35
2.3 Вибір компонентної бази для реалізації електромеханічної системи сонячного трекера	36
2.3.1 Вибір мікроконтролера	38
2.3.2 Вибір рідкокристалічного дисплея	39
2.3.3 Вибір магнітного компасу	40
2.3.4 Вибір акселерометра	42
2.3.5 Вибір годинника реального часу	43

					<i>ДП.141.042.021.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Соловєнок Д.М.			ЗМІСТ			
Перевір		Антипчук Б.О.						
Н. Контр.		Антипчук Б.О.						
Затв.		Лавріщев О.О.						
						Літ.	Арк.	Аркушів
						У	6	68
						ЖАТФК, Гр. Е-42		

2.3.6 Вибір частотного перетворювача	44
2.4 Опис роботи електричної принципової схеми електромеханічної системи сонячного трекера	45
2.5 Вибір архітектури сонячної енергосистеми та розрахунок інвертора	46
2.6 Вибір приладів обліку електричної енергії	48
3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ	49
3.1 Оцінка капіталовкладень проєкту	49
3.2 Аналіз витрат на експлуатацію проєкту	53
3.3 Оцінка терміну, за який система компенсує вкладені кошти	55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1 Охорона праці при монтажі трекерних сонячних систем	59
4.2 Перша допомога при ураженні електричним струмом	61
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	68

ВСТУП

На сьогоднішній день енергія широко використовується в усіх аспектах людського життя, причому її потреби постійно зростають. Однак традиційні запаси природних палив, таких як нафта, вугілля та газ, є вичерпними, що спричиняє необхідність активного пошуку альтернативних джерел енергії. До таких належать сонячна, вітрова та геотермальна енергія, які вважаються невичерпними.

Серед усіх відновлюваних джерел саме сонячна енергія виділяється масштабами ресурсів та екологічною чистотою. Її використання для виробництва електроенергії в Україні стрімко набирає популярності. Сонячна енергетика входить до пріоритетних національних проєктів, а восени 2010 року була введена в експлуатацію перша сонячна електростанція. Станом на початок 2024 року загальна потужність українських сонячних електростанцій перевищила 752 МВт.

Пряме перетворення сонячного випромінювання на електроенергію є зручним для споживачів і водночас екологічно чистим, оскільки не потребує використання викопного палива, ядерної сировини чи гідроресурсів. Втім, поряд з перевагами існують і певні недоліки. Погодні умови можуть суттєво впливати на ефективність систем, а висока вартість сонячних елементів і тривалий термін їх окупності нерідко стають перешкодами. Проте щороку попит на сонячні електростанції в Україні зростає, що сприяє зниженню цін на відповідні технології.

Важливим аспектом експлуатації таких станцій є їх технічне обслуговування, що може становити певні труднощі. Разом з тим, сонячна енергетика продовжує розвиватися, демонструючи позитивні тенденції та зростаючу доступність.

					ДП.141.042.021.ПЗ					
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					
Розробив		Соловєнюк Д.М.								
Перевір		Антипчук Б.О.								
Н. Контр.		Антипчук Б.О.								
Затв.		Лавріщєв О.О.			ЖАТФК, Гр. Е-42					
					Лім.		Арк.		Аркушів	
					У		8		68	

Використання сонячних панелей показало, що значний нагрів фотоелементів може суттєво знижувати продуктивність системи, тому необхідно передбачити механізми охолодження модулів. Крім того, сонячні батареї потребують регулярного очищення від пилу та бруду, а у випадку великогабаритних установок це може створювати додаткові труднощі.

Основним викликом у використанні сонячної енергії залишається її залежність від інтенсивності світла. Для ефективного збору енергії панель повинна бути розташована перпендикулярно до сонячного випромінювання. Оскільки сонце змінює своє положення як протягом дня, так і протягом року, необхідно застосовувати системи стеження, що забезпечують оптимальний кут нахилу панелей.

Вирішенням цієї проблеми є використання трекерів, які коригують положення панелей відповідно до руху сонця, гарантуючи максимальний рівень поглинання енергії. Такі системи можуть бути активними або пасивними та функціонувати на основі одноосьових або двоосьових механізмів регулювання.

Може здатися, що технологія сонячної енергетики має низку недоліків, проте завдяки постійному розвитку технологій їх усунення — лише питання часу.

Таким чином, дипломний проєкт спрямований на вирішення однієї з ключових проблем у сфері видобутку енергії, а саме на підвищення її ефективності шляхом розробки системи автоматичного позиціонування сонячних панелей у найбільш оптимальне положення.

1 ОГЛЯД АНАЛІТИЧНИХ АСПЕКТІВ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

1.1 Функціональне призначення сонячних панелей у трекерній системі

Трекер є важливим елементом у сфері сонячної енергетики, оскільки дозволяє максимально ефективно використовувати сонячне випромінювання протягом світлового дня.

Для перетворення сонячної енергії в електричну застосовуються сонячні панелі (рис. 1.1). Історія розвитку сонячної енергетики налічує понад століття. Спочатку сонячну енергію використовували переважно для виробництва пари, яка слугувала джерелом механічної енергії. Однак після відкриття Едмондом Беккерелем явища фотоефекту стало можливим безпосереднє перетворення сонячної енергії в електричну.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд сонячних панелей

Це відкриття сприяло створенню першого сонячного елемента Чарльзом Фріттсом у 1893 році, який виготовлявся шляхом нанесення тонкого шару золота на селенові пластини. Саме цей винахід став основою сучасних сонячних батарей. У 1941 році американський інженер Рассел Ол запатентував перший кремнієвий сонячний елемент, що згодом привело до виробництва першої комерційної сонячної панелі в 1954 році.

					ДП.141.042.021.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Соловєнук Д.М.			1 ОГЛЯД АНАЛІТИЧНИХ АСПЕКТІВ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА		
Перевір		Антипчук Б.О.					
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.					
						Літ.	Арк.
						У	10
							68
						ЖАТФК, Гр. Е-42	

Спочатку сонячні панелі знайшли застосування в космічних супутниках, а згодом стали доступними для широкого використання. Для багатьох людей перше знайомство із сонячною енергією відбулося через калькулятори, які почали оснащуватися сонячними батареями у 1970-х роках.

Сьогодні сонячні панелі використовуються для живлення різноманітних пристроїв, включаючи житлові та комерційні будівлі, що робить їх одним із ключових елементів сучасної енергетики.

Сонячні панелі та їхні системи широко застосовуються для живлення різних пристроїв. Вони продовжують використовуватися у вигляді сонячних батарей, зокрема в калькуляторах, а також забезпечують електроенергією житлові та комерційні будівлі.

Застосування сонячних панелей є ефективним способом виробництва електроенергії для різних потреб. Однією з ключових переваг є можливість автономного енергозабезпечення, що особливо актуально для місць, не підключених до централізованої електромережі. Завдяки сонячним системам віддалені будинки та підприємства отримують незалежне джерело енергії, усуваючи необхідність у дорогих електричних комунікаціях.

Крім того, сонячна енергія є екологічно чистим і відновлюваним джерелом. В умовах глобальних кліматичних змін її використання сприяє зменшенню викидів парникових газів. Сонячні панелі мають просту конструкцію без рухомих частин, що мінімізує потребу в обслуговуванні.

Ще однією важливою перевагою є економічна ефективність: після окупності початкових витрат на встановлення система забезпечує безкоштовне виробництво електроенергії протягом десятиліть. Для власників мережевих сонячних установок це також може означати додатковий дохід від продажу надлишкової енергії. Таким чином, сонячні панелі є перспективним рішенням для сталого енергозабезпечення.

Сонячні панелі мають значну перевагу: після окупності початкових витрат на встановлення вони забезпечують безкоштовне виробництво

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.021.ПЗ

Аркуш

11

електроенергії протягом усього терміну експлуатації, який може тривати 15–20 років залежно від якості системи.

Для власників мережевих сонячних установок вигоди починаються з моменту запуску системи, оскільки вони можуть значно зменшити або повністю усунути щомісячні витрати на електроенергію. Крім того, надлишок виробленої енергії можна передавати в електромережу, отримуючи додатковий дохід від енергетичної компанії.

Фотоелектричні модулі використовують сонячне світло (фотони) для генерації електрики через фотоэффект. Більшість модулів складаються з кристалічних кремнієвих елементів або тонкоплівкових комірок. Їхня конструкція передбачає захист від зовнішніх впливів, що можуть пошкодити систему.

Сонячні панелі можуть мати жорстку або напівгнучку структуру, залежно від технології виготовлення. Елементи панелей зазвичай з'єднуються послідовно для досягнення необхідного рівня напруги, а потім паралельно для збільшення струму. Важливим параметром, що визначає ефективність всієї установки, є її корисна потужність, яка залежить від напруги та вихідного струму. Потужність модуля (Вт) розраховується як добуток напруги (В) та струму (А).

Сонячна панель забезпечує живлення контролера заряду, який відповідає за накопичення енергії в акумуляторних батареях. Найефективніше використання сонячної енергії досягається при розташуванні панелі перпендикулярно до сонячних променів, що потребує її автоматичного обертання відповідно до положення Сонця. Для цього застосовується сонячний трекер, який складається з механізмів переміщення платформи, двигуна та електронної системи керування.

Одним із перспективних напрямків у розвитку сонячних технологій є прозорі сонячні панелі, які можуть бути частково або повністю прозорими. Звичайні панелі поглинають сонячне світло та перетворюють фотони в електроенергію, проте у випадку прозорих панелей цей процес

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

ускладнюється через їхню здатність пропускати світло. Це створює виклик для розробників, оскільки ефективне поглинання енергії стає складнішим.

Попри технологічні труднощі, вже існують інноваційні розробки, що сприяють прогресу в цій сфері. Компанія NEXT Energy запустила стартап із встановлення прозорих сонячних панелей у вікна, що може значно покращити енергетичну ефективність будівель. Вікна, створені за технологією Ubiquitous Energy, мають органічне покриття товщиною 1/1000 міліметра, яке поглинає інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання, перетворюючи його на електричний струм. Отриману енергію можна накопичувати в батареях або використовувати для живлення будинків і офісів.

Ця технологія отримала підтримку уряду штату Каліфорнія, який зобов'язав девелоперів оснащувати нові будівлі системами генерації сонячної енергії, починаючи з 2020 року. Це може стати важливим кроком у розвитку екологічно чистих енергетичних рішень.

1.2 Класифікація сонячних трекерів

Виробники постійно вдосконалюють сонячні панелі, прагнучи підвищити їхню продуктивність порівняно з попередніми та конкурентними моделями. Одним із ефективних способів збільшення вихідної потужності системи є використання сонячних трекерів. На відміну від стаціонарних систем із фіксованим нахилом, трекери дозволяють панелям слідувати за рухом Сонця протягом дня, забезпечуючи оптимальне поглинання енергії.

Для досягнення максимальної ефективності роботи сонячної станції необхідно, щоб сонячні промені падали на панелі під кутом 90°. Це забезпечує найкраще освітлення поверхні панелей, що періодично змінює своє положення відповідно до руху Сонця.

Переміщення Сонця по небу протягом дня та року є ключовим параметром для системи контролю. Вона відповідає за коригування

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						13
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

орієнтації панелей, щоб вони залишалися спрямованими на Сонце. Геометричні взаємозв'язки між Сонцем і Землею відіграють важливу роль у цьому процесі. Земля протягом року рухається по еліптичній орбіті навколо Сонця, що спричиняє зміну сезонів та тривалості світлового дня. Це необхідно враховувати при розробці ефективних систем позиціонування сонячних панелей.

Висота Сонця на небосхилі змінюється протягом року через прецесію земної осі, що спричиняє її переміщення відносно площини екліптики. Упродовж дня Земля обертається навколо своєї осі, здійснюючи повний оберт, що зумовлює явища сходу та заходу Сонця.

Протягом доби Земля здійснює повний оберт навколо своєї осі на 360° , однак сонячні панелі виробляють електроенергію лише в період світлового дня. Тривалість освітлення змінюється залежно від широти та місця встановлення панелей.

Важливо враховувати два фактори, що впливають на висоту Сонця: його добове переміщення та сезонні зміни. Положення Сонця на небосхилі визначається двома кутами: азимут і зеніт. Азимут – це кут між напрямком на північ і проекцією Сонця на горизонтальну площину Землі. Зенітний кут характеризує висоту Сонця над горизонтом.

Азимут змінюється протягом дня через обертання Землі навколо своєї осі (його також називають часовим кутом), а зенітний кут змінюється внаслідок прецесії земної осі. Таким чином, при розробці системи контролю необхідно враховувати два основні рухи Сонця: щоденне переміщення по осі азимута та щорічну прецесію земної осі, що впливає на його положення відносно екліптики.

Положення Сонця можна контролювати двома способами: за допомогою однієї або двох осей. Відповідно до цього механізм системи контролю поділяється на одноосьовий та двоосьовий. (див. рисунок 1.2)

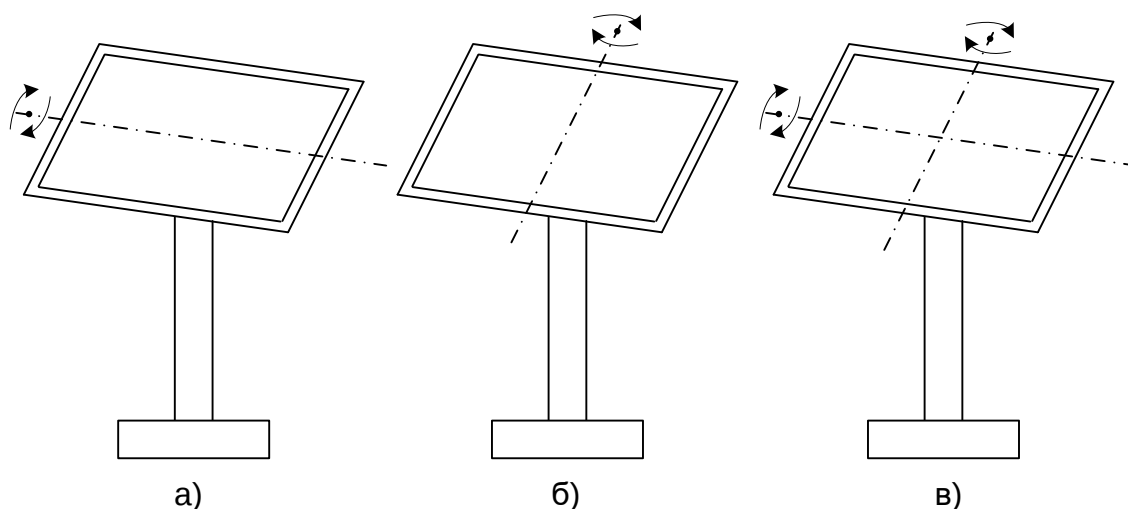


Рисунок 1.2 – Системи контролю: а) – одноосьова (горизонтальна), б) – одноосьова (вертикальна), в) – двовісна

Одноосьові трекири регулюють положення панелей лише в одній площині, контролюючи їхнє переміщення відповідно до азимутального або екліптичного руху Сонця. Оскільки зміна положення Сонця по азимуту протягом дня має більший вплив, системи контролю по осі екліптики застосовуються рідко.

Для підвищення ефективності одноосьового стеження другу вісь орієнтують паралельно осі Землі, спрямовуючи її на південь під кутом до горизонту, що відповідає широті місцевості. Двоосьові системи забезпечують більш точне відстеження сонячного руху та вищу продуктивність, проте їхня конструкція є складнішою і дорожчою. Тому найчастіше використовують одноосьові системи, а для оптимізації їхньої роботи вручну коригують кут нахилу 3 – 4 рази на рік.

Одноосьові трекири виробляють менше енергії за одиницю часу порівняно з двоосьовими системами, проте їхня компактна конструкція займає менше місця, що спрощує монтаж, експлуатацію та обслуговування.

Ці трекири поділяються на централізовані та децентралізовані. Централізовані (або розподілені) моделі використовують один двигун для приводу трансмісії між рядами, що забезпечує синхронне переміщення всього сегмента панелей. Децентралізовані системи оснащені окремими

двигунами для кожного ряду, а деякі конструкції мають приводи на кожному сегменті, що дозволяє регулювати положення панелей незалежно від сусідніх модулів.

Спочатку одноосьові трекери працювали за принципом жалюзі, синхронно переміщуючи ряди панелей протягом дня. Сучасні програмні алгоритми відстеження враховують розсіяне світло, вітрові навантаження та затінення, що підвищує ефективність роботи системи.

Сонячні панелі працюють найефективніше, коли їхня поверхня розташована перпендикулярно до сонячних променів. Зазвичай вони встановлюються на дахах або спеціальних конструкціях у фіксованому положенні, що не дозволяє їм слідкувати за рухом Сонця протягом дня. Через це панелі не завжди знаходяться під оптимальним кутом (90°) упродовж усього світлового періоду.

Оскільки Земля рухається навколо Сонця, кут падіння променів змінюється залежно від сезону. Взимку Сонце знаходиться нижче над горизонтом, ніж у літній період. Ідеальне розташування панелей передбачає їхнє більш горизонтальне положення влітку та більш вертикальне взимку. Якщо немає можливості змінювати кут нахилу двічі на рік, панелі слід встановлювати під середнім значенням між оптимальними кутами для літнього та зимового періоду. Для кожної широти існує свій оптимальний кут нахилу, а в екваторіальних регіонах панелі зазвичай розташовують горизонтально.

Двовісні трекери забезпечують більш ефективне використання сонячної енергії, оскільки вони коригують положення панелей відповідно до сезонних змін. Завдяки цьому вони можуть генерувати на 30–40% більше енергії порівняно зі стаціонарними системами. Двовісні трекери широко застосовуються в житлових і комерційних будівлях, а також починають використовуватися у великих комунальних проектах.

Кожен двовісний трекер встановлюється на піднятій опорі, що дозволяє досягати більшого діапазону кутів нахилу панелей. Такі системи можуть

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						16
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вміщувати до 20 панелей на одній поворотній площині. Висота конструкції ускладнює доступ до панелей для очищення від пилу або снігу, особливо в зимовий період. Однак завдяки своїй конструкції двовісні трекери залишають простір під собою придатним для інших цілей, таких як сільське господарство або облаштування навісів для автомобілів.

1.3 Будова сонячного трекера

Повна комплектація сонячного трекера включає такі основні компоненти:

- несучу конструкцію, що складається з фіксованої та рухомої частини з однією або двома осями обертання;
- систему позиціонування, яка містить актуатори та керуючі пристрої;
- систему безпеки, що забезпечує захист від перевантажень, блискавок та аналізує погодні умови;
- систему керування та інтерфейс, призначені для обслуговування енергосистеми;
- систему віддаленого доступу, що використовує роутер для підключення до інтернету;
- систему навігації, яка визначає географічне положення станції (на стаціонарних трекерах може бути необов'язковою);
- інвертор, що перетворює постійний струм у змінний для передачі споживачеві або на приймаючу станцію. Кількість інверторів може варіюватися від одного до трьох.

Загальний вигляд системи сонячного трекера представлений на рисунку 1.3.

Повна комплектація трекера не завжди є економічно доцільною, тому на практиці деякі його компоненти можуть бути відсутні. Конфігурація трекера залежить від його типу, функціонального призначення та інших факторів.

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						17
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Складові частини сонячного трекера

Конструкція трекера повинна бути достатньо міцною, щоб витримувати сильні вітрові навантаження. Зі збільшенням кількості сонячних панелей на платформі зростає і її парусність, що впливає на стійкість всієї системи. Тому при виборі складових частин особливу увагу приділяють надійності та механічній стійкості конструкції.

Ще одним фактором, що може впливати на роботу трекера взимку, є сніговий покрив. Для підвищення ефективності системи його необхідно своєчасно очищати.

1.4 Методи керування сонячним трекером

Керування сонячним трекером може здійснюватися різними методами, основні з яких: ручний метод, метод який базується на фотоприймачах, метод програмованого керування актуаторами.

Ручне регулювання положення сонячних панелей є застарілим та малоефективним методом. Через економічні фактори та вплив людського чинника цей спосіб керування вже давно не застосовується.

Функціонування системи позиціонування сонячних панелей ґрунтується на використанні фотоприймачів (рис. 1.4). Вони розташовані з

обох боків трекара, що дозволяє отримувати дані про рівень освітленості на відповідних ділянках. На основі цієї інформації формується керуючий сигнал для актуаторів, які регулюють положення панелей до моменту, поки освітленість на фотоприймачах не стане рівномірною.



Рисунок 1.4 – Система позиціонування сонячного трекара на фотоприймачах

Однак така система часто працює некоректно в умовах хмарної погоди або при забрудненні фотоприймачів. Її головною перевагою є надзвичайно доступна вартість.

Програмоване керування актуаторами здійснюється на основі визначення положення Сонця у відповідний момент часу. Його рух по небу відбувається за траєкторією від сходу до заходу, а координати Сонця під час переміщення описуються двома параметрами: азимутом і зенітом (див. рисунок 1.5).

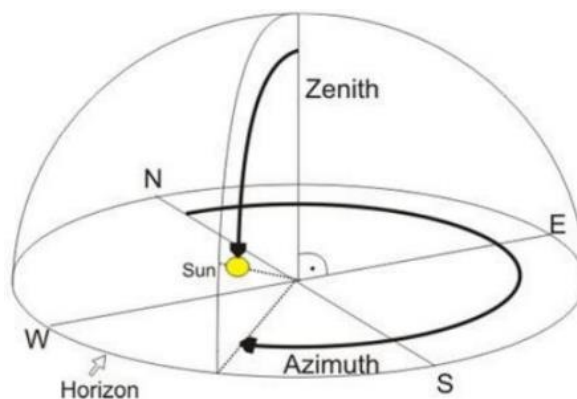


Рисунок 1.5 – Розташування Сонця за Азимутом та Зенітним кутом

Азимут – це кут між напрямком на південь і положенням Сонця.

Зенітний кут – це кут між лінією, що з'єднує Сонце з об'єктом, на який воно світить, та горизонтальною площиною.

Пристрій оснащений вбудованим годинником, який використовується для розрахунку параметрів положення Сонця та самої установки. На основі цих даних блок керування надсилає команди двигунам, змінюючи положення трекера на задану величину.

Основний принцип роботи системи полягає у компенсації двох типів зміщення Землі:

- добове зміщення, спричинене обертанням Землі навколо своєї осі;
- річне зміщення, що виникає внаслідок руху Землі навколо Сонця.

1.5 Функції та призначення актуатора

Актуатор – це універсальний виконавчий механізм, який може бути оснащений електромотором або працювати без нього, керуючись спеціальним пристроєм управління. Його відмінність від інших виконавчих пристроїв (наприклад, ШВП, РВП, ремінного приводу) полягає у відсутності необхідності додаткових компонентів, таких як лінійні підшипники, рейки чи каретки, для створення кінцевої конструкції.

Існують також електричні актуатори лінійного типу, які мають перевагу у можливості блокування передавального вала. Сучасні моделі актуаторів характеризуються збільшеною кількістю зубців на шестернях, що забезпечує підвищену міцність приводу, плавність ходу та точність роботи.

Актуатори можуть бути побудовані на основі двигунів постійного струму (див. рисунок 1.6), асинхронних двигунів (див. рисунок 1.7), крокових двигунів та інших типів електромеханічних приводів.

Лінійний актуатор складається з електродвигуна, механічного приводу та направляючої. Як привід використовуються різні механізми переміщення, зокрема кульково-гвинтова передача, гвинт-гайка, ремінний або рейковий

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

привід. Направляюча може бути виконана у вигляді телескопічних труб, профільних рейкових елементів або лінійних направляючих ковзання чи кочення, що забезпечують рух. Актуатор може працювати з електродвигуном постійного або змінного струму.



Рисунок 1.6 – Актуатор реалізований на базі двигуна постійного струму



Рисунок 1.7 – Актуатор реалізований на базі двигуна змінного струму

1.6 Типові конструкції сонячних трекерів

Сонячний трекер – це рухома система, яка регулює орієнтацію сонячних модулів для досягнення максимальної ефективності їхньої роботи. Його принцип дії заснований на ключових властивостях сонячних батарей, які найкраще функціонують, коли сонячні промені падають на них під кутом 90° .

Практичні дослідження підтверджують значне підвищення продуктивності при використанні трекерів. Щорічне виробництво електроенергії може зрости на 30–35%, що є вагомим результатом, особливо

з огляду на те, що для цього не потрібно збільшувати кількість панелей чи встановлювати додаткове дороге обладнання.

Сонячні трекири, що застосовуються у будівництві сонячних електростанцій, значно розширюють можливості використання сонячних елементів у різних регіонах. Наприклад, електростанції з трекерами в північних областях України можуть виробляти електроенергію на рівні аналогічних станцій у Криму.

Український ринок пропонує широкий вибір сонячних трекерів як для побутового, так і для промислового використання. Зокрема, компанія GreenChip випускає різноманітні моделі, серед яких особливо цікавою та доступною є установка ST1500 (див. рисунок 1.8). Вона має одну вісь обертання, що дозволяє використовувати лише один привідний двигун, а її розташування під кутом 45° до землі забезпечує ефективність, порівнянну з двопривідними трекерами.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд трекера моделі ST1500

1.7 Формування технічних вимог до електромеханічної системи трекера

З огляду на ефективність, сонячний трекер доцільно реалізувати у двоосьовому виконанні, оскільки це забезпечує приблизно на 30% вищу

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

продуктивність, як зазначено у попередніх розділах. Важливим параметром також є стійкість до вітрових навантажень, що досягається завдяки міцності конструкції та потужності приводу.

Основні функції електромеханічної системи сонячного трекера включають:

- забезпечення плавного та безперервного руху установки;
- точне регулювання кута повороту з кроком 1° ;
- визначені конструктивні параметри: висота опорної стійки – 3 метри; габарити поворотної платформи – 3×1.6 метра.

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ТЕХНОЛОГІЄЮ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ

2.1 Вихідні дані для проектування системи

Згідно з поставленим завданням, у цьому проєкті передбачається розробка системи електропостачання приватного будинку на основі наземної сонячної електростанції, оснащеної фотоелектричними модулями та системою відстеження руху Сонця.

Вихідними даними для створення такої системи є земельна ділянка площею $6,5 \times 7,5$ м, розташована безпосередньо поруч із будинком, як показано на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Ділянка для розміщення сонячної електростанції із
технологією спостереження за сонцем

					ДП.141.042.021.ПЗ					
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Соловенок Д.М.				2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ТЕХНОЛОГІЄЮ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.							У	24	68
								ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.									
Затв.	Лавріщев О.О.									

З точки зору оптимального розміщення сонячних модулів, їх ефективної роботи, вибору двигуна для трекерної системи та фінансових витрат на реалізацію, доцільно розмістити всю електропостачальну систему на одній конструкції, оскільки наявна площа є достатньою для цього.

Також слід врахувати сформовані технічні вимоги до електромеханічної системи сонячного трекера наведені у підрозділі 1.7 даного проєкту, які були прийняті в ході огляду аналітичних аспектів побудови сонячних трекерів.

Отже, переходимо до розробки системи, починаючи з розрахунку необхідної потужності та вибору двигуна для трекерної частини.

2.2 Розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи

Щоб забезпечити належну роботу сонячного трекера, необхідно правильно підібрати елементи електромеханічної системи, зокрема електродвигун і редуктор, які відповідатимуть вимогам технологічного процесу. Крім того, слід провести розрахунок загального моменту інерції системи.

2.2.1 Визначення необхідної потужності та оптимальний вибір двигуна

Зважаючи на визначені вимоги до сонячного трекера (див. підрозділ 1.7), було обрано систему слідування за сонцем ST 1500, яка має такі ключові характеристики:

- кут повороту – 180°;
- дві осі обертання;
- підвищення ефективності до 30% порівняно зі статичними системами;
- робочий температурний діапазон від –40°C до +60°C.

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення оптимального двигуна проведемо розрахунок необхідних параметрів.

Маса поворотної платформи, яка є рухомою частиною системи:

$$m_{\text{заг}} = m_1 + m_2 , \quad (2.1)$$

де:

m_1 – вага сонячних панелей, кг;

m_2 – вага поворотної площини кг.

Система стеження за сонцем ST1500 розрахована на встановлення до 6 сонячних панелей. Враховуючи той факт що, розроблювана нами система має бути економічно доцільною, то в якості основних фото-модулів ми будемо використовувати монокристалічні сонячні панелі, оскільки вони мають на 18-22 % вищий коефіцієнт корисної дії порівняно із полікристалічними сонячними панелями, що є вкрай важливим, так як максимально можлива кількість, яку ми можемо використати обмежена розмірами поворотного майданчика обраної нами системи ST1500 і тому чим більше продуктивність сонячної панелі – тим, в нашому випадку, краще.

В нашій системі ми будемо використовувати монокристалічні сонячні панелі компанії виробника Longi Solar модель LR5-54НТН-430М (див. рисунок 2.2), так як на момент проектування нашої системи вони мали найдешевшу ціну купівлі, а саме 3392 грн, і підходять за габаритними розмірами для розміщення в розроблюваній нами системі. Потужність однієї такої панелі становить 430 Вт. Вага однієї сонячної панелі, яка необхідна нам для визначення маси поворотної платформи становить 16 кг.

Отже, визначимо вагу сонячних панелей:

$$m_1 = n \cdot m_{\text{панелі}} , \quad (2.2)$$

де:

n – кількість сонячних панелей, шт;

$m_{панелі}$ – маса однієї сонячної панелі, кг.

За виразом 2.1, що:

$$m_1 = 6 \cdot 16 = 96 \text{ кг.}$$

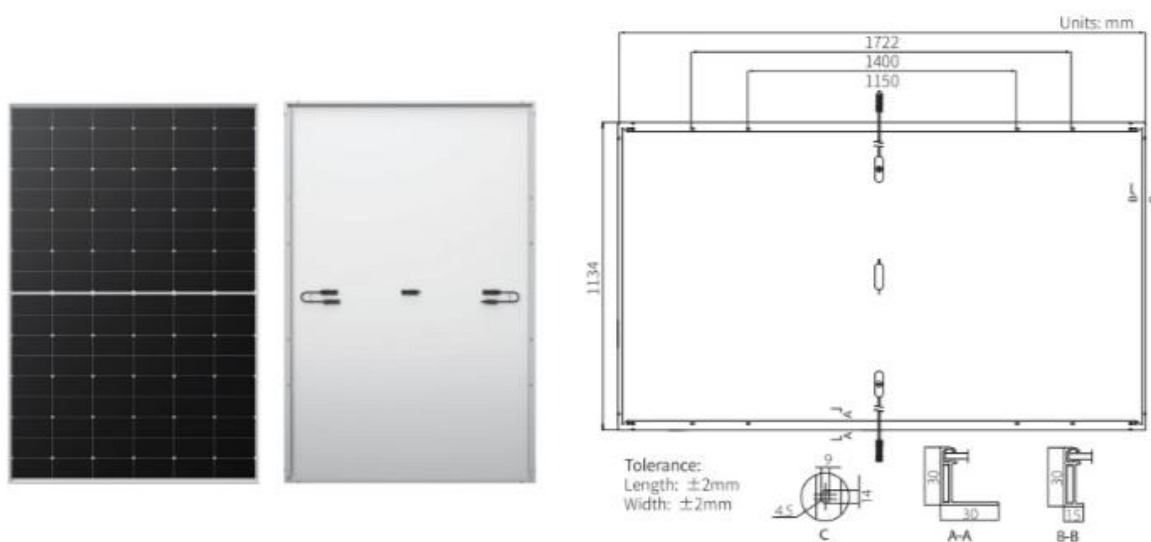


Рисунок 2.2 – Сонячна панель компанії виробника Longi Solar модель LR5-54НТН-430М

Знаючи габарити металевої конструкції поворотного майданчика (див. рисунок 2.3), розрахуємо її масу:

$$m_2 = L \cdot m_{м.п.}, \quad (2.3)$$

де:

L – загальна довжина металевого профілю, м;

$m_{м.п.}$ – вага метра погонного, кг.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

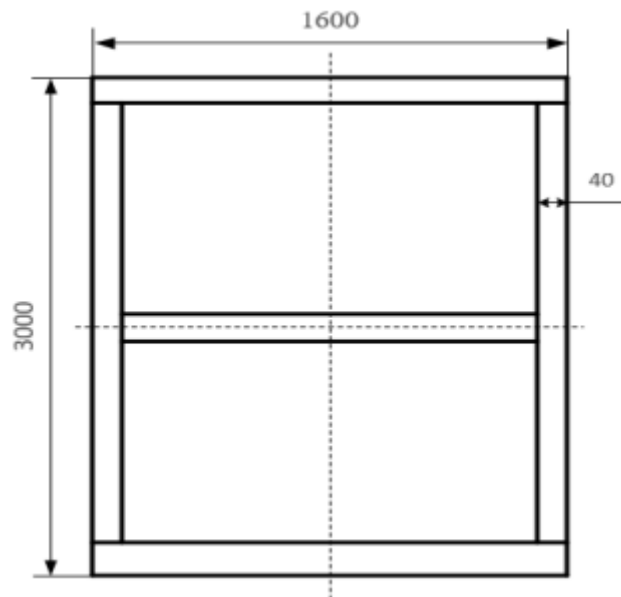


Рисунок 2.3 – Габарити металевої профільної конструкції

Слід зазначити, що конструкція виготовлена із трубчатого металевого профілю 40х40 мм, вага погонного метра якого становить 1,85 кг. Тоді будемо мати, що:

$$m_2 = (3 \times 3 + 1.6 \times 3) \times 1.85 = 25,5 \text{ кг.}$$

Отже за виразом 2.1 загальна маса поворотної платформи становитиме:

$$m_{\text{заг}} = 96 + 25,5 = 121,5 \text{ кг} \approx 122 \text{ кг.}$$

Далі визначимо максимальний обертаючий момент нашої системи:

$$M_{\text{max}} = m_{\text{заг}} \times r + M_{\text{вітер}}, \quad (2.3)$$

де:

M_{max} – максимальний обертаючий момент, Нм;

r – довжина штока актуатора, м;

$m_{\text{заг}}$ – вага поворотної поверхні, кг;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.021.ПЗ

Аркуш

28

$M_{\text{вітер}}$ – додаткове вітрове навантаження, Нм.

Довжина штока актуатора в системі в ST1500 становить 9 см, або 0,09 м. Додаткове навантаження вітру визначимо за наступним виразом:

$$M_{\text{вітер}} = \frac{1}{4} \times S \times V \times H, \quad (2.4)$$

де:

S – площа поворотної поверхні м^2 ;

V – середньорічна швидкість вітру (для Житомирської області вона становить 2,5 м/с);

H – висота конструкції, яка рівна значенню 3 м.

Тоді за виразом 2.4, матимемо:

$$M_{\text{вітер}} = \frac{1}{4} \times (3 \cdot 1,6) \times 2 \times 3 = 7,2 \text{ Нм}.$$

Отже, за виразом 2.3 максимальний обертаючий момент нашої системи становить:

$$M_{\text{max}} = 122 \times 0,09 + 7,2 = 18,2 \text{ Нм}.$$

Враховуючи проведені вище розрахунки, орієнтовне значення швидкості двигуна приймаємо рівним $n = 750$ об/хв., що відповідає його синхронній частоті обертання. Значення кутової частоти обертання двигуна визначимо із формули обертового руху:

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30}, \quad (2.5)$$

де:

n – частота обертання об/хв.;

ω – кутова частота обертання рад/с.

Отримаємо:

$$\omega = \frac{3,14 \times 750}{30} = 78 \text{ рад/с.}$$

Для розрахунку потужності двигуна застосуємо відповідну формулу:

$$P = M_{\max} \cdot \omega, \quad (2.6)$$

де:

P – потужність двигуна, Вт;

ω – кутова частота обертання рад/с;

$M_{\max}$ – максимальний обертаючий момент, Нм.

Матимемо, що:

$$P = 18,2 \cdot 78 = 1419,6 \text{ Вт} \approx 1,5 \text{ кВт.}$$

Виходячи з отриманих результатів розрахунку, обираємо асинхронний електродвигун АІР100L8 (див. рисунок 2.4) із частотою обертання 690 об/хв.



Рисунок 2.4 – Електродвигун АІР100L8

Паспортні дані обраного нами двигуна наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1– Паспортні дані двигуна AIP100L8

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Номінальна потужність	1,5 кВт
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 220/380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 8$
Момент інерції	$J_d = 0.0123 \text{ кг} \times \text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.69$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.62$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2$
Номінальне ковзання	$S_n = 0.07$
Критичне ковзання	$S_k = 0.38$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\vec{X}_1' = 0.27$
Активний опір статора	$\vec{R}_1' = 0.23$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\vec{X}_2'' = 0,5$
Приведений активний опір ротора	$\vec{R}_2'' = 0,14$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\vec{X}_\mu = 2,14$

2.2.2 Вибір редуктора

Щоб вибрати відповідний редуктор, слід врахувати, що необхідна лінійна швидкість висувного штока становить 10 мм/с (або 0,01 м/с), а кутова швидкість (частота) обертання обраного двигуна дорівнює 78 рад/с.

За допомогою наведеної нижче формули визначимо лінійну швидкість двигуна:

$$v_d = R \cdot \omega, \quad (2.7)$$

де:

R – радіус обертання висувного штока двигуна, м;

ω – кутова частота обертання рад/с;

v_d – лінійна швидкість двигуна, м/с.

Слід зазначити, що радіус R обертання висувного штока обраного електродвигуна двигуна AIP100L8 становить 1,4 м або 0,014 м. Тоді за виразом 2.7 отримаємо:

$$v_{\partial} = 0,014 \cdot 78 = 1,09 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт передавання редуктора обчислимо на основі швидкості висувного штока та радіусу обертання висувного штока двигуна:

$$i = \frac{R}{v_{\text{вш}}}, \quad (2.8)$$

де:

i – коефіцієнт передавання редуктора;

R – радіус обертання висувного штока двигуна, м;

$v_{\text{вш}}$ – лінійна швидкість висувного штока становить, м/с.

Отримаємо, що:

$$i = \frac{0,014}{0,01} = 14.$$

На основі розрахунків бачимо, що необхідне передаточне число становить від 1 до 14, тому вибираємо редуктор RV02515 (див. рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд редуктора RV02515

2.2.3 Аналіз перевантажувальної здатності двигуна

Оцінка перевантажувальної здатності попередньо обраного двигуна проводиться на основі максимального моменту ($M_{\max} = 18,2 \text{ Нм}$) за заданих умов:

$$M_{\max} \leq \lambda \cdot M_n, \quad (2.9)$$

де:

$\lambda = 2$ – перевантажувальна здатність;

M_n – номінальний момент вибраного двигуна, Нм.

Отже, розрахуємо номінальний момент вибраного двигуна M_n . Для цього спершу визначимо кутову частоту напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (2.10)$$

де:

f – номінальна частота напруги статора, Гц;

ω_{0n} – кутова частота напруги статора, рад/с.

Отримаємо:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

Далі визначимо швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n}, \quad (2.11)$$

де:

ω_{xx} – швидкість ідеального холостого ходу двигуна, рад/с;

ω_{0n} – кутова частота напруги статора, рад/с;

p_n – число пар полюсів обраного двигуна.

Матимемо:

$$\omega_{xx} = \frac{314}{8} = 39,27 \text{ рад/с.}$$

Тоді номінальна швидкість обертання обраного двигуна становитиме:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - S_n), \quad (2.12)$$

де:

ω_{xx} – швидкість ідеального холостого ходу двигуна, рад/с;

S_n – номінальне ковзання.

ω_n – номінальна швидкість обертання обраного двигуна, рад/с.

Отримаємо:

$$\omega_n = 39,27 \cdot (1 - 0,07) = 36,52 \text{ рад/с.}$$

Отже, номінальний момент вибраного двигуна становитиме:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n}, \quad (2.13)$$

де:

M_n – номінальний момент вибраного двигуна, Нм;

ω_n – номінальна швидкість обертання обраного двигуна, рад/с;

P_{2n} – номінальна потужність обраного електродвигуна, Вт.

Отримаємо:

$$M_n = \frac{1500}{39.27} = 41.1 \text{ Нм.}$$

Тоді критичний момент електродвигуна двигуна з урахуванням перевантажувальної здатності λ становитиме:

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2 \cdot 41.1 = 82,2 \text{ Нм.} \quad (2.14)$$

Як бачимо, у відповідності до виразу 2.9 попередньо обраний нами електричний двигун відповідає вимогам перевантажувальної здатності.

2.2.4 Визначення параметрів асинхронного двигуна

Номінальні ефективні діючі значення фазної напруги U_n та струму статора I_n обраного нами електродвигуна становитимуть:

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}}; \quad (2.15)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi},$$

де:

U_{1n} – номінальна лінійна напруга статора, В;

η – коефіцієнт корисної дії;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Будемо мати, що:

$$U_n = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В;}$$

$$I_n = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,69 \cdot 0,62} = 7,53 \text{ A.}$$

Амплітудні значення фазної напруги U_{na} і струму статора I_{na} обраного нами електродвигуна будуть рівні:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 310,3 \text{ В;}$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 7,53 = 10,6 \text{ A.}$$

(2.16)

Максимальне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу за умови, що активний опір статора $\overrightarrow{R_1}' = 0$ становитиме:

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{310,3}{314} = 0,99 \text{ Вб.}$$

(2.17)

2.3 Вибір компонентної бази для реалізації електромеханічної системи сонячного трекера

Оскільки система виконує низку важливих функцій, зокрема керування двигуном, зчитування та перетворення координат у сигнал завдання, доцільно розробити її на базі мікроконтролера.

Для кращого розуміння принципу роботи системи керування сонячним трекером її можна поділити на такі функціональні блоки:

- блок визначення просторових координат системи;
- мікроконтролер, який формує сигнал завдання на основі різниці між реальним положенням установки та сонця;
- інтерфейс користувача.

Система орієнтації буде містити акселерометр та електронний компас, що забезпечують точне позиціонування трекера у просторі.

До основних датчиків орієнтації належать:

- годинник реального часу (RTC) – необхідний для запису положення сонця у кожен момент часу та збереження цих даних у пам'яті контролера. RTC-модулі здатні підтримувати точний час навіть при вимкненні основного живлення, використовуючи резервну батарею (CR2032 або літій-іонний акумулятор LIR2032 на 3,6 В), якої вистачає на кілька років;
- акселерометр – вимірює різницю між істинним і гравітаційним прискоренням об'єкта, а отримані дані при цьому використовуються для розрахунку зенітного кута;
- магнітометр – визначає параметри магнітного поля Землі, задані у вигляді вектора напруженості, координати якого перетворюються у значення азимутального кута.

Для обміну даними між мікроконтролером і датчиками будемо використовувати протокол I2C, розроблений для зв'язку між інтегральними мікросхемами в межах одного електронного пристрою. Цей 8-бітний інтерфейс дозволяє здійснювати комунікацію між блоками керуючої електроніки через спільні дроти, що дає змогу взаємодіяти з кількома пристроями одночасно. Основні переваги та недоліки протоколу наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Переваги та недолік інтерфейсу передачі даних I2C

ПЕРЕВАГИ	НЕДОЛІКИ
підтримує швидкості передачі даних: з 100 Кбіт/с до 3,4 Мбіт/с;	потребує більш складного обладнання;
легко виконати діагностику виникнення помилок;	напівдуплексний режим зв'язку;
пристрої можуть бути вилучені, не впливаючи на інші схеми на шині;	менша швидкість передачі даних у порівнянні з SPI.
використовує лише 2 лінії – SDA і SCL.	

2.3.1 Вибір мікроконтролера

Мікроконтролери широко використовуються в різних електронних пристроях для керування їх роботою.

З розвитком технологій виробництво мікроконтролерів стрімко прогресує, змушуючи виробників створювати дедалі складніші та більш функціональні пристрої в умовах високої конкуренції. Останнім часом популярності набули ARM-мікроконтролери, а завдяки появі доступних контролерів на основі ядра Cortex-M їхня вартість стала досить прийнятною.

Мікроконтролер STM32F100C4T6B (див. рисунок 2.6) перевершує своїх 8-бітних конкурентів за всіма основними характеристиками, а з урахуванням його вартості – це один із найкращих варіантів серед доступних сьогодні на ринку України.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32F100C4T6B

У якості налагоджувальної плати обрано STM32VLDISCOVERY (див. рисунок 2.7), яка забезпечує апаратну підтримку I2C.

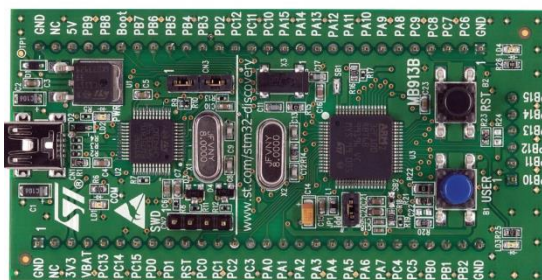


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд плати STM32VLDISCOVERY

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.021.ПЗ

Аркуш

38

Вона має широкий функціонал, детальний опис якого представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики плати STM32VLDISCOVERY

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Кількість входів/виходів	51
Тип живлення	від USB або зовнішнього джерела живлення 5 В або 3,3 В
Інтерфейси	I2C, IrDA, LIN, SPI, UART/USART
Робоча температура	-40 ... 85 °C
Об'єм оперативної пам'яті	8 Кб

2.3.2 Вибір рідкокристалічного дисплея

LCD-дисплей – це рідкокристалічний екран, що англійською означає Liquid Crystal Display. Тож терміни "рідкокристалічний" і "LCD" позначають одну й ту саму технологію. Її назва пов'язана з використанням особливої речовини, яка зберігає рідкий стан, водночас маючи оптичні властивості, характерні для кристалів.

Сучасні LCD-дисплеї мають низку переваг, які забезпечуються фізичними властивостями рідких кристалів. Оскільки їхні молекули завжди залишаються у рідкому стані, їхні оптичні характеристики можна змінювати за допомогою електричного струму. Це дозволяє регулювати розташування молекул, змінювати напрям заломлення світла та відсіювати певний спектр випромінювання.

Для відображення різноманітної інформації найчастіше застосовуються символні LCD-дисплеї. Вони стали значним технологічним проривом, замінивши світлодіодні (LED) і газоплазмові дисплеї. Завдяки рідким кристалам LCD-екрани значно тонші за електронно-променеві трубки (ЕЛТ) та споживають менше енергії порівняно зі світлодіодними та газовими дисплеями. Це пояснюється принципом їхньої роботи – вони блокують світло, а не випромінюють його. На відміну від світлодіодів, які генерують

світло, рідкі кристали LCD-дисплея створюють зображення за допомогою заднього підсвічування.

Оскільки система сонячного трекера має досить просту конструкцію, для її потреб обрано дисплей, який повністю відповідає функціональним вимогам – це дисплей LCD1602A, який зображено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – дисплей LCD1602A

Характеристики обраного нами дисплею наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики дисплею LCD1602A

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Живлення	5 В
Робоча температура	-25...50 °С
Колір підсвітки	зелений та жовтий колір символів
Графічний інтерфейс	HD44780

2.3.3 Вибір магнітного компасу

Магнітний компас – пристрій, що визначає положення трекера відносно вертикальної осі за трьома координатними векторами. При зміні положення трьохосьового магнітометра в магнітному полі Землі його показання на кожній осі змінюються. Завдяки цим даним можна визначити напрямок руху щодо сторін світу. Використовуючи значення осей X і Y, можна обчислити кут відхилення від північного напрямку, що дозволяє застосовувати магнітометр як компас.

Для визначення координат положення установки можна також використовувати гіроскоп, проте він має дрейф, що впливає на точність вимірювань.

Як магнітний компас оберемо трьохосьовий магнітометр GY-271, який є популярним серед аналогічних пристроїв і добре зарекомендував себе на ринку України. Він підтримує інтерфейс I2C для підключення. Модуль GY-271 оснащений мікросхемою QMC5883L, що дозволяє виявляти магнітні поля та визначати їхні напрями. Зовнішній вигляд пристрою показано на рисунку 2.9. Основні характеристики модуля наведені у таблиці 2.5.

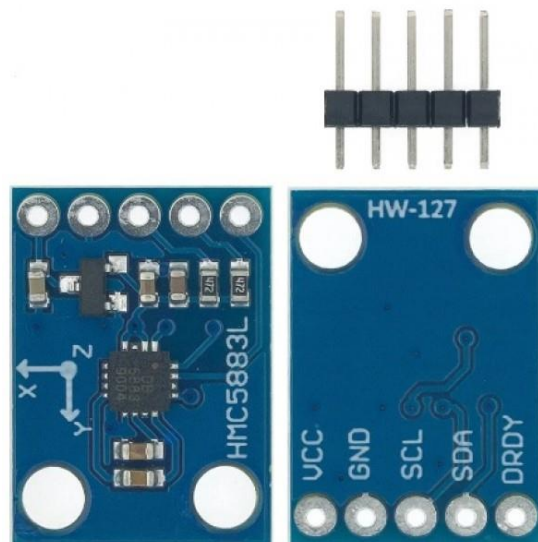


Рисунок 2.9 – Магнітометр GY-271

Таблиця 2.5 – Характеристики магнітометра GY-271

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Напруга живлення	3,3...5 В
Калібрування	автоматичне
Діапазон вимірювань	± 8 Гаусс
Точність вимірювання	± 2 мГаусс
Споживання в режимі вимірювання	2,5 мА
Розмір	14x13 мм

2.3.4 Вибір акселерометра

Для орієнтації сонячного трекера щодо горизонтальної осі необхідний пристрій для вимірювання його нахилу. Для таких задач зазвичай застосовується акселерометр.

Його використання зумовлене необхідністю вимірювання повного прискорення об'єкта, що здійснюється за трьома координатними осями X, Y та Z.

Як датчик акселерометра оберемо пристрій LIS2DW12, який вирізняється простотою підключення та низьким енергоспоживанням. Зовнішній вигляд модуля наведено на рисунку 2.10. Технічні характеристики акселерометра LIS2DW12 наведено у таблиці 2.6.



Рисунок 2.10 – Акселерометр LIS2DW12

Таблиця 2.6 – Характеристики акселерометра LIS2DW12

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Напруга живлення	1,62...3,6 В
Інтерфейси	SPI і I2C
Рівень шуму	90 мкг/√Гц
Робоча температура	від -40 °C до +80 °C

LIS2DW12 – це продуктивний трьохосьовий лінійний акселерометр із наднизьким енергоспоживанням, що належить до сімейства «фемто». У його виробництві застосовуються перевірені технологічні процеси, які вже використовуються для створення акселерометрів.

Пристрій підтримує налаштовувані користувачем діапазони вимірювання: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$, а його вихідна частота даних варіюється від 1,6 Гц до 1600 Гц. Даний акселерометр має функцію самотестування, що дає можливість перевірити його працездатність у конкретному застосуванні.

2.3.5 Вибір годинника реального часу

Однією з ключових експлуатаційних характеристик модуля реального часу для сонячного трекера є його здатність стабільно працювати в широкому діапазоні температур, оскільки протягом року в Україні вони коливаються від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

З огляду на це для системи обрано DS3231 – модуль годинника реального часу, який оснащений термокомпенсованим кварцовим резонатором. Завдяки цьому резонатору пристрій підтримує стабільну частоту незалежно від температурних змін.

DS3231 – це високоточний реальний час (RTC) модуль, що має інтегрований I2C-інтерфейс та кварцовий резонатор. Він також має вхід для підключення резервного автономного джерела живлення, що забезпечує вимірювання температури та стабільну роботу навіть при відсутності основного електроживлення. Зовнішній вигляд пристрою представлено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Модуль годинника реального часу DS3231

DS3231 здатний зберігати інформацію в різних форматах, зокрема:

- секунди;
- хвилини;
- години;
- день, дата, місяць і рік.

Наприкінці кожного місяця модуль автоматично коригує дату відповідно до кількості днів у місяці, включаючи врахування високосних років. Обмін даними здійснюється через I2C-шину. Основні характеристики DS3231 наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристики годинника реального часу DS3231

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Напруга живлення	2,3...5,5 В
Вага модуля годинника	8 г
Режим роботи інтерфейсу	I 2C
Робоча температура	від -40 °C до +85 °C
Точність	± 2 ppm

2.3.6 Вибір частотного перетворювача

Частотні перетворювачі – це електротехнічні пристрої, призначені для регулювання частоти змінної напруги. Їх основне застосування полягає у зміні швидкості обертання та крутного моменту електродвигунів.

Зважаючи на характеристики вибраного двигуна AIP100L8 із потужністю 1,5 кВт, для керування ним обрано частотний перетворювач Altivar_312.

Altivar_312 (див. рисунок 2.12) розроблений для керування асинхронними електродвигунами, підтримує джерела живлення від 200 В до 600 В, а його робочий діапазон потужностей становить 0,18–15 кВт.

Altivar_312 вирізняється високою надійністю, компактними розмірами та простотою монтажу. Його вбудовані функції підходять для застосування у

базових виробничих механізмах. Завдяки легкому налаштуванню та сучасній концепції пристрій забезпечує економічно ефективне та стабільне рішення для розробників компактних машин (ОЕМ) та інтеграторів.



Рисунок 2.12 – Частотний перетворювач Altivar_312

Перетворювач Altivar_312 легко інтегрується в системи автоматизації завдяки додатковим платам зв'язку, що розширюють його функціональні можливості. Він має гнучке налаштування конфігурацій накопичувачів через різні інструменти, такі як SoMove, мобільне програмне забезпечення, віддалені термінали та конфігураційні утиліти (завантажувач, мультизавантажувач). Може адаптуватися до мереж зв'язку та шин завдяки простій заміні карти введення-виведення на відповідну карту зв'язку. Володіє зручним користувацьким інтерфейсом, що полегшує налаштування та прискорює інтеграцію в різні застосування.

2.4 Опис роботи електричної принципової схеми електромеханічної системи сонячного трекера

Принципова електрична схема керування системою спостереження за сонцем (система сонячного трекера) зображена на листі №2 формату А1 графічної частини даного дипломного проєкту.

Принцип її роботи полягає у наступному. До мікроконтролера підключено дві кнопки. Перша – користувацька кнопка SB1, з'єднана з виходом PA0. У стані спокою вона розімкнута, а конденсатор C1 виконує функцію захисту входу мікроконтролера від зовнішніх завад. Під час натискання SB1 її вхід замикається на плюс живлення, подаючи на мікроконтролер логічну одиницю. Друга кнопка – SB2 виконує функцію апаратного скидання: її натискання замикає вхід мікроконтролера на землю, що змушує пристрій перезапустити програму з початку.

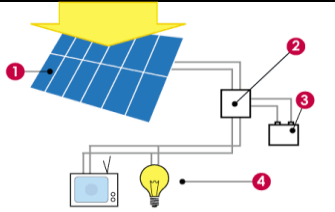
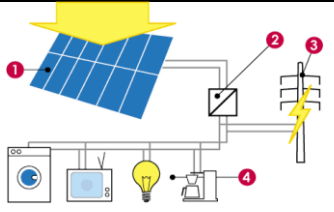
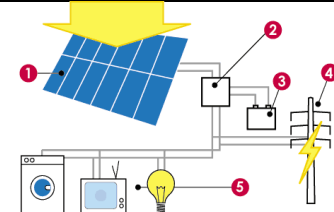
Для керування асинхронним двигуном використовується частотний перетворювач Altivar_312, який контролюється за допомогою реле K1 та K2. Ці реле, у свою чергу, управляються мікроконтролером STM32F100C4T6B.

Інші компоненти системи, зокрема LCD-дисплей, модуль акселерометра, модуль годинника реального часу та магнітометр, живляться від +5В. Їхні керуючі виходи підключаються до відповідних входів мікроконтролера.

2.5 Вибір архітектури сонячної енергосистеми та розрахунок інвертора

На сьогодні відомі три основні типи побудови сонячних електростанцій (див. таблицю 2.8).

Таблиця 2.8 – Основні типи побудови фотоелектричних систем

Автономна фотоелектрична система	Фотоелектрична система з'єднана з мережею	Резервна фотоелектрична система
		
1 – сонячні панелі; 2 – контролер заряду АБ та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – навантаження	1 – сонячні панелі; 2 – інвертор; 3 – мережа; 4 – навантаження	1 – сонячні панелі; 2 – контролер заряду АБ та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – мережа; 5 – навантаження

Всі наведені вище варіації щодо реалізації систем альтернативного живлення на базі сонячної електростанції мають як свої конкретні переваги так і недоліки. В нашому випадку зупинимо свій вибір на фотоелектричній системі з'єднаній із мережею. Так як для побудови автономної системи нам не вистачить потужності обраних нами сонячних панелей, бо їх кількість обмежена поворотною платформою системи сонячного трекера, яка дозволяє розмістити максимум 6 шт. До того ж автономна система передбачає додаткові капітальні вкладення на купівлю акумуляторних батарей та контролера заряду, що відноситься і до недоліків, у нашому випадку, резервної фотоелектричної системи також.

Для реалізації варіанту фотоелектричної системи з'єднаної з мережею нам потрібно розрахувати та вибрати лише інвертор. До того ж обраний нами варіант побудови сонячної системи гарно впишеться в концепцію всієї установки розроблюваної в даному дипломному проєкті, так як інвертор можна буде розмістити безпосередньо на самій трекерній платформі.

Для того щоб вибрати інвертор визначимо загальну потужність сонячних панелей, які ми обрали раніше:

$$P_{СП_заг} = n_{СП} \cdot P_{СП}, \quad (2.18)$$

де:

$P_{СП_заг}$ – загальна потужність сонячних панелей розроблюваної системи, Вт;

$P_{СП}$ – потужність однієї сонячної панелі, Вт;

$n_{СП}$ – загальна кількість сонячних панелей, які використовуються в розроблюваній системі, шт.

Отримаємо:

$$P_{СП_заг} = 6 \cdot 430 = 2580 \text{ Вт.}$$

Як бачимо, загальна потужність обраних сонячних панелей становить 2580 Вт, а тому інвертор який нам необхідний має бути обраний таким чином, щоб його потужність була рівною або трохи більшою за розраховане значення загальної потужності всіх сонячних панелей в системі.

Отже, враховуючи вище зазначене, оберемо інвертор компанії-виробника PowerMe, модель PWM-IPS2600 (12/220 В) потужністю 2600 Вт (див. рисунок 2.13). Технічні характеристики обраного типу інвертора наведені в таблиці 2.9.



Рисунок 2.13 – Інвертор PWM-IPS2600 компанії виробника PowerMe

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики інвертора PWM-IPS2600 компанії виробника PowerMe

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
Вхідна напруга	12 В
Вихідна напруга	220 В
Номінальна потужність	2600 Вт
Частота	50/60 Гц
Робоча температура	від -20 °С до +40 °С
Тип вихідного сигналу	чиста синусоїда

2.6 Вибір приладів обліку електричної енергії

Для контролю споживаної та виробленої електроенергії в альтернативній енергосистемі приватного будинку, що розробляється в даному дипломному проекті, необхідно встановити лічильник електроенергії.

Щоб визначити оптимальний тип лічильника, слід проаналізувати інформацію, представлену в таблиці 2.10. У ній наведено порівняння сучасних моделей лічильників, зокрема індукційних та електронних.

Таблиця 2.10 – Порівняльний аналіз індукційних та електронних лічильників електроенергії

ХАРАКТЕРИСТИКА	ІНДУКЦІЙНІ ЛІЧІЛЬНИКИ	ЕЛЕКТРОННІ ЛІЧІЛЬНИКИ
Точність вимірювання	Низька (до 2,0%)	Висока (0,2-0,5%)
Робота при змінних навантаженнях	Значне зростання похибки	Зберігають точність
Захист від розкрадання	Слабкий	Фіксують несанкціонований доступ
Багатотарифність	Відсутня	Підтримується
Дистанційне зчитування	Обмежене	Доступне
Вартість	Низька	Вища
Довговічність	До кількох десятків років	Тривалий термін, залежить від електронних компонентів
Чутливість до перепадів напруги	Стійкі	Вразливі до комутаційних та грозових перепадів
Енергоспоживання	Відносно високе	Низьке

Враховуючи дані таблиці 2.11, а також аналіз переваг і недоліків електронних та індукційних лічильників з урахуванням особливостей нашої системи альтернативного енергозабезпечення, прийнято рішення на користь електронного лічильника. Серед доступних на ринку України моделей, відповідно до критерію «ціна / якість», оптимальним вибором є лічильник Itron SL7000 з класом точності 0,5s, який є трифазним, багатотарифним і відповідає актуальним вимогам енергетичного ринку. Зображення вибраної моделі наведено на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Лічильник електронного типу, модель Itron SL7000

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.021.ПЗ

Аркуш

3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ

3.1 Оцінка капіталовкладень проєкту

У межах цього дипломного проєкту була розроблена система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем. Основні завдання цього розділу полягають у проведенні аналізу капітальних та експлуатаційних витрат, необхідних для реалізації запропонованої системи, а також у розрахунку строку її окупності. Це дозволить оцінити економічну доцільність використання даної системи. При цьому слід враховувати не лише вартість обладнання, а й витрати на його технічне обслуговування протягом 10 років експлуатації. Витрати на обслуговування елементів системи оцінюються на рівні 1% від загальної вартості устаткування.

Під час проведення кошторисного аналізу першочерговим завданням є розрахунок загальної річної вартості розробленої нами системи альтернативного енергозабезпечення – ТАС (Total Annualized Cost) із використанням відповідного виразу:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (3.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – сукупна вартість розробленої системи протягом усього терміну її використання, грн.;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – сукупний показник фактичної вартості розробленої системи, грн.

					ДП.141.042.021.ПЗ				
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Соловєнюк Д.М.			3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ				
Перевір		Антипчук Б.О.							
Н. Контр.		Антипчук Б.О.							
Затв.		Лавріщев О.О.							
					Літ.	Арк.	Аркушів		
					У		50	68	
					ЖАТФК, Гр. Е-42				

Фінансові вкладення у створення та придбання основних фондів і нематеріальних активів, що амортизуються, визначають капітальні витрати. Вони відіграють важливу роль у економічному аналізі ефективності розробленої системи. Таблиця 3.1 містить перелік необхідних капітальних витрат для її впровадження.

Таблиця 3.1 – Капіталовкладення в розробку системи

№	Назва технічних матеріалів	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	База сонячного трекера ST1500	1	10000	1000
2	Сонячні панелі Longi Solar модель LR5-54НТН-430М	6	3392	20352
3	Електродвигун AIP100L8	1	6150	6150
4	Редуктор RV02515	1	2050	2050
5	Інтерфейс I2C	1	30	30
6	Мікроконтролер STM32F100C4T6B	1	200	200
7	Налагоджувальна плата STM32VLDISCOVERY	1	430	430
8	Дисплей LCD 1602A	1	103	103
9	Магнітометр CY-271	1	190	190
10	Акселерометр LIS2DW12	1	545	545
11	Годинник реального часу DS3231	1	75	75
12	Частотний перетворювач Altivar_312	1	6900	6900
13	Інвертор PWM-IPS2600	1	3500	3500
14	Електронний лічильник Itron SL7000	1	14700	14700
Разом:				56225

Фінансова оцінка процесу монтажу та налаштування буде проведена за допомогою розрахункового рівняння:

$$K_{MH} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_{PP}, \quad (3.2)$$

де:

C_i – обсяг кадрових ресурсів i -го розряду, необхідний для виконання монтажних чи налагоджувальних завдань;

a – тарифна ставка за годину роботи фахівця i -го розряду, грн.;

t_i – тривалість виконання визначеного обсягу монтажних або налагоджувальних робіт, год.;

$K_D = 1,1 \dots 1,5$ – коригувальний коефіцієнт, що враховує додаткові виплати;

$K_{CM} = 1,22$ – коефіцієнт, що охоплює соціальні відрахування;

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$ – коригувальний коефіцієнт, що включає додаткові витрати на монтажні та налагоджувальні роботи.

Вартість монтажних та налагоджувальних робіт визначатиметься на основі базових договірних розцінок і тарифів компанії «Electrolight», яка спеціалізується на виконанні електромонтажних робіт різних типів. Згідно з інформаційним листом компанії, тарифна ставка її працівників становить 135,8 грн./год., а тривалість монтажних та налагоджувальних робіт, необхідних для встановлення розробленої системи, складе від 6 до 10 робочих годин. Отже, відповідно до виразу 3.2, отримаємо:

$$K_{MH} = (2 \cdot 135,8 \cdot 8) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 4373,9 \text{ грн.}$$

Вартість транспортування визначається на основі тарифів ТОВ «Car and Bus», маси вантажу та відстані до складу постачальника. Перевізник розрахував, що доставка 6 вантажних одиниць масою до 0,5 т складе 5745 грн.

Далі розрахуємо капітальні витрати запропонованої системи, використовуючи зазначений нижче математичний вираз:

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH} , \quad (3.3)$$

де:

K_{OB} – загальна вартість обладнання за підсумком витрат, без урахування ПДВ, грн;

K_{TP} – фінансові затрати на перевезення, постачання та складування, грн;

K_{MH} – витрати, необхідні для виконання монтажних і налагоджувальних процесів, грн.

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримаємо, що:

$$K = 56225 + 5745 + 4373,9 = 66343,9 \text{ грн.}$$

Таким чином, сумарні капітальні витрати на впровадження розробленої системи альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем, складуть 66343,9 грн.

3.2 Аналіз витрат на експлуатацію проєкту

Експлуатаційні витрати – це фінансові ресурси, необхідні для використання та підтримки розробленої системи в межах нашого проєкту протягом визначеного періоду. Ці витрати виражені у грошовому еквіваленті та включають такі основні компоненти: амортизаційні відрахування (C_a), витрати на електроенергію (C_e), заробітну плату обслуговуючого персоналу та соціальні внески (C_3), витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання (C_T), а також інші супутні витрати ($C_{ін}$). Відповідно, загальні річні експлуатаційні витрати для проєктованої системи складають:

$$C = C_a + C_e + C_3 + C_T + C_{ін} . \quad (3.4)$$

Розроблена нами система альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем є повністю автономною, не потребує постійного контролю оператора чи обслуговуючого персоналу. Всі планові роботи з технічного обслуговування виконуватимуться власниками житла, тому витрати на обслуговування (C_3) та інвестиційні витрати ($C_{ін}$) приймаються рівними нулю.

Амортизаційні відрахування системи розраховуються з урахуванням строку її експлуатації, прогнозованих економічних вигод, технічних параметрів основного обладнання, фізичного зносу та інших факторів, що можуть впливати на її використання. Термін ефективного функціонування встановленого обладнання становить 10 років. Згідно з прямолінійним методом амортизації, її норма залишається незмінною протягом усього періоду та становить:

$$H_a = \frac{K}{K \cdot T_n} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де:

T_n – термін амортизації розробленої системи, років;

K – капітальні витрати розробленої системи, грн.

Таким чином, норма амортизації для нашої системи складатиме:

$$H_a = \frac{66343,9}{66343,9 \cdot 10} \cdot 100\% = 10 \, \% .$$

Наступним кроком розрахуємо величину річних амортизаційних відрахувань за допомогою відповідного виразу:

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (3.6)$$

де:

H_a – норма амортизації, %.

Матимемо, що:

$$C_a = \frac{66343,9 \cdot 10}{100} = 6634,39 \text{ грн.}$$

Для розрахунку річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання нашої системи необхідно врахувати витрати на матеріали, запасні частини та оплату праці ремонтного персоналу. Орієнтовно ці витрати становитимуть близько 1% від загальної суми капітальних вкладень:

$$C_T = 0,01 \cdot K . \quad (3.7)$$

Отримаємо:

$$C_T = 0,01 \cdot 66343,9 = 663,44 \text{ грн} .$$

Річні експлуатаційні витрати по проєктованій системі розраховуємо за виразом 3.4. Вони будуть становити:

$$C = 6634,39 + 0 + 0 + 663,44 = 7297,93 \text{ грн} .$$

3.3 Оцінка терміну, за який система компенсує вкладені кошти

На сьогодні впровадження систем електропостачання на основі нетрадиційних джерел енергії потребує значних фінансових вкладень, проте їх експлуатація є менш енергоємною. Таким чином, основні витрати, що потребують відшкодування – це капітальні інвестиції.

Запроєктована нами система альтернативного енергозабезпечення є мережевою, що дозволяє використовувати вироблену енергію для живлення побутових електроприладів у будинку, а при надлишку – продавати в міську електромережу.

Згідно із Законом України №514-VIII від 04.06.2015 р. та постановою НКРЕКП №725 від 25.03.2020 р., встановлено такі ставки «зеленого» тарифу:

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						55
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у період з 1 січня 2023 року до 31 грудня 2024 року ставка становить 0,163 євро або 6,81 грн.

Виконаємо розрахунок річного обсягу генерації електроенергії нашою альтернативною енергосистемою. Для цього визначимо загальну потужність всіх сонячних панелей в нашій системі:

$$P_{СП_заг} = P_{СП} \cdot n , \quad (3.8)$$

де:

n – кількість сонячних панелей, шт;

$P_{СП}$ – потужність однієї сонячної панелі, Вт;

$P_{СП_заг}$ – загальну потужність всіх сонячних панелей в розробленій системі, кВт.

Отримаємо:

$$P_{СП_заг} = 430 \cdot 6 = 2580 \text{ Вт} \approx 2,58 \text{ кВт.}$$

Тепер визначимо річний виробіток електроенергії енергії нашою сонячною системою без врахування, того, що розроблена нами система є трекерною, тобто поки розраховуємо її в стаціонарному варіанті. Середня кількість сонячних годин на день протягом року в м. Житомир становить близько 4,5 год. Тоді денне вироблення електроенергії визначимо за виразом:

$$E_{доба} = P_{СП_заг} \cdot n_{сон.год} , \quad (3.9)$$

де:

$E_{доба}$ – загальна кількість виробленої електроенергії за добу розробленою нами системою без врахування її можливості слідкування за сонцем, кВт·год.;

$P_{СП_заг}$ – загальну потужність всіх сонячних панелей в розробленій системі, кВт.

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						56
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$n_{сон.год}$ – середня кількість сонячних годин на добу протягом року в м. Житомир, год.

Будемо мати:

$$E_{доба} = 2,58 \cdot 4,5 = 11,61 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тоді річний виробіток електроенергії становитиме:

$$E_{рік} = 365 \cdot E_{доба} , \quad (3.10)$$

де:

$E_{рік}$ – загальна кількість виробленої електроенергії за рік розробленою нами системою без врахування її можливості слідкування за сонцем, кВт·год.

В результаті отримаємо наступні дані:

$$E_{рік} = 365 \cdot 11,61 = 4237 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тепер проведемо коригування на те, що розроблена нами система є трекерною, тобто врахуємо той факт, що в такому разі її продуктивність зросте на 30% або в 1,3 рази, тоді загальний виробіток електроенергії за рік становитиме:

$$E_{рік_трекер} = 1,3 \cdot E_{рік} = 1,3 \cdot 4237 = 5510 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3.11)$$

Отже, загальний річний прибуток від експлуатації впровадженої системи альтернативного енергозабезпечення однокімнатної квартири, що функціонує на основі вітрогенераторів типу «тюльпан», становитиме:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot E_{\text{рік_трекер}}, \quad (3.12)$$

де:

$Y_{\text{розробленої системи}}$ – щорічний дохід від експлуатації розробленої системи, грн.

Отримаємо, що:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot 5510 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 37523,1 \text{ грн}.$$

Щоб визначити термін окупності розробленої системи альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем, використаємо наступну формулу:

$$T_{\text{розробленої системи}} = \frac{K}{Y_{\text{розробленої системи}}}, \quad (3.13)$$

Матимемо, що:

$$T_{\text{розробленої системи}} = \frac{66343,9}{37523,1} \approx 1,8 \text{ роки}.$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Охорона праці при монтажі трекерних сонячних систем

Монтаж трекерних сонячних систем потребує особливої уваги до охорони праці, адже робота часто виконується на висоті та включає електротехнічні ризики. Ось кілька ключових аспектів безпеки. По-перше, перед початком монтажу необхідно провести аналіз місця встановлення, перевірити структурну цілісність поверхні та визначити потенційні небезпеки, адже Кожен будинок і комерційний об'єкт мають свої особливості, тому перед монтажем сонячних панелей необхідна детальна оцінка. Фахівці повинні особисто відвідати місце встановлення, щоб ретельно проаналізувати всі аспекти. Під час цього огляду вони виконують такі важливі завдання:

- вибір відповідного обладнання для ефективної оцінки об'єкта;
- визначення оптимального розташування панелей, інверторів, батарей та інших компонентів для максимального балансу;
- пошук місця з правильною орієнтацією, достатнім доступом до сонячного світла та перевіреною конструкційною міцністю;
- виявлення можливих ризиків і небезпек на території;
- створення плану майбутнього будівельного майданчика з урахуванням існуючих споруд та обладнання;
- аналіз рівня сонячного випромінювання і середньої температури для оцінки ефективності системи;
- визначення потреб об'єкта в електроенергії шляхом аналізу комунальних платежів, зняття показників лічильників та консультацій із власником.

					ДП.141.042.021.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	4 ОХОРОНА ПРАЦІ		
Розробив		Соловєнюк Д.М.					
Перевір		Антипчук Б.О.					
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	59	68
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

Завчасна оцінка безпеки дозволяє монтажнику сонячної енергії бути готовим до будь-яких викликів, а добре спланований робочий процес допомагає уникнути проблем.

Крім того, все необхідне обладнання має бути протестоване та підготовлене, щоб гарантувати його справність та функціональність перед початком робіт.

Далі слід подбати про безпеку при роботі на висоті, тобто потрібно використовувати страхувальні системи, правильно розміщувати сходи (обрати правильну довжину, місце розташування та з якого матеріалу краще використовувати сходи: з алюмінію чи металеві) та дотримуватись правил роботи на висоті, що допоможе уникнути падінь.

Важливим пунктом є і електробезпека. Монтажники повинні працювати з сертифікованими компонентами, уникати перевантаження системи та правильно заземлювати обладнання.

Для забезпечення безпеки працівники повинні використовувати непрозорі матеріали для тимчасового накриття панелей після їх розпакування. При підключенні трекерних сонячних систем необхідно суворо дотримуватися запобіжних заходів: знеструмити об'єкт, перевірити відсутність напруги та уникати роботи із системою під навантаженням. Це допоможе запобігти можливим ризикам і забезпечити безпечну експлуатацію.

Також неправильне підключення або пошкодження ізоляції можуть спричинити перегрівання та пожежу. Регулярне технічне обслуговування трекерних сонячних систем допомагає запобігти таким ризикам.

Під час встановлення, експлуатації, технічного обслуговування та ремонту трекерних сонячних систем важливо завжди дотримуватися заходів безпеки. Це допоможе запобігти травмам, знизити ризики для здоров'я і забезпечити ефективну роботу сонячних панелей. Дотримання правил і техніки безпеки є ключовим елементом на всіх етапах їх використання.

4.2 Перша допомога при ураженні електричним струмом

У разі ураження електричним струмом необхідно діяти оперативно та правильно, щоб мінімізувати ризики для потерпілого. Основні кроки надання першої допомоги включають: перш за все – це припинення дії струму – негайно вимкніть джерело електроживлення або відведіть потерпілого від струмоведучих частин, використовуючи сухі діелектричні матеріали (наприклад, дерев'яний предмет чи гумові рукавички).

У разі необхідності нейтралізації джерела ураження слід діяти швидко та обережно:

- вимкнення електроустановки – першочергово слід припинити подачу електроенергії до пристрою, з яким контактує постраждалий. Це мінімізує ризик подальшого впливу струму та убезпечить рятувальника;
- перерубання проводу – якщо немає можливості вимкнути живлення, можна перерізати провід. Важливо використовувати інструмент із діелектричною ручкою, наприклад, сокиру з дерев'яною рукояткою;
- відтягування постраждалого – при наявності гумових рукавичок можна обережно відсмикнути людину за одяг. Якщо одяг сухий, допускається відтягування за його ділянки, які не контактують безпосередньо зі шкірою;
- видалення обірваного дроту – у випадку контакту з обірваним проводом повітряної лінії електропередачі слід скористатися ізоляційною штангою. Як альтернативу можна використати сухий дерев'яний предмет відповідної довжини, наприклад, ціпок.

Дотримання цих заходів допоможе зменшити ризик ураження електрострумом та забезпечити безпеку під час рятувальних дій.

Далі слід оцінити стан постраждалого. Перед наданням першої допомоги необхідно швидко оцінити стан потерпілого. Головне – зберігати

спокій і знати ключові ознаки, щоб ця процедура зайняла мінімум часу. Важливо пам'ятати, що своєчасне реагування має вирішальне значення.

Основні критерії оцінки:

- свідомість – визначається візуально за поведінкою потерпілого;
- колір слизової оболонки – особливо зручно оцінювати за губами: при погіршенні стану колір змінюється з нормального рожевого на блідий або синюшний;
- дихання – слід спостерігати за амплітудою руху грудної клітки, без використання додаткових методів, як-от прикладання дзеркала;
- пульс – у деяких випадках може бути складно знайти його на зап'ясті, тому краще перевіряти на сонній артерії.

Пульс може бути рівномірним або нестабільним, проявлятися у вигляді різких коливань, ослаблення чи повної відсутності. Також важливо перевірити реакцію зіниць на світло: якщо вони не звужуються у відповідь на освітлення, це може свідчити про зупинку роботи центральної нервової системи через порушення кровопостачання мозку, що вказує на стан клінічної смерті.

Якщо присутні явні біологічні ознаки смерті, надання допомоги вже не матиме ефекту. Однак до їхнього прояву людину слід розглядати як таку, що перебуває у стані клінічної смерті, та докладати зусиль для її реанімації, використовуючи відповідні методи відновлення життєдіяльності.

Якщо людина перебуває без свідомості, а її дихання та кровообіг порушені, а також відсутня реакція зіниць на світло, це може свідчити про клінічну смерть. У такому випадку слід негайно розпочати реанімаційні заходи.

Якщо серцевий ритм нерівномірний, а вдихи слабкі, необхідно спробувати стабілізувати стан за допомогою штучного дихання. У випадках, коли після втрати свідомості відбулося її повернення та нормалізація показників життєдіяльності, постраждалого слід розмістити горизонтально, бажано на підстилці із доступних матеріалів.

					ДП.141.042.021.ПЗ	Аркуш
						62
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб забезпечити комфортні умови:

- розстібніть одяг, якщо він перешкоджає вільному диханню;
- створіть тепло або забезпечте приплив прохолодного повітря залежно від потреби;
- організуйте спокій, попросивши сторонніх залишити місце події;
- до приїзду лікарів ретельно спостерігайте за станом потерпілого.

Якщо людина зберігає пульс і дихання, але втратила свідомість, слід врахувати можливість порушення дихання через западання язика та відповідно скоригувати її положення.

Якщо потерпілий не має видимих пошкоджень і наполягає на поверненні до роботи, цього слід уникати, оскільки його стан може погіршитися з часом. Оцінку стану людини після ураження електрострумом мають проводити виключно медичні фахівці, які компетентні в цьому питанні.

Швидка та правильна оцінка стану потерпілого допоможе ефективно організувати першу допомогу.

Надання першої допомоги при електротравмах, що супроводжуються опіками різного ступеня тяжкості, передбачає накладання на ушкоджену ділянку стерильної пов'язки. У разі глибоких опіків бажано додатково застосувати знеболюючий розчин, наприклад, лідокаїн.

При ураженнях III-IV ступеня необхідно негайно розпочати заходи з реанімації: виконати непрямий масаж серця та провести штучне дихання методом «з рота в рот». Ці дії слід продовжувати до моменту, поки потерпілий повністю не опритомніє або не з'являться явні ознаки біологічної смерті.

Надання допомоги при опіках також передбачає спочатку охолодження ураженого місця водою, а потім стерильна пов'язка і знеболювальне.

Дотримання цих правил допоможе знизити ризики та забезпечити своєчасну допомогу потерпілому.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проєкту було розроблено систему альтернативного живлення приватного будинку на базі сонячної електростанції із технологією спостереження за сонцем.

Проведено аналіз типових конструкцій сонячних трекерів, визначено їх функціональні характеристики та складові елементи. Розглянуто ключові переваги та недоліки існуючих рішень, на основі яких сформульовано вимоги до проєктованої системи. Обрано систему з однією віссю обертання, яка є досить ефективною, оскільки керується лише одним актуатором. Вона майже не поступається двовісним установкам завдяки оптимальному розташуванню панелі під кутом 45° до горизонту.

На основі технічних вимог виконано розрахунок необхідної потужності двигуна, у результаті чого обрано асинхронний двигун АИР100L8. Проведено перевірку його перевантажувальної здатності, яка підтвердила відповідність двигуна встановленим параметрам. Проведено обґрунтований вибір компонентної бази для реалізації електромеханічної системи сонячного трекера. Розраховано та вибрану необхідну кількість сонячних, інвертора та тип реалізації сонячної електростанції. Розроблено структурну та принципову електричні схеми розроблюваної системи.

В ході виконання економічної частини було проведено оцінку капіталовкладень розроблюваної системи, аналіз витрат на її експлуатацію та визначено термін її окупності, який становить 1,8 роки.

					<i>ДП.141.042.021.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Соловєнюк Д.М.			<i>ВИСНОВКИ</i>		
Перевір		Антипчук Б.О.					
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.					
						Літ.	Арк.
						У	64
							68
						<i>ЖАТФК, Гр. Е-42</i>	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Циганок О. В., Череп А. В. Альтернативні джерела енергії як засіб ресурсоефективності / О. В. Циганок, А. В. Череп. *Глобальні та національні проблеми економіки* : електронне фахове видання / Миколаївський нац. ун-т ім В. О. Сухомлинського. 2018. Вип. 22. С. 688–691. URL: <http://global-national.in.ua/issue-22-2018/30-vipusk-22-kviten-2018-r/3982-tsiganok-k-o-cherep-a-v-alternativni-dzherela-energiji-yak-zasib-resursoefektivnosti>
2. Хрипко С. Л., Кідалов В. В. Сонячні батареї створенні на основі низькорозмірних нанокмпозитних структур / С. Л. Хрипко, В. В. Кідалов. *Журнал нано- та електронної фізики*. 2016. Том 8, № 4(2). С. 04071(10).
3. Фотоелектричні панелі та їх типи. *Теплоціль*. 2014. URL: <http://xn--e1amalldq6a1c6e.xn--j1amh/fotoelektricheskiye-paneli-i-ikh-tipy>.
4. Які сонячні панелі кращі – монокристалічні чи полікристалічні? *Гексагон-енергія. Альтернатива енергії природи*. 2017. URL: <https://cutt.ly/me7rDpl>.
5. Герасимюк О. Типи сонячних батарей та їх ККД / О. Герасимюк. *Компанія "Концепція Енергозбереження"*. 2016. URL: <https://cutt.ly/te7r02e>.
6. Боровик Ю. Т., Єлагін Ю. В. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні / Ю. Т. Боровик, Ю. В. Єлагін. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2019. № 65. С. 68–75.
7. Касич А. О., Литвиненко Я. О. Чинники розвитку альтернативної енергетики у сучасних умовах / А. О. Касич, Я. О. Литвиненко. *Економіка і суспільство*. 2017. Випуск 12. С. 93–99.

					ДП.141.042.021.ПЗ								
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ					Літ.		Арк.	Аркушів
Розробив		Соловений Д.М.								У		65	68
Перевір		Антипчук Б.О.											
Н. Контр.		Антипчук Б.О.								ЖАТФК, Гр. Е-42			
Затв.		Лавріщев О.О.											

8. Климко В. І., Щур І. З. Інтелектуальна система керування електропостачанням окремого об'єкта від мережі та поновлюваних джерел енергії / В. І. Климко, І. З. Щур. *Проблеми розвитку систем енергетики і автоматики в АПК* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених (25-26 жовтня, 2012 р., м. Київ). Київ, 2012. С. 25-26.
9. Основи охорони праці : підруч. для студентів вищ. навч. закладів / за ред. М. П. Гандзюка. Київ : Каравела, 2003. 408 с.
10. Antypchuk В. О. Research of the impact of production and operation of photoelectric panels on the environment : abstracts / В. О. Antypchuk. *The 6th International scientific and practical conference "Progressive research in the modern world"* (March 2-4, 2023). Boston : BoScience Publisher, 2023. P. 225-227.
11. Відновлювальні джерела енергії : монографія / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Ін-т відновлювальної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
12. Півняк Г. Г., Шкрабець Ф. П. Альтернативна енергетика в Україні : монографія / Г. Г. Півняк, Ф. П. Шкрабець ; Нац. гірн. ун-т. Дніпро : НГУ, 2013. 109 с.
13. Огляд одноосьових трекерів. URL:<http://www.solarstrategia.com/ua/oborudovanie/treker-slezheniya-za-solntsem/> (дата звернення: 24.05.2025р.).
14. Опис руху сонця. URL: <https://prel.prom.ua/a279654-sonyachnij-treker-scho.html> (дата звернення: 21.05.2025р.).
15. Будова сонячного трекера. URL: <https://solarsystem.com.ua/zbilshennya-produktyvnosti-sonyachnyh-panelej-sonyachnyj-treker/> (дата звернення: 23.04.2025р.).
16. Розгляд актуатора та його призначення. URL: <https://cassvitaflour.com/625-actuator> (дата звернення: 24.04.2025р.).
17. Сонячний трекер ST1500. URL: <https://greenchip.com.ua/26-0-196-0.html> (дата звернення: 7.05.2025р.).

18. Огляд ваги погонного метра металевого профіля 40х40мм. URL: <https://kt-stal.com.ua/products/truba-kruglaya-vgp-2/pryamoygolnue-profilnue-trubu/kvadratnye-profilnye-truby-40-40> (дата звернення: 8.05.2025р.).
19. Асинхронний електродвигун AIP100L8. URL: <https://systemax.ua/elektrodivigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodivigateli/air/air100l8-1-5-kvt-750-ob-min-.html> (дата звернення: 8.05.2025р.).
20. Технічна специфікація мікросхеми STM32F100C4T6B. URL: <https://eic.com.ua/stm32f100c4t6b-1983637956> (дата звернення: 12.05.2025р.).
21. Характеристики дисплею LCD1602A. URL: <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/eone-1602a1.pdf> (дата звернення: 12.05.2025р.).
22. Модуль магнітометра. URL: <https://beegreen.com.ua/modul-kompastriosovij-gy-271-hmc5883l-arduino-1041> (дата звернення: 12.05.2025р.).
23. Огляд характеристик акселерометра LIS2DW12. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis2dw12.pdf> (дата звернення: 15.05.2025р.).
24. Технічна специфікація модуля годинника реального часу DS3231. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/chasy-realnogo-vremeni-ds3231/> (дата звернення: 15.05.2025р.).

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>КОНТАКТОРИ</i>		
<i>KM1</i>	<i>АСКО ПМ 1-09-01 9А</i>	<i>1</i>	
	<i>ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ</i>		
<i>M</i>	<i>AIP100L8</i>	<i>1</i>	
	<i>ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ</i>		
<i>UZ1</i>	<i>Altivar_312</i>	<i>1</i>	
	<i>МІКРОКОНТРОЛЛЕРИ</i>		
<i>DD1</i>	<i>STM32F100C4T6B</i>	<i>1</i>	
	<i>РЕЗИСТОРИ</i>		
<i>R1, R2</i>	<i>100 Ом, 2 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R3</i>	<i>10 кОм, 5 Вт</i>	<i>1</i>	
<i>R5, R6</i>	<i>2,2 кОм, 2 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R4, R7</i>	<i>4,7 кОм, 0,25 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R8, R9</i>	<i>10 кОм, 5 Вт</i>	<i>2</i>	
<i>R10, R11</i>	<i>4,7 кОм, 0,25 Вт</i>	<i>2</i>	
	<i>КОНДЕНСАТОРИ</i>		
<i>C1, C2</i>	<i>1 мкФ, 400В</i>	<i>2</i>	
<i>C3</i>	<i>1 мкФ, 400В</i>	<i>1</i>	<i>плівковий</i>
<i>C4</i>	<i>1 мкФ, 400В</i>	<i>1</i>	<i>керамічний</i>
	<i>МІКРОСХЕМИ</i>		
<i>DD2</i>	<i>ULN2003</i>	<i>1</i>	<i>інтеграл. мікросхема</i>
<i>DD3</i>	<i>DS3231</i>	<i>1</i>	<i>годинник реал. часу</i>
<i>DD4</i>	<i>LIS2DW12</i>	<i>1</i>	<i>акселерометр</i>
<i>DD5</i>	<i>GY-271</i>	<i>1</i>	<i>магнітометр</i>
<i>HL1</i>	<i>LCD1602A</i>	<i>1</i>	<i>дисплей</i>

					ДП.141.042.021.ПЗ					
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Схема електрична принципова. Електромеханічна система керування сонячним трекером (ДОДАТОК А)			Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Соловешук Д.М.							У	68	68
Перевір	Антипчук Б.О.									
Н. Контр.	Антипчук Б.О.							ЖАТФК, Гр. Е-42		
Затв.	Лавріщев О.О.									