

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущено
завідувач кафедри
Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ” 2026 року

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

на тему: "Розробка фотоелектричної установки з сонячним трекером для
альтернативного живлення житлового об'єкта"

Виконав: здобувач освіти

IV курсу, групи Е-42

спеціальності

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Тимофій РЕДЬКВА

Керівник проєкту Богдан АНТИПЧУК

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2026 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 кафедру
Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ” 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

РЕДЬКВІ ТИМОФІЮ ЮРІЙОВИЧУ

- 1.Тема дипломного проєкту “ Розробка фотоелектричної установки з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об’єкта ” та керівник дипломного проєкту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 06 листопада 2025 року, №433-н.
2. Строк подання здобувачем освіти проєкту “__” червня 2026 року.
3. Вихідні дані до роботи: розміри земельної прибудинкової ділянки для розміщення фотоелектричної установки з сонячним трекером: розміром 6,5 × 7,5 м; 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;
 - Оцінка сучасних підходів до реалізації сонячних трекерів;
 - Фотоелектрична установка з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об’єкта;
 - Аналіз економічної доцільності впровадження проєкту;
 - Охорона та безпека праці;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:
 - Схема електрична структурна. Фотоелектрична установка з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об’єкта;

- Схема електрична принципова. Електромеханічна система керування сонячним трекером фотоелектричної установки для альтернативного живлення житлового об'єкта.

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	10.11.2025р.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	10.11.2025р.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	10.11.2025р.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	10.11.2025р.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	10.11.2025р.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	10.11.2025р.	
ГЧ та технічна документація	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	10.11.2025р.	

7. Дата видачі завдання “10” листопада 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вступ	17.11.2025р.	
2.	Розділ 1	27.11.2025р.	
3.	Розділ 2	17.12.2025р.	
4.	Розділ 3	27.01.2026р.	
5.	Розділ 4	18.02.2026р.	
6.	Висновки	11.03.2026р.	
7.	Графічна частина та технічна документація	11.05.2026р.	

Здобувач освіти: _____ Тимофій РЕДЬКВА

Керівник проєкту: _____ Богдан АНТИПЧУК

“ Розробка фотоелектричної установки з сонячним трекером для
альтернативного живлення житлового об’єкта ”

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить 67 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 здійснено аналіз функціонального призначення сонячних панелей у складі трекерної системи, наведено класифікацію та конструктивні особливості трекерів, розглянуто методи їх керування та роль актуатора як основного елемента механічного приводу. Додатково описано типові конструкції трекерів і технічні вимоги до їх електромеханічних систем, що слугує базою для подальшої розробки.

Другий розділ присвячено аналізу та проєктуванню фотоелектричної установки з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об’єкта. У ньому наведено вихідні дані для розробки, виконано розрахунок і вибір ключових компонентів – двигуна, редуктора та мікроконтролера. Окремо розглянуто систему керування, архітектуру енергосистеми та принципову електричну схему трекера. Завершується розділ вибором приладів обліку та оптимізацією системи для стабільного енергопостачання.

У третьому розділі проведено аналіз капітальних вкладень, експлуатаційних витрат і визначено строк окупності спроектованої установки, що дозволяє оцінити економічну доцільність реалізації проєкту.

Четвертий розділ охоплює питання безпеки під час монтажу фотоелектричних установок з сонячним трекером, а також заходи з надання першої допомоги при ураженні електричним струмом, що гарантує належний рівень захисту персоналу.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОЦІНКА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ	9
1.1 Визначення ролі сонячних панелей у трекерних механізмах	9
1.2 Групування сонячних трекерів за функціональними характеристиками	11
1.3 Структура та основні елементи сонячного трекера	13
1.4 Організація процесів керування сонячними трекерами	15
1.5 Технічні функції та роль актуатора в системі сонячного трекера	17
1.6 Конструктивні моделі сонячних трекерів	18
1.7 Обґрунтування технічних вимог до електромеханічної системи трекера	19
2 ФОТОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА З СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТА	21
2.1 Вхідні дані для інженерних розрахунків та проектування установки	21
2.2 Технічний розрахунок і комплектація електромеханічної установки сонячного трекера	22
2.2.1 Аналіз потужності та вибір приводу для сонячної системи	22
2.2.2 Розрахунок та вибір редуктора трекерної системи	28
2.2.3 Оцінка перевантажувальної спроможності двигуна	29
2.2.4 Визначення робочих характеристик асинхронного двигуна	32
2.3 Вибір основних комплектуючих сонячного трекера	33
2.3.1 Вибір мікроконтролера для реалізації функцій трекера	34
2.3.2 Вибір LCD-дисплея	36
2.3.3 Вибір оптимальної моделі магнітного компаса	37
2.3.4 Вибір оптимальної моделі акселерометра	38
2.3.5 Вибір оптимального модуля годинника реального часу	40

					<i>ДП.141.042.019.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Редька Т.Ю.				ЗМІСТ		
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.							
						Літ.	Арк.
						У	6
						Аркушів	
						67	
						ЖАТФК, Гр. Е-42	

2.3.6 Обґрунтування вибору частотного перетворювача	41
2.4 Принцип роботи електричної схеми сонячного трекера	42
2.5 Вибір структури реалізації фотоелектричної установки та технічний розрахунок інвертора	43
2.6 Обґрунтування вибору приладів обліку електроспоживання	46
3 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТУ	48
3.1 Оцінка капітальних витрат проєкту	48
3.2 Оцінка експлуатаційних витрат проєкту	51
3.3 Оцінка строку окупності проєкту	55
4 ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ	59
4.1 Організація охорони праці при монтажі фотоелектричних установок з сонячним трекером	59
4.2 Алгоритм першої допомоги при ураженні електричним струмом	61
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ	67

ВСТУП

Енергетика є фундаментальною основою сучасного суспільства, адже забезпечує функціонування практично всіх сфер людської діяльності. Постійне зростання потреб у енергії супроводжується вичерпністю традиційних джерел – нафти, газу та вугілля, що актуалізує пошук відновлюваних та екологічно безпечних альтернатив. Серед них особливе місце займає сонячна енергетика, яка поєднує невичерпність ресурсів та відсутність шкідливого впливу на довкілля.

В Україні розвиток сонячної енергетики відбувається динамічно: перша сонячна електростанція була введена в експлуатацію у 2010 році, а станом на початок 2025 року загальна потужність таких об'єктів перевищила 752 МВт. Попри очевидні переваги, технологія має низку проблемних аспектів: залежність від погодних умов, високу вартість обладнання, складність технічного обслуговування та необхідність оптимального розташування панелей відносно сонця.

Особливої уваги потребує питання ефективності збору енергії, яке безпосередньо залежить від правильного кута нахилу фотоелементів. Для вирішення цієї задачі застосовуються системи стеження – трекери, що автоматично коригують положення панелей відповідно до руху сонця. Їх використання дозволяє суттєво підвищити продуктивність сонячних електростанцій.

Таким чином, дипломний проєкт спрямований на розробку системи автоматичного позиціонування сонячних панелей, що забезпечить їх оптимальне орієнтування та підвищить ефективність виробництва електроенергії.

					ДП.141.042.019.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розробив	Редька Т.Ю.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	8	67
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

1 ОЦІНКА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ

1.1 Визначення ролі сонячних панелей у трекерних механізмах

Трекер посідає ключове місце в системах сонячної енергетики, адже саме він забезпечує максимально ефективне використання сонячного випромінювання протягом усього світлового дня. Для перетворення енергії сонця на електричну застосовуються спеціальні фотоелектричні панелі (рис. 1.1).

Розвиток сонячної енергетики має понад столітню історію. На початкових етапах сонячне тепло використовувалося переважно для отримання пари, що слугувала джерелом механічної енергії. Прорив у цій сфері відбувся після відкриття Едмондом Беккерелем явища фотоефекту, яке дало змогу здійснювати пряме перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію.



Рисунок 1.1 – Конструктивний вигляд сонячних панелей

Перші сонячні елементи з'явилися наприкінці XIX століття, коли Чарльз Фрітц у 1893 році створив пристрій із селенових пластин, вкритих тонким шаром золота. Цей винахід став основою сучасних сонячних батарей.

					ДП.141.042.019.ПЗ				
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Редьква Т.Ю.			1 ОЦІНКА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ				
Перевір		Антипчук Б.О.							
Н. Контр.		Антипчук Б.О.							
Затв.									
					Літ.	Арк.	Аркушів		
					У	9	67		
					ЖАТФК, Гр. Е-42				

У 1941 році інженер Рассел Ол запатентував кремнієвий сонячний елемент, що відкрив шлях до виробництва перших комерційних панелей у 1954 році.

Спочатку сонячні панелі використовувалися в космічних апаратах, а згодом стали доступними для побуту. У 1970-х роках багато людей вперше познайомилися з ними завдяки калькуляторам із сонячними батареями. Сьогодні панелі застосовуються для живлення будинків, підприємств та різноманітних пристроїв, і є важливою складовою сучасної енергетики.

Головна перевага сонячних систем – можливість автономного енергозабезпечення, що особливо важливо для віддалених районів без доступу до електромережі. Вони екологічні, адже не створюють шкідливих викидів, мають просту конструкцію без рухомих частин і потребують мінімального обслуговування. Економічна вигода полягає в тому, що після окупності витрат панелі виробляють електроенергію фактично безкоштовно протягом 15-20 років, а надлишок енергії можна продавати в мережу.

Фотоелектричні модулі працюють завдяки фотоефекту: сонячне світло перетворюється на електричний струм. Зазвичай вони складаються з кремнієвих або тонкоплівкових елементів, з'єднаних послідовно й паралельно для отримання потрібної напруги та струму. Панелі живлять контролер заряду, який накопичує енергію в акумуляторах. Найбільша ефективність досягається тоді, коли панель розташована перпендикулярно до сонячних променів, тому використовуються трекери – системи автоматичного стеження за рухом Сонця.

Сучасні дослідження спрямовані на створення прозорих сонячних панелей, які можна інтегрувати у вікна будівель. Такі технології вже розробляються компаніями, наприклад NEXT Energy, і підтримуються урядами, зокрема в Каліфорнії, де нові будівлі зобов'язані оснащуватися сонячними системами. Це відкриває перспективи для ще ширшого використання чистої та відновлюваної енергії.

1.2 Групування сонячних трекерів за функціональними характеристиками

Сучасні виробники постійно вдосконалюють сонячні панелі, прагнучи підвищити їхню ефективність. Одним із найрезультативніших рішень є використання сонячних трекерів. На відміну від стаціонарних систем із фіксованим нахилом, трекери дозволяють панелям автоматично змінювати положення та слідувати за рухом Сонця, що забезпечує максимальне поглинання енергії протягом дня.

Для досягнення найвищої продуктивності сонячні промені мають падати на панелі під прямим кутом (90°). Оскільки Сонце постійно змінює своє положення як протягом доби, так і протягом року, система контролю трекера коригує орієнтацію панелей. Це враховує рух Землі навколо Сонця по еліптичній орбіті, що зумовлює зміну сезонів і тривалості світлового дня, а також її добове обертання навколо власної осі, яке спричиняє схід і захід Сонця.

Положення Сонця визначається двома основними параметрами:

- азимутом – кутом між напрямком на північ і проекцією Сонця на горизонтальну площину;
- зенітним кутом – висотою Сонця над горизонтом.

Азимут змінюється протягом дня через обертання Землі, а зенітний кут – протягом року внаслідок сезонних змін. Тому система трекера має враховувати як добові, так і річні переміщення Сонця.

Залежно від конструкції, трекери бувають двох типів (див. рисунок 1.2):

- одноосьові – регулюють положення панелей лише за одним параметром;
- двоосьові – забезпечують точніше стеження, коригуючи панелі одночасно за азимутом і зенітним кутом.

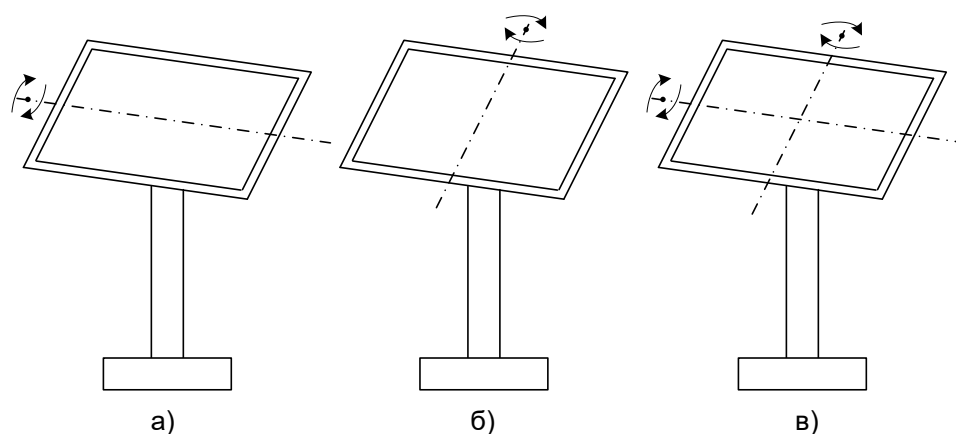


Рисунок 1.2 – Конструктивні схеми сонячних трекерів: а) – одноосьова (горизонтальна); б) – одноосьова (вертикальна); в) – двоосьова

Одноосьові трекери змінюють положення панелей лише в одній площині – за азимутом або екліптикою. Оскільки добові зміни Сонця по азимуту мають найбільший вплив на ефективність, системи з орієнтацією по екліптичній осі застосовуються рідко. Для підвищення продуктивності другу вісь зазвичай спрямовують паралельно осі Землі, орієнтуючи її на південь під кутом, що відповідає широті місцевості.

Двоосьові системи забезпечують точніше стеження за рухом Сонця та вищу генерацію енергії, проте вони складніші й дорожчі. Тому на практиці частіше використовують одноосьові установки, а їхній кут нахилу коригують вручну кілька разів на рік. Хоча такі трекери виробляють менше енергії, їхня компактність спрощує монтаж і обслуговування.

За принципом роботи одноосьові системи поділяються на:

- централізовані – один двигун керує всіма рядами панелей через трансмісію;
- децентралізовані – кожен ряд або сегмент має власний привід, що дозволяє незалежне регулювання.

Перші моделі працювали за принципом жалюзі, синхронно переміщуючи панелі протягом дня. Сучасні системи оснащені програмними алгоритмами, які враховують розсіяне світло, затінення та вітрові навантаження.

Сонячні панелі найефективніші, коли їхня поверхня перпендикулярна до променів. У стаціонарних системах цього досягти неможливо, адже положення Сонця змінюється протягом доби та року. Влітку оптимальний нахил панелей більш горизонтальний, взимку – вертикальний. Якщо немає можливості змінювати кут двічі на рік, застосовують середнє значення. Для кожної широти існує свій оптимальний кут, а біля екватора панелі зазвичай встановлюють горизонтально.

Двоосьові трекири враховують сезонні зміни й забезпечують на 30-40% більше виробництво енергії порівняно зі стаціонарними системами. Вони використовуються як у приватних будинках і комерційних об'єктах, так і в масштабних енергетичних проєктах. Конструкція двоосьових систем передбачає встановлення на піднятій опорі, що дозволяє розміщувати до 20 панелей на одній платформі. Хоча це ускладнює очищення від пилу чи снігу, під конструкцією залишається простір, який можна використовувати для господарських потреб – наприклад, у сільському господарстві чи як навіси для транспорту.

1.3 Структура та основні елементи сонячного трека

Комплектація сонячного трека зазвичай включає такі ключові елементи: несучу конструкцію, систему позиціонування, систему безпеки, систему керування та інтерфейс, систему віддаленого доступу, систему навігації та інвертор.

Несуча конструкція – складається з фіксованої та рухомої частини, що може мати одну або дві осі обертання.

Система позиціонування – містить актуатори та пристрої керування, які забезпечують зміну положення панелей.

Система безпеки – захищає обладнання від перевантажень, блискавок та враховує погодні умови.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

13

Система керування та інтерфейс – призначені для контролю та обслуговування енергетичної установки.

Система віддаленого доступу – забезпечує підключення до інтернету через роутер для дистанційного моніторингу.

Система навігації – визначає географічне положення станції (у стаціонарних моделях може бути необов'язковою).

Інвертор – перетворює постійний струм у змінний для подальшої передачі споживачам або в мережу; кількість інверторів може становити від одного до трьох.

Загальний вигляд системи сонячного трекера наведено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Будова сонячного трекера

Слід зазначити, що повна комплектація не завжди є економічно виправданою. У практичних умовах набір компонентів може змінюватися залежно від типу трекера, його призначення та особливостей експлуатації.

Конструкція сонячного трекера повинна мати достатню міцність, щоб витримувати значні вітрові навантаження. Зі збільшенням кількості панелей на платформі зростає її парусність, що може знижувати стійкість системи. Тому під час проєктування особливу увагу приділяють надійності та механічній стабільності конструкції.

У зимовий період додатковим чинником, який впливає на роботу трекера, є накопичення снігу на поверхні панелей. Для забезпечення

ефективності системи необхідно здійснювати регулярне очищення від снігового покриву.

1.4 Організація процесів керування сонячними трекерами

Керування сонячними трекерами може здійснюватися кількома способами, серед яких основними є:

- ручне регулювання;
- метод на основі фотоприймачів;
- програмоване керування актуаторами.

Ручний спосіб зміни положення панелей нині вважається застарілим і малоефективним. Він не використовується через значні економічні витрати та вплив людського чинника, що знижує точність і надійність системи.

Більш сучасним рішенням є застосування фотоприймачів (див. рис. 1.4). Вони встановлюються з одного або обох боків трекера та фіксують рівень освітленості на відповідних ділянках. Отримані дані використовуються для формування керуючого сигналу, який надходить до актуаторів. Останні змінюють положення панелей доти, доки освітленість на фотоприймачах не вирівнюється, що забезпечує оптимальну орієнтацію системи відносно Сонця.



Рисунок 1.4 – Система сонячного трекера із фотоприймачем

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

15

Система керування на основі фотоприймачів має суттєвий недолік — вона може працювати некоректно за умов хмарності або при забрудненні сенсорів. Водночас її головною перевагою залишається низька вартість, що робить цей метод доступним для широкого застосування.

Альтернативним рішенням є програмоване керування актуаторами. Воно базується на математичному визначенні положення Сонця у конкретний момент часу. Рух небесного світила від сходу до заходу описується двома основними параметрами: азимутом та зенітним кутом, про які вже йшла мова у підрозділі 1.2 даного дипломного проєкту.

Завдяки використанню цих координат система може точно розраховувати траєкторію руху Сонця та відповідно коригувати положення панелей (див. рисунок 1.5).

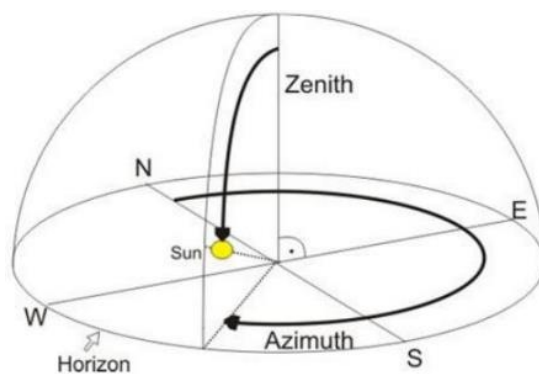


Рисунок 1.5 – Схема визначення положення Сонця за азимутом і зенітним кутом

Тобто, пристрій сонячного з програмованим керуванням актуаторами оснащений вбудованим годинником, який використовується для визначення координат Сонця та розрахунку положення самої установки. На основі отриманих даних блок керування формує команди для двигунів, що змінюють орієнтацію панелей на необхідний кут.

Принцип роботи системи ґрунтується на компенсації двох основних типів зміщення Землі: добового зміщення, яке виникає внаслідок обертання

планети навколо власної осі та річного зміщення, спричиненого рухом Землі по орбіті навколо Сонця.

Завдяки врахуванню цих факторів трекер забезпечує точне позиціонування панелей відносно Сонця, що дозволяє максимально ефективно використовувати сонячне випромінювання протягом усього світлового дня.

1.5 Технічні функції та роль актуатора в системі сонячного трекера

Актуатор є універсальним виконавчим пристроєм, який може працювати як з електродвигуном, так і без нього, керуючись спеціальним блоком управління. Його головна перевага порівняно з іншими приводами полягає у відсутності потреби в додаткових елементах – лінійних підшипниках, рейках чи каретках – для формування кінцевої конструкції.

Серед різновидів актуаторів особливе місце займають електричні лінійні актуатори, які мають перевагу у можливості блокування передавального вала. Сучасні моделі характеризуються збільшеною кількістю зубців на шестернях, що забезпечує:

- підвищену міцність приводу;
- плавність ходу;
- високу точність роботи.

Актуатори можуть будуватися на основі різних типів електродвигунів (див. рисунок 1.6):

- двигунів постійного струму;
- асинхронних двигунів;
- крокових двигунів та інших електромеханічних приводів.

Лінійний актуатор складається з трьох основних частин: електродвигуна, механічного приводу та направляючої.

У ролі приводу можуть використовуватися різні механізми переміщення: кульково-гвинтова передача, гвинт-гайка, ремінний або рейковий

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

привід. Направляючі виконуються у вигляді телескопічних труб, профільних рейкових елементів або лінійних систем ковзання чи кочення. Це забезпечує стабільний рух та надійність конструкції.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Типи реалізації актуаторів: а) – на базі двигуна постійного струму; б) – на базі двигуна змінного струму

Актуатор може функціонувати як з двигунами постійного, так і змінного струму, що робить його універсальним рішенням для різних типів сонячних трекерів.

1.6 Конструктивні моделі сонячних трекерів

Сонячний трекер являє собою рухому систему, що регулює орієнтацію сонячних модулів з метою досягнення максимальної ефективності їхньої роботи. Принцип його дії ґрунтується на властивості сонячних батарей найкраще функціонувати тоді, коли сонячні промені падають на їхню поверхню під прямим кутом (90°).

Практичні дослідження підтверджують, що використання трекерів дозволяє збільшити річне виробництво електроенергії на 30–35%. Це є суттєвою перевагою, адже для досягнення такого приросту не потрібно встановлювати додаткові панелі чи інше дороге обладнання.

Застосування трекерів у будівництві сонячних електростанцій значно розширює можливості використання сонячної енергії в різних кліматичних умовах. Наприклад, електростанції з трекерами, розташовані у північних

регіонах України, можуть забезпечувати рівень генерації, співставний із показниками станцій у південних областях, зокрема в Криму.

Український ринок пропонує широкий спектр сонячних трекерів для побутового та промислового використання. Серед виробників варто відзначити компанію GreenChip, яка випускає різні моделі трекерів. Особливу увагу привертає установка ST1500 (див. рисунок 1.7). Вона має одну вісь обертання, що дозволяє використовувати лише один привідний двигун. Конструкція з нахилом під кутом 45° до землі забезпечує ефективність, співставну з двоосьовими системами, але при цьому залишається більш доступною за ціною та простішою у монтажі.



Рисунок 1.7 – Конструкція сонячного трекера ST1500

1.7 Обґрунтування технічних вимог до електромеханічної системи трекера

З огляду на підвищення ефективності, доцільним є використання двоосьового виконання сонячного трекера, що забезпечує приблизно на 30% більшу продуктивність порівняно з одноосьовими системами. Важливим критерієм є також стійкість до вітрових навантажень, яка досягається завдяки міцності конструкції та достатній потужності привідних механізмів.

Основні функції електромеханічної системи трекера включають:

- забезпечення плавного та безперервного руху установки;
- точне регулювання кута повороту з дискретністю 1° ;
- відповідність визначеним конструктивним параметрам:
 - висота опорної стійки – 3 м;
 - габарити поворотної платформи – $3 \times 1,6$ м.

Таким чином, електромеханічна система повинна поєднувати високу точність позиціонування, надійність та стійкість до зовнішніх факторів, що забезпечить стабільну роботу трекера в різних умовах експлуатації.

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 ФОТОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА З СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТА

2.1 Вхідні дані для інженерних розрахунків та проєктування установки

У межах даного дипломного проєкту передбачено створення автономної системи живлення приватного будинку, що базується на наземній сонячній електростанції з фотоелектричними панелями та механізмом орієнтації на Сонце. Для реалізації рішення використовується земельна ділянка розміром $6,5 \times 7,5$ м, розташована поряд із житловим об'єктом (див. рисунок 2.1).

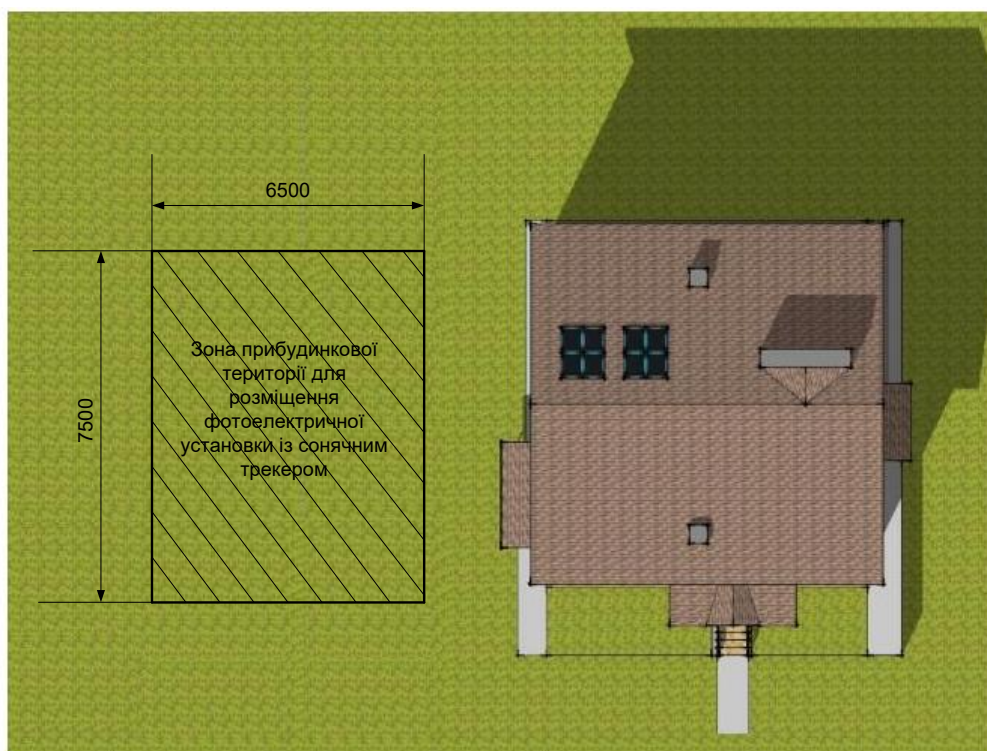


Рисунок 2.1 – Ділянка для встановлення фотоелектричної установки з сонячним трекером

					ДП.141.042.019.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	2 ФОТОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА З СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТА				Літ.		Арк.	Аркушів
Розробив	Редьква Т.Ю.								У		21	67
Перевір	Антипчук Б.О.								ЖАТФК, Гр. Е-42			
Н. Контр.	Антипчук Б.О.											
Затв.												

З огляду на вимоги до оптимального розташування сонячних панелей, забезпечення їх продуктивності, вибір приводу для трекерної системи та економічну доцільність реалізації, вся енергетична установка розміщується на єдиній конструкції, оскільки доступна площа дозволяє це здійснити. При цьому необхідно врахувати технічні параметри електромеханічного трекера, визначені у підрозділі 1.7, що були сформовані на основі аналізу існуючих рішень. Наступним етапом є розрахунок потрібної потужності та визначення відповідного двигуна для трекерної системи.

2.2 Технічний розрахунок і комплектація електромеханічної установки сонячного трекера

Для забезпечення стабільної роботи сонячного трекера необхідно здійснити коректний вибір складових електромеханічної системи, зокрема електродвигуна та редуктора, які відповідатимуть технологічним вимогам. Додатково слід виконати розрахунок сумарного моменту інерції всієї конструкції.

2.2.1 Аналіз потужності та вибір приводу для сонячного трекера

З урахуванням вимог до трекера (див. підрозділ 1.7) було прийнято рішення використати систему ST 1500, яка забезпечує:

- поворот панелей на 180° ;
- роботу по двох осях;
- підвищення продуктивності до 30% порівняно зі статичними установками;
- стабільність у температурному діапазоні $-40\dots+60^\circ\text{C}$.

Для вибору двигуна необхідно виконати розрахунок ключових параметрів системи.

Маса рухомої платформи сонячного трекера визначається за виразом:

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
						22
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

де:

m_1 – маса фотоелектричних модулів (сонячних панелей), кг;

m_2 – маса конструкції поворотної платформи, кг.

Сонячний трекер ST1500 передбачає можливість встановлення до шести фотоелектричних модулів. З огляду на економічну доцільність проєкту, основними елементами обрано монокристалічні панелі, адже їхній коефіцієнт корисної дії на 18-22% перевищує показники полікристалічних аналогів. Це особливо важливо, оскільки кількість панелей обмежується розмірами поворотної платформи, і тому продуктивність кожного модуля має вирішальне значення. Для реалізації системи використано сонячні панелі Longi Solar LR5-54NTH-430M (див. рис. 2.2), які на момент проєктування були найдоступнішими за ціною – 3392 грн, а також відповідали необхідним габаритним параметрам. Потужність однієї панелі становить 430 Вт, маса – 16 кг, що враховується при визначенні загальної маси рухомої платформи.

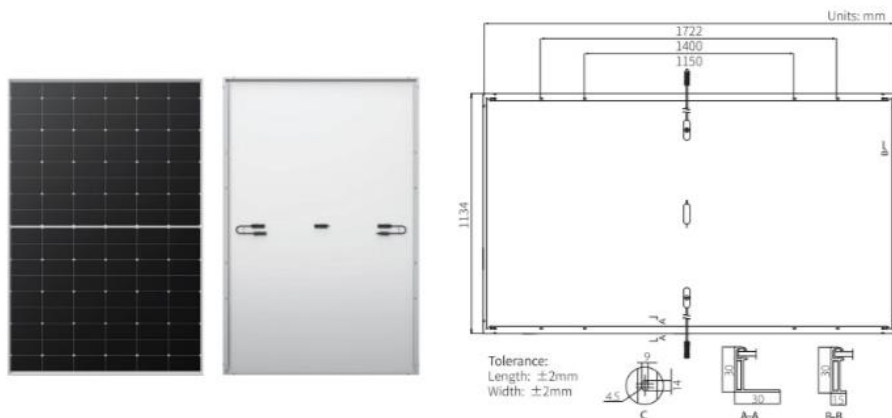


Рисунок 2.2 – Фотоелектричний модуль (сонячна панель) компанії виробника Longi Solar LR5-54NTH-430M

Отже, виконаємо розрахунок маси фотоелектричних модулів:

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

де:

n – кількість фотоелектричних модулів, шт;

$m_{\text{панелі}}$ – маса одного фотоелектричного модуля, кг.

Отримаємо:

$$m_1 = 6 \cdot 16 = 96 \text{ кг} .$$

Враховуючи геометричні параметри металевої конструкції поворотної платформи (див. рис. 2.3), визначимо її масу за формулою:

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

де:

L – сумарна довжина металевого профілю, м;

$m_{\text{м.л.}}$ – маса одного погонного метра профілю, кг.

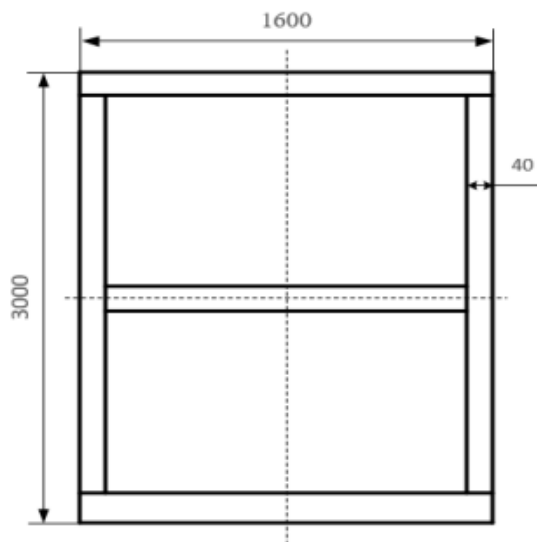


Рисунок 2.3 – Геометричні параметри металевої конструкції поворотної платформи

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

24

Необхідно врахувати, що конструкція виконана з трубчастого металевого профілю перерізом 40×40 мм, маса одного погонного метра якого становить 1,85 кг. Відповідно, отримаємо, що:

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

Таким чином, відповідно до формули (2.1), отримуємо загальну масу рухомої платформи сонячного трекера:

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

Наступним нашим кроком буде визначення максимального обертаючого моменту системи:

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

де:

M_{max} – максимальний обертаючий момент трекерної системи, Н·м;

r – довжина ходу штока актуатора, м;

$m_{\text{заг}}$ – вага рухомої платформи, кг;

$M_{\text{вітер}}$ – додатковий момент від дії вітрового навантаження, Н·м.

Довжина ходу штока актуатора в системі ST1500 дорівнює 9 см (0,09 м). Додатковий момент від дії вітрового навантаження визначається за таким виразом:

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

де:

S – площа поворотної поверхні, м²;

V – середня швидкість вітру за рік (Житомирська область – 2,5 м/с);

Н – висота всієї конструкції, вона становить 3 м.

Таким чином, відповідно до формули (2.4), отримуємо наступне:

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

Згідно з виразом (2.3), отримуємо значення максимального обертаючого моменту:

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

Враховуючи результати попередніх розрахунків, орієнтовна швидкість двигуна приймається рівною $n=750 \text{ об/хв.} = 750 \text{ об/хв.}$, що відповідає його синхронній частоті обертання. Кутову частоту обертання двигуна визначимо за формулою обертового руху:

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

де:

n – швидкість (частота) обертання двигуна об/хв.;

ω – кутова швидкість (частота) обертання, рад/с.

Будемо мати, що:

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

Для визначення необхідної потужності електродвигуна скористаємося відповідним аналітичним виразом:

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

де:

P – потужність електричного двигуна, Вт;

ω – кутова швидкість (частота) обертання, рад/с.

M_{max} – максимальний обертаючий момент трекерної системи, Н·м;

Таким чином, отримаємо:

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

Враховуючи результати проведених розрахунків, для реалізації системи доцільно застосувати асинхронний електродвигун AIP100L8 (див. рис. 2.4), який характеризується частотою обертання 690 об/хв.



Рисунок 2.4 – Асинхронний електродвигун моделі AIP100L8

Технічні характеристики вибраного електродвигуна подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні параметри електродвигуна 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		$\lambda = 2$

Продовження таблиці 2.1

Коефіцієнт номінального 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	$\overline{X_1}' = 0.27$
Активний опір статора	$\overline{R_1}' = 0.23$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{X_2}'' = 0,5$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R_2}'' = 0,14$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{X_\mu} = 2,14$

2.2.2 Розрахунок та вибір редуктора трекерної системи

Щоб здійснити коректний вибір редуктора, враховуємо, що необхідна лінійна швидкість висувного штока становить 10 мм/с (0,01 м/с), тоді як кутова швидкість обраного двигуна дорівнює 78 рад/с. Лінійну швидкість двигуна визначимо за наступним аналітичним виразом:

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

де:

R – радіус обертання висувного штока електричного двигуна, м;

ω – кутова швидкість (частота) обертання, рад/с.

v_d – лінійна швидкість обертання електричного двигуна, м/с.

Слід відзначити, що радіус R обертання висувного штока електродвигуна АІР100L8 дорівнює 1,4 см (0,014 м). Тоді, відповідно до виразу (2.7), отримаємо:

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

Коефіцієнт редуктора визначимо, виходячи з лінійної швидкості висувного штока та радіуса його обертання:

$$i = \frac{R}{v_{ви}}, \quad (2.8)$$

де:

i – передаточний коефіцієнт редуктора;

R – радіус обертання висувного штока електричного двигуна, м;

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

Отже, виходить, що:

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

Виходячи з проведених розрахунків, встановлено, що необхідне передаточне число знаходиться в межах від 1 до 14. У зв'язку з цим обираємо редуктор RV02515 (див. рис. 2.5).

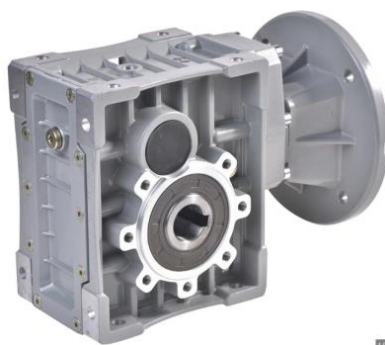


Рисунок 2.5 – Редуктор типу RV02515

2.2.3 Оцінка перевантажувальної спроможності двигуна

Перевантажувальна здатність двигуна аналізується на основі його максимального моменту $M_{\max} = 18,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при заданих умовах роботи, а саме повинна виконуватись наступна рівність:

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

де:

$\lambda = 2$ – коефіцієнт, який показує здатність двигуна витримувати перевантаження;

M_n – номінальний момент вибраного електродвигуна, Н·м.

Розрахунок номінального моменту двигуна M_n починається з визначення кутової частоти напруги живлення статора:

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

де:

f – частота напруги живлення статора (номінальна), Гц;

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

Отримаємо:

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

Далі проводимо обчислення швидкості холостого ходу двигуна:

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

де:

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

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

p_n – число пар полюсів обраного електродвигуна.

Отже, будемо мати, що:

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

Таким чином, номінальна кутова швидкість обертання вибраного електродвигуна дорівнює:

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

де:

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

S_n – коефіцієнт номінального ковзання;

ω_n – номінальна кутова швидкість обертання електродвигуна, рад/с.

У результаті розрахунку за виразом 2.12 отримаємо:

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

Таким чином, номінальний момент вибраного електродвигуна дорівнює:

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

де:

M_n – номінальний момент вибраного електродвигуна, Н·м;

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

ω_n – номінальна кутова швидкість обертання електродвигуна, рад/с.

Отже, виходить, що:

$$M_n = \frac{1500}{36,52} = 41,07 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Таким чином, критичний момент електродвигуна з урахуванням коефіцієнта здатності двигуна витримувати перевантаження λ дорівнює:

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2 \cdot 41.07 = 82,14 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.14)$$

Отже, відповідно до формули (2.9), обраний двигун підтверджує свою відповідність критеріям перевантажувальної здатності.

2.2.4 Визначення робочих характеристик асинхронного двигуна

Для обраного типу електричного двигуна, номінальні діючі значення фазної напруги U_n та струму статора I_n дорівнюють:

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

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

де:

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

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

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) обраного електродвигуна;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Отримаємо:

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

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

Параметри обраного електродвигуна, такі як: амплітудні значення фазної напруги U_{na} та струму статора I_{na} становитимуть:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 310,3 \text{ В}; \quad (2.16)$$

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

Максимальне потокозчеплення статора при холостому ході та умові, що сам активний опір статора $\overline{R_1}' = 0$, складає:

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

2.3 Вибір основних комплектуючих сонячного трекара

Система сонячного трекара виконує важливі завдання – керування двигуном, визначення положення установки та перетворення координат у керуючий сигнал. Найбільш доцільно реалізувати її на основі мікроконтролера.

Для зручності принцип роботи можна поділити на три основні блоки:

- блок визначення координат;
- мікроконтролер, що формує сигнал керування на основі різниці між фактичним положенням установки та положенням сонця;
- інтерфейс користувача.

Система орієнтації включає акселерометр і електронний компас, які забезпечують точне позиціонування трекара у просторі.

До ключових датчиків належать:

- RTC-модуль – фіксує положення сонця у кожен момент часу та зберігає дані навіть без живлення завдяки резервній батареї;

- акселерометр – вимірює прискорення та використовується для визначення зенітного кута;
- магнітометр – визначає параметри магнітного поля Землі та дозволяє обчислити азимутальний кут.

Для взаємодії між мікроконтролером і датчиками використовуємо інтерфейс I²C. Він забезпечує обмін даними через спільну шину та дозволяє підключати кілька пристроїв одночасно. Переваги й недоліки цього протоколу наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Переваги та недоліки інтерфейсу I²C

Переваги	Недоліки
Підтримка швидкостей передачі даних від 100 Кбіт/с до 3,4 Мбіт/с	Потребує більш складного обладнання
Простота діагностики та виявлення помилок	Працює лише в напівдуплексному режимі
Можливість вилучення пристроїв без впливу на інші елементи шини	Нижча швидкість у порівнянні з інтерфейсом SPI
Використання лише двох ліній (SDA та SCL)	—

2.3.1 Вибір мікроконтролера для реалізації функцій трекера

Мікроконтролери є ключовими елементами сучасних електронних пристроїв, забезпечуючи їхнє керування та автоматизацію. З розвитком технологій їх виробництво швидко вдосконалюється, що стимулює компанії створювати більш потужні та функціональні рішення в умовах високої конкуренції. Останнім часом значної популярності набули ARM-мікроконтролери, а завдяки появі доступних моделей на базі ядра Cortex-M їхня ціна стала прийнятною для широкого використання.

Серед них мікроконтролер STM32F100C4T6B (див. рисунок 2.6) вирізняється тим, що за основними характеристиками значно перевершує 8-бітні аналоги. З огляду на його вартість, він є одним із найоптимальніших варіантів, доступних сьогодні на ринку України.



Рисунок 2.6 – Візуальне представлення мікроконтролера STM32F100C4T6B

В якості апаратної основи для налагодження оберемо модульну плату STM32VLDISCOVERY (див. рисунок 2.7), яка підтримує I2C на рівні апаратури.

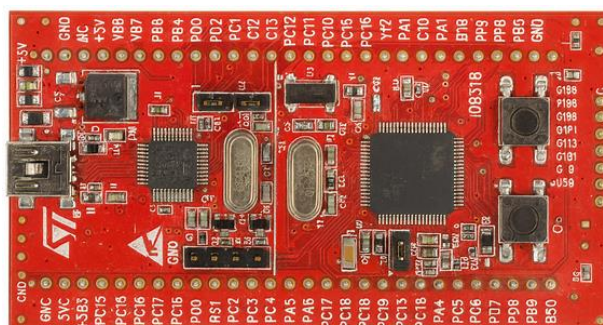


Рисунок 2.7 – STM32VLDISCOVERY: зовнішня конфігурація плати

Плата характеризується широкими функціональними можливостями, детально описаними у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні параметри плати STM32VLDISCOVERY

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Кількість цифрових входів/виходів	51
Живлення	USB або зовнішнє джерело: 5 В / 3,3 В
Підтримувані інтерфейси	I ² C, IrDA, LIN, SPI, UART/USART
Діапазон робочих температур	від -40 до +85 °C
Обсяг оперативної пам'яті	8 Кб

2.3.2 Вибір LCD-дисплея

LCD-дисплей (Liquid Crystal Display – рідкокристалічний екран) є технологією, що базується на використанні особливої речовини, яка зберігає рідкий стан, але водночас має оптичні властивості, притаманні кристалам. Саме ця особливість дала назву технології.

Сучасні LCD-дисплеї вирізняються низкою переваг, що зумовлені фізичними характеристиками рідких кристалів. Оскільки їхні молекули залишаються у рідкому стані, їхні оптичні властивості можна змінювати під дією електричного струму. Це дозволяє керувати орієнтацією молекул, регулювати напрямок заломлення світла та відсікати певні діапазони випромінювання.

Для відображення інформації найчастіше застосовуються символні LCD-дисплеї. Вони стали важливим технологічним кроком уперед, замінивши світлодіодні (LED) та газоплазмові індикатори. Завдяки рідким кристалам LCD-екрани значно тонші за електронно-променеві трубки (ЕПТ) і споживають менше енергії порівняно зі світлодіодними та газовими дисплеями. Це пояснюється принципом їхньої роботи: вони не генерують світло, а лише блокують його. Таким чином, зображення формується за допомогою заднього підсвічування.

Оскільки конструкція сонячного трекера є відносно простою, для його реалізації було обрано дисплей, що відповідає усім функціональним вимогам, – LCD1602A, показаний на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Модуль рідкокристалічного дисплея LCD1602A

Технічні параметри вибраного дисплея подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики LCD-модуля 1602A

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Напруга живлення	5 В
Діапазон робочих температур	-25...50 °С
Тип підсвітки	зелений фон із жовтими символами
Контролер дисплея	сумісний з графічним інтерфейсом HD44780

2.3.3 Вибір оптимальної моделі магнітного компаса

Магнітний компас – це пристрій, який визначає орієнтацію трекера відносно вертикальної осі за допомогою трьох координатних векторів. При зміні положення тривісного магнітометра в магнітному полі Землі його показники на кожній осі змінюються. На основі цих даних можна встановити напрямок руху щодо сторін світу. Використовуючи значення осей X та Y, обчислюють кут відхилення від північного напрямку, що дає змогу застосовувати магнітометр як компас.

Для визначення просторового положення установки може бути використаний і гіроскоп, однак його робота супроводжується дрейфом, який знижує точність вимірювань.

У якості магнітного компаса було обрано тривісний модуль GY-271, який користується широкою популярністю серед аналогічних пристроїв та має позитивну репутацію на ринку України. Його перевагою є підтримка інтерфейсу I²C, що забезпечує просте та надійне підключення до мікроконтролерів, а також можливість інтеграції у різні системи без потреби у складних схемах. Модуль GY-271 побудований на мікросхемі QMC5883L, яка здатна точно виявляти магнітні поля та визначати їхній напрямок у просторі. Це забезпечує точні дані для визначення напрямку трекера, що важливо для сонячного стеження.

Крім того, QMC5883L має високу чутливість та низьке енергоспоживання, що робить його придатним для автономних пристроїв, які працюють від сонячних панелей або акумуляторів. Завдяки компактним розмірам модуль легко інтегрується у конструкцію трекера, не потребуючи значного простору. Зовнішній вигляд пристрою наведено на рисунку 2.9, а його основні технічні характеристики та параметри роботи детально представлені у таблиці 2.5.

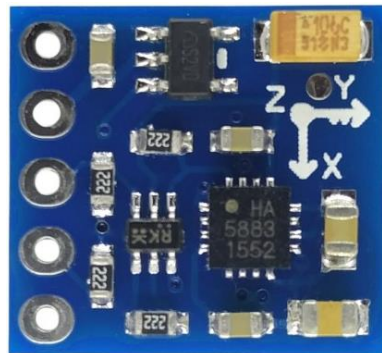


Рисунок 2.9 – Модуль тривісного магнітометра GY-271

Таблиця 2.5 – Технічні параметри магнітометра GY–271

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Робоча напруга живлення	3,3 – 5 В
Тип калібрування	автоматичне
Діапазон вимірювань	± 8 Гаусс
Похибка вимірювання	± 2 мГаусс
Споживаний струм у режимі роботи	2,5 мА
Габаритні розміри	14x13 мм

2.3.4 Вибір оптимальної моделі акселерометра

Для визначення орієнтації сонячного трекера відносно горизонтальної осі необхідний датчик, що вимірює його нахил. У подібних завданнях найчастіше застосовують акселерометр, який дозволяє реєструвати повне прискорення об'єкта за трьома координатними осями – X, Y та Z.

У якості акселерометра було обрано модуль LIS2DW12, що відзначається простотою інтеграції у систему та низьким рівнем енергоспоживання. Зовнішній вигляд цього пристрою наведено на рисунку 2.10, а його основні технічні характеристики подано у таблиці 2.6.

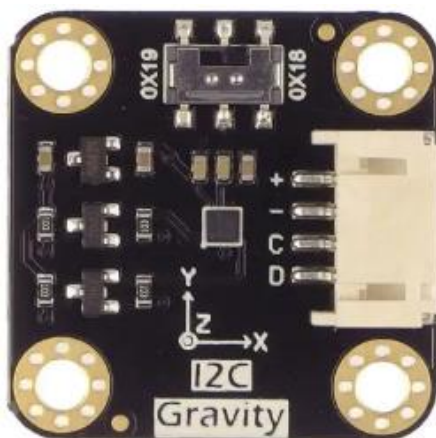


Рисунок 2.10 – Модуль акселерометра LIS2DW12

Таблиця 2.6 – Технічні параметри акселерометра LIS2DW12

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Робоча напруга живлення	1,62...3,6 В
Підтримувані інтерфейси	SPI і I ² C
Рівень власного шуму	90 мкг/√Гц
Діапазон робочих температур	від -40 °C до +80 °C

LIS2DW12 – це високопродуктивний тривісний лінійний акселерометр із наднизьким рівнем енергоспоживання, що входить до сімейства «фемто». У його виробництві застосовані перевірені технологічні процеси, які вже давно використовуються для створення сучасних акселерометрів.

Пристрій підтримує налаштовувані діапазони вимірювання: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ та $\pm 16g$. Частота вихідних даних може змінюватися в широкому діапазоні – від 1,6 Гц до 1600 Гц, що забезпечує гнучкість у різних режимах роботи. Крім того, акселерометр оснащений функцією самотестування, яка дозволяє перевірити його працездатність безпосередньо у конкретному застосуванні.

2.3.5 Вибір оптимального модуля годинника реального часу

Однією з важливих експлуатаційних характеристик модуля реального часу для сонячного трекера є його здатність надійно функціонувати в умовах значних температурних коливань. В Україні протягом року температура змінюється від -20°C до $+30^{\circ}\text{C}$, тому стабільність роботи пристрою в цьому діапазоні має вирішальне значення.

З цієї причини для системи було обрано модуль DS3231, який оснащений термокомпенсованим кварцовим резонатором. Завдяки такому рішення пристрій підтримує точну частоту незалежно від змін температури навколишнього середовища.

DS3231 є високоточним модулем годинника реального часу (RTC), що має інтегрований інтерфейс I²C та кварцовий резонатор. Крім того, він передбачає можливість підключення резервного джерела живлення, що забезпечує безперервне вимірювання температури та стабільну роботу навіть за відсутності основного електроживлення. Зовнішній вигляд модуля наведено на рисунку 2.11.

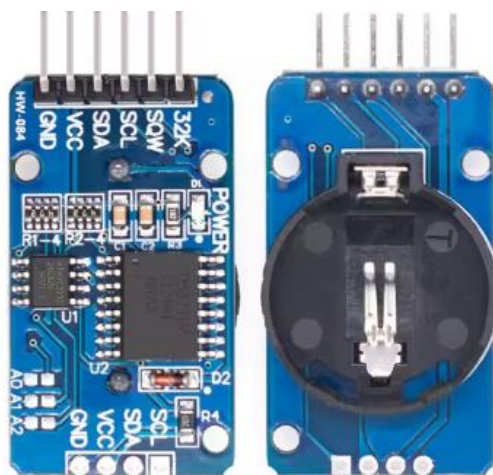


Рисунок 2.11 – Вигляд модуля годинника реального часу DS3231

Модуль DS3231 здатний зберігати дані у різних форматах, зокрема:

- секунди;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

40

- хвилини;
- години;
- день тижня, дату, місяць та рік.

Наприкінці кожного місяця пристрій автоматично коригує календар відповідно до кількості днів, враховуючи також високосні роки. Обмін інформацією здійснюється через інтерфейс I²C, що забезпечує простоту інтеграції у систему.

Таблиця 2.7 – Технічні параметри годинника реального часу DS3231

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Робоча напруга живлення	2,3...5,5 В
Маса модуля	8 г
Інтерфейс обміну даними	I ² C
Діапазон робочих температур	від -40 °C до +85 °C
Точність ходу	± 2 ppm

2.3.6 Обґрунтування вибору частотного перетворювача

Частотні перетворювачі – це електротехнічні пристрої, призначені для регулювання частоти змінної напруги, що дозволяє змінювати швидкість обертання та крутний момент електродвигунів.

Враховуючи характеристики вибраного двигуна AIP100L8 потужністю 1,5 кВт, для його керування було обрано частотний перетворювач Altivar 312.

Модель Altivar 312 (див. рисунок 2.12) спеціально розроблена для роботи з асинхронними електродвигунами. Вона підтримує джерела живлення у діапазоні від 200 В до 600 В, а робочий діапазон потужностей становить від 0,18 до 15 кВт.

Пристрій вирізняється високою надійністю, компактними габаритами та простотою встановлення. Вбудовані функції роблять його придатним для використання у стандартних виробничих механізмах. Завдяки зручному налаштуванню та сучасній концепції, Altivar 312 забезпечує стабільне й

економічно ефективне рішення для розробників компактних машин (ОЕМ) та системних інтеграторів.



Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд частотного перетворювача Altivar 312

Altivar 312 легко інтегрується у системи автоматизації завдяки додатковим платам зв'язку, які розширюють його функціональні можливості. Конфігурація пристрою може здійснюватися за допомогою різних інструментів – SoMove, мобільних застосунків, віддалених терміналів та спеціальних утиліт (завантажувач, мультизавантажувач).

Перетворювач здатний адаптуватися до різних мереж та шин завдяки простій заміні плати введення-виведення на відповідну карту зв'язку. Зручний інтерфейс користувача забезпечує швидке налаштування та значно спрощує інтеграцію пристрою у різні системи.

2.4 Принцип роботи електричної схеми сонячного трекера

Принципова електрична схема керування системою сонячного трекера фотоелектричної установки для альтернативного живлення житлового об'єкта наведена на листі №2 формату А1 графічної частини дипломного проєкту.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

42

Робота схеми здійснюється наступним чином. До мікроконтролера підключено дві кнопки. Перша – користувацька кнопка SB1, з'єднана з входом PA0. У неробочому стані вона розімкнута, а конденсатор C1 виконує функцію захисту від зовнішніх електромагнітних завад. При натисканні SB1 її контакт замикається на позитивний полюс живлення, що формує на вході мікроконтролера логічну «1». Кнопка SB2 – реалізує апаратне скидання: при її натисканні вхід мікроконтролера замикається на «землю», що призводить до перезапуску програми з початку.

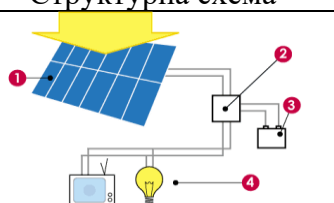
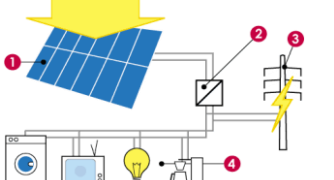
Керування асинхронним електродвигуном здійснюється за допомогою частотного перетворювача Altivar 312, який активується через реле K1 та K2. Роботою цих реле керує мікроконтролер STM32F100C4T6B.

Додаткові елементи системи – LCD-дисплей, модуль акселерометра, модуль годинника реального часу та магнітометр – живляться від джерела +5 В. Їхні сигнальні виходи підключені до відповідних входів мікроконтролера, забезпечуючи взаємодію та узгоджену роботу всієї системи.

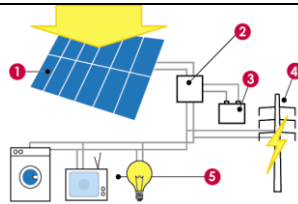
2.5 Вибір структури реалізації фотоелектричної установки та технічний розрахунок інвертора

Сучасна класифікація фотоелектричних установок передбачає три основні варіанти їх побудови (див. таблицю 2.8).

Таблиця 2.8 – Основні схеми реалізації фотоелектричних установок

Тип установки	Структурна схема	Основні елементи
Автономна фотоелектрична установка		1 – сонячні панелі; 2 – контролер заряду АБ та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – навантаження
Фотоелектрична установка з'єднана з мережею		1 – сонячні панелі; 2 – інвертор; 3 – мережа; 4 – навантаження

Продовження таблиці 2.8

Резервна фотоелектрична установка		1 – сонячні панелі; 2 – контролер заряду АБ та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – мережа; 5 – навантаження
-----------------------------------	---	---

Усі розглянуті вище варіанти реалізації систем альтернативного живлення на базі фотоелектричних установок мають як свої переваги, так і певні недоліки. У даному проєкті вибір зупинено на мережевій фотоелектричній установці. Це зумовлено тим, що для побудови автономної системи, потужності обраних сонячних панелей буде недостатньо, адже їх кількість обмежена конструкцією поворотної платформи сонячного трекера, яка дозволяє встановити не більше шести модулів. Крім того, автономна система потребує додаткових капітальних витрат на придбання акумуляторних батарей та контролера заряду, що є недоліком і для резервної фотоелектричної установки.

У випадку мережевої конфігурації необхідно лише виконати розрахунок та вибір інвертора. Такий варіант побудови сонячної системи органічно вписується у концепцію всієї установки, розроблюваної в межах дипломного проєкту, оскільки інвертор може бути розміщений безпосередньо на трекерній платформі.

Для визначення параметрів інвертора насамперед слід обчислити загальну потужність фотоелектричних модулів (сонячних панелей), обраних на попередньому етапі:

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

де:

$P_{СП_{заг}}$ – загальна потужність фотоелектричних модулів у складі фотоелектричної установки, Вт;

$P_{СП}$ – потужність одного фотоелектричного модуля, Вт;

$n_{СП}$ – кількість фотоелектричних модулів, які розміщені на поворотній конструкції сонячного трекера фотоелектричної установки, шт.

Матимемо:

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

Загальна потужність обраних сонячних панелей становить 2580 Вт, тому інвертор для системи має бути підібраний таким чином, щоб його номінальна потужність відповідала або дещо перевищувала розраховане значення сумарної потужності фотоелектричних модулів.

Враховуючи наведені умови, для реалізації системи обрано інвертор виробництва компанії Volt Polska, модель IPS2600N (12/220 В) із потужністю 2600 Вт (див. рисунок 2.13).

Технічні характеристики зазначеного інвертора наведено у таблиці 2.9.



Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд інвертора Volt Polska моделі IPS2600N

Таблиці 2.9 – Технічні характеристики інвертора Volt Polska моделі IPS2600N

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Вхідна напруга	12 В постійного струму
Вихідна напруга	220 В змінного струму
Номінальна потужність	2600 Вт
Робоча частота	50/60 Гц
Діапазон робочих температур	від -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$
Тип вихідного сигналу	чиста синусоїда

2.6 Обґрунтування вибору приладів обліку електроспоживання

Для забезпечення контролю як споживаної, так і виробленої електричної енергії в альтернативній енергосистемі приватного домогосподарства, що розробляється у даному дипломному проєкті, передбачено встановлення приладу обліку електроенергії. З метою визначення оптимального типу лічильника необхідно здійснити аналіз даних, наведених у таблиці 2.10, де представлено порівняльні характеристики сучасних моделей, зокрема індукційних та електронних лічильників.

Таблиця 2.10 – Порівняння 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 збільшення похибки	Зберігають високу точність
Захист від несанкціонованого доступу	Недостатній	Можливість фіксації спроб розкрадання
Багатотарифний облік	Не підтримується	Реалізований
Дистанційне зчитування даних	Обмежене	Повністю доступне
Вартість	Низька	Вища
Тривалість експлуатації	До кількох десятиків років	Тривалий термін, залежить від електронних компонентів
Стійкість до перепадів напруги	Висока	Вразливі до комутаційних та грозових імпульсів
Власне енергоспоживання	Відносно високе	Низьке

У відповідності до даних таблиці 2.10 бачимо, що індукційні лічильники відзначаються простою конструкцією, невисокою ціною та стійкістю до перепадів напруги, однак характеризуються значною похибкою та обмеженим функціоналом. Електронні моделі, навпаки, забезпечують високу точність вимірювань, підтримують багатотарифний режим і дистанційне зчитування, проте мають вищу вартість та потребують додаткового захисту від перенапруги.

Отже, з огляду на специфіку розроблюваної нами фотоелектричної установки із сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об'єкта, а також аналізу переваг та недоліків відповідних типів лічильників доцільним є застосування саме електронного лічильника.

Серед представлених на українському ринку моделей, за співвідношенням «вартість/якість», найбільш раціональним рішенням є використання лічильника Itron SL7000. Він має клас точності 0,5s, підтримує трифазний багатотарифний облік та відповідає сучасним вимогам енергетичного сектору. Зображення приладу наведено на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Електронний багатотарифний лічильник Itron SL7000

3 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТУ

3.1 Оцінка капітальних витрат проєкту

Капітальні витрати визначаються як фінансові вкладення у створення та придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Вони мають суттєве значення для економічного аналізу ефективності розробленої нами фотоелектричної установки з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об'єкта. У таблиці 3.1 наведено перелік необхідних капітальних витрат, пов'язаних із її впровадженням.

Таблиця 3.1 – Капітальні вкладення для реалізації проєкту

№	Найменування матеріалів та обладнання	Кількість, шт.	Вартість за одиницю, грн	Загальна сума, грн
1	Основа сонячного трекера ST1500	1	10000	10000
2	Фотоелектричні модулі Longi Solar LR5-54HTH-430M	6	3392	20352
3	Електродвигун AIP100L8	1	6150	6150
4	Редуктор RV02515	1	2050	2050
5	Інтерфейс I ² C	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	Модуль годинника реального часу DS3231	1	75	75
12	Частотний перетворювач Altivar 312	1	6900	6900
13	Інвертор Volt Polska IPS2600N	1	3500	3500
14	Електронний лічильник Itron SL7000	1	14700	14700
Разом:				56225

					ДП.141.042.019.ПЗ										
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	З АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТУ				Літ.		Арк.	Аркушів			
Розробив	Редька Т.Ю.								У		48	67			
Перевір	Антипчук Б.О.								ЖАТФК, Гр. Е-42						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.														
Затв.															

За даними таблиці 3.1 бачимо, що загальна сума капітальних вкладень для реалізації нашого проєкту становить 56 225 грн. Однак для повної оцінки інвестицій необхідно врахувати також витрати на монтажні та налагоджувальні роботи, а також транспортування обладнання до місця встановлення.

До статті витрат на монтажні та налагоджувальні роботи належать:

- встановлення фотоелектричних модулів (сонячних панелей) на базу трекара;
- монтаж електродвигуна, редуктора та частотного перетворювача;
- підключення інвертора та електронного лічильника;
- інтеграція мікроконтролера, датчиків та допоміжних модулів;
- проведення налагоджувальних робіт для забезпечення коректної роботи системи.

Як правило, у дипломному проєктуванні такі витрати прийнято визначати у межах 10-15% від вартості всього обладнання. Для даного проєкту прийнято середнє значення – 12%:

$$K_{\text{МН}} = \frac{12\% \cdot K_{\text{ОБ}}}{100\%}, \quad (3.1)$$

де:

$K_{\text{МН}}$ – економічні витрати на реалізацію монтажних та налагоджувальних робіт, грн.;

$K_{\text{ОБ}}$ – загальна сума капітальних вкладень для реалізації проєкту, грн.

Отримаємо:

$$K_{\text{МН}} = \frac{12\% \cdot 56225}{100\%} = 6747 \text{ грн.}$$

До транспортних витрат входить:

- доставка сонячних панелей та бази трекера;
- перевезення електродвигуна, редуктора та інвертора;
- транспортування допоміжних електронних компонентів.

Зазвичай транспортні витрати приймають у межах 3-5% від вартості обладнання. Для даного проєкту прийнято середнє значення – 4%:

$$K_{\text{ТР}} = \frac{4\% \cdot K_{\text{ОБ}}}{100\%}, \quad (3.2)$$

де:

$K_{\text{ТР}}$ – загальна сума транспортних витрат, грн.;

$K_{\text{ОБ}}$ – загальна сума капітальних вкладень для реалізації проєкту, грн.

Будемо мати, що:

$$K_{\text{ТР}} = \frac{4\% \cdot 56225}{100\%} = 2249 \text{ грн.}$$

В таблиці 3.2 відобразимо підсумкові капітальні вкладення для реалізації нашої фотоелектричної установки з сонячним трекером для живлення житлового об'єкта із врахуванням економічні витрати на реалізацію монтажних та налагоджувальних робіт, а також загальної суми на транспортні витрати.

Таблиця 3.2 – Підсумкові капіталовкладення для реалізації проєкту

СТАТТЯ ВИТРАТ	СУМА, грн.
Вартість обладнання	56225
Монтажні та налагоджувальні роботи	6750
Транспортування	2249
Загальна сума капіталовкладень	65224

Отже, аналізуючи розрахунок капітальних витрат нашого проєкту бачимо, що додаткові витрати на монтаж та транспортування становлять

близько 16% від вартості обладнання. Це дозволяє отримати більш реалістичну оцінку загальних інвестицій у проєкт, які складають 65 224 грн.

3.2 Оцінка експлуатаційних витрат проєкту

Економічний аналіз ефективності розробленої нами фотоелектричної установки з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об'єкта передбачає не лише оцінку капітальних вкладень, але й визначення експлуатаційних витрат, що супроводжують її роботу протягом усього життєвого циклу. До таких витрат належать технічне обслуговування, споживання електроенергії допоміжними елементами, очищення сонячних панелей, планові огляди та витрати непередбаченого характеру.

В рамках технічного обслуговування розробленої нами фотоелектричної установки передбачено:

- періодична перевірка працездатності електродвигуна, редуктора, інвертора та електронного лічильника;
- оновлення програмного забезпечення мікроконтролера та контроль роботи датчиків;
- виконання робіт з усунення дрібних несправностей.

Орієнтовно, витрати на такі види робіт становлять близько 1% від загальної суми капітальних вкладень:

$$C_T = \frac{1\% \cdot K}{100\%}, \quad (3.3)$$

де:

C_T – витрати на технічне обслуговування, грн./рік;

K – підсумкові капіталовкладення для реалізації проєкту, грн.

Отримаємо:

$$C_T = \frac{1\% \cdot 65224}{100\%} = 652,24 \text{ грн./рік.}$$

Споживання електроенергії допоміжними системами включає роботу електродвигуна трекера (короткочасні включення для корекції положення), а також мікроконтролера, датчиків і дисплея із середньою потужністю близько 50 Вт протягом 12 годин на добу. Тому для визначення такого типу експлуатаційних витрат, порахує спочатку річне значення спожитої електроенергії за рік всією фотоелектричною установкою у кВт·год./рік:

$$E = \frac{P_{\text{ФУ}} \cdot t_{\text{доба}} \cdot n_{\text{днів}}}{1000}, \quad (3.4)$$

де:

E – річне значення спожитої електроенергії за рік розробленою фотоелектричною установкою, кВт·год./рік;

$P_{\text{ФУ}}$ – середня потужність споживання електроенергії розробленою фотоелектричною установкою за добу, Вт;

$t_{\text{доба}}$ – середня кількість робочих годин розробленої фотоелектричної установки, год.;

$n_{\text{днів}}$ – кількість робочих днів розробленої фотоелектричної установки на рік, шт.

Матимемо, що

$$E = \frac{50 \cdot 12 \cdot 365}{1000} = 219 \text{ кВт} \cdot \text{год./рік}.$$

Таким чином, при тарифі 4,32 грн./кВт·год., додаткові витрати на споживання електроенергії допоміжними системами нашої розробленої установки становитимуть:

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$C_{\text{енер.}} = 4,32 \cdot E, \quad (3.5)$$

де:

$C_{\text{енер.}}$ – витрати на споживання електроенергії допоміжними системами розробленої фотоелектричної установки, грн./рік;

E – річне значення спожитої електроенергії за рік розробленою фотоелектричною установкою, кВт·год./рік.

Отже, отримаємо, що:

$$C_{\text{енер.}} = 4,32 \cdot 219 = 946,1 \text{ грн./рік.}$$

Очищення фотоелектричних модулів (сонячних панелей) виконується двічі на рік для підтримання ефективності генерації, при цьому вартість одного виїзду становить 300 грн. Тому експлуатаційні витрати на такий вид робіт становлять:

$$C_{\text{очищення}} = 2 \cdot p, \quad (3.6)$$

де:

$C_{\text{очищення}}$ – витрати на очищення фотоелектричних модулів, грн./рік;

p – вартість одного обслуговуючого виїзду, грн.

Матимемо:

$$C_{\text{очищення}} = 2 \cdot 300 = 600 \text{ грн./рік.}$$

Планові огляди та калібрування ($C_{\text{планове}}$) – передбачають перевірку точності роботи датчиків (акселерометра, магнітометра та годинника реального часу) та налаштування системи керування, що потребує витрат у розмірі 400 грн./рік.

Резерв на непередбачені витрати враховує можливі дрібні ремонти та заміну витратних матеріалів і приймається на рівні 5% від річної суми експлуатаційних витрат.

Для зручності зведемо всі дані стосовно експлуатаційних витрат розробленої в даному дипломному проєкті фотоелектричної установки з сонячним трекером до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Підсумкові річні експлуатаційні витрати проєкту

СТАТТЯ ВИТРАТ	СУМА, грн./рік
Технічне обслуговування (1% від вартості обладнання)	652,24
Споживання електроенергії допоміжними системами	946,1
Очищення сонячних панелей	600
Планові огляди та калібрування	400
Разом без резерву	2598,3
Резерв (5%)	129,9
Загальна сума річних експлуатаційних витрат	2728,2

Тривалість надійної роботи обладнання розробленої нами фотоелектричної установки оцінюється у 10 років. Таким, чином сукупні витрати за 10 років становитимуть:

$$C_{10 \text{ років}} = 10 \cdot C, \quad (3.7)$$

де:

C – загальна сума річних експлуатаційних витрат розробленої фотоелектричної установки, грн./рік;

$C_{10 \text{ років}}$ – загальна сума річних експлуатаційних витрат розробленої фотоелектричної установки за десятирічний термін експлуатації, грн./рік.

Будемо мати:

$$C_{10 \text{ років}} = 10 \cdot 2728,2 = 27282 \text{ грн.}$$

Таким чином, бачимо, що експлуатаційні витрати розробленої фотоелектричної установки за 10 років становлять близько 27900 грн., що складає приблизно 50% від початкових капітальних вкладень.

3.3 Оцінка строку окупності проєкту

Сучасне впровадження систем електропостачання на основі альтернативних джерел енергії вимагає значних капітальних вкладень, однак їх подальша експлуатація характеризується низькою енергоємністю. Відтак основним видом витрат, що підлягає відшкодуванню, залишаються капітальні інвестиції.

Спроектована нами фотоелектрична установка з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об'єкта функціонуватиме як мережна, що дає змогу використовувати вироблену електроенергію для живлення побутових споживачів та реалізовувати її надлишок у міську електромережу. Відповідно до чинного законодавства України (Закон №514-VIII від 04.06.2015 р. та постанова НКРЕКП №725 від 25.03.2020 р.), у період з 01.01.2023 до 31.12.2024 р. ставка «зеленого» тарифу становить 0,163 євро або 6,81 грн. за 1 кВт·год. Для подальшого економічного аналізу виконаємо розрахунок річної генерації електроенергії, визначивши сумарну встановлену потужність фотоелектричних модулів системи:

$$P_{\text{ФЕМ}_{\text{заг}}} = P_{\text{ФЕМ}} \cdot n , \quad (3.8)$$

де:

n – загальна кількість фотоелектричних модулів задіяних в установці, шт.;

$P_{\text{ФЕМ}}$ – потужність одного фотоелектричного модуля, Вт;

$P_{\text{ФЕМ}_{\text{заг}}}$ – загальна потужність всіх фотоелектричних модулів розробленої установки, кВт.

Матимемо, що:

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

Далі визначимо річний виробіток електроенергії нашою сонячною системою без урахування її трекерної конструкції, тобто розрахунок виконаємо для стаціонарного варіанта. Середньодобова тривалість сонячної інсоляції протягом року в м. Житомир становить близько 4,5 год./добу. Відповідно денне вироблення електроенергії визначається за таким виразом:

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

де:

$E_{\text{доба}}$ – добова генерація електроенергії розробленою фотоелектричною установкою без урахування її трекерної функції, кВт·год.;

$P_{\text{ФЕМ_заг}}$ – загальна потужність всіх фотоелектричних модулів розробленої установки, кВт.

$n_{\text{сон.год.}}$ – середньодобова тривалість сонячної інсоляції протягом року в м. Житомир, год.

Будемо мати:

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

У такому випадку річний обсяг виробітку електроенергії становитиме:

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

де:

$E_{\text{рік}}$ – річна генерація електроенергії розробленою фотоелектричною установкою без урахування її трекерної функції, кВт·год.

Отже, розрахунок дає наступні показники:

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

На наступному етапі врахуємо, що розроблена нами фотоелектрична установка має трекерну конструкцію, завдяки чому її продуктивність зростає приблизно на 30% (у 1,3 рази). В такому випадку річний виробіток електроенергії становитиме:

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

Таким чином, сумарний річний прибуток від експлуатації розробленої фотоелектричної установки з трекером для живлення житлового об'єкта становитиме:

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

де:

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

Отримаємо, що:

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

Далі визначимо строк окупності розробленої фотоелектричної установки з трекером для живлення житлового об'єкта:

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

де:

K – підсумкові капіталовкладення для реалізації проекту, грн.;

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

C – загальна сума річних експлуатаційних витрат розробленої фотоелектричної установки, грн./рік;

Матимемо, що:

$$T_{\text{розробленої установки}} = \frac{65224 + 2728,2}{37523,1} \approx 1,81 \text{ роки.}$$

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ

4.1 Організація охорони праці при монтажі фотоелектричних установок з сонячним трекером

Монтаж фотоелектричних установок (див. рисунок 4.1) із трекерним механізмом є складним інженерно-технологічним процесом, що охоплює роботи з металевими конструкціями, електротехнічним обладнанням та елементами автоматизації. Зазвичай такі роботи виконуються на відкритих майданчиках із застосуванням вантажопідіймальних пристроїв, електроінструментів та спеціалізованої техніки. У зв'язку з цим дотримання вимог охорони праці є критично важливим для забезпечення безпеки персоналу та надійної роботи встановленого обладнання.



Рисунок 4.1 – Процес монтажу фотоелектричної установки з сонячним трекером

До основних ризиків, що виникають під час монтажу, належать:

- механічні небезпеки, пов'язані з падінням важких елементів конструкції та травмуванням при їх переміщенні;

					ДП.141.042.019.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Редька Т.Ю.				4 ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ		
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.							
						Літ.	Арк.
						У	59
						Аркушів	
						67	
						ЖАТФК, Гр. Е-42	

- роботи на висоті, що створюють загрозу падіння працівників;
- електричні ризики, зумовлені можливістю ураження струмом при встановленні інверторів, приводів та кабельних з'єднань;
- кліматичні фактори, зокрема вплив сонячного випромінювання, вітру та опадів;
- пожежонебезпека, спричинена використанням електроінструментів та кабельних мереж.

Для запобігання нещасним випадкам необхідно проводити вступний та первинний інструктаж з охорони праці, допускати до робіт лише працівників, які пройшли медичний огляд і мають відповідну кваліфікацію, забезпечувати персонал індивідуальними засобами захисту (каска, рукавиці, окуляри, спецодяг, взуття з протиковзною підошвою), огорожувати робочу зону та встановлювати попереджувальні знаки, а також забороняти виконання монтажних робіт за несприятливих погодних умов (сильний вітер, гроза, ожеледиця). Під час виконання робіт на висоті обов'язковим є:

- використання страхувальних поясів та канатів;
- надійне кріплення драбин і підйомних механізмів;
- заборона роботи без напарника;
- застосування монтажних платформ із захисними огороженнями.

Щодо електробезпеки, слід дотримуватись вимог, а саме: електромонтажні роботи мають виконуватись лише фахівцями з відповідною групою допуску, перед підключенням обладнання необхідно перевіряти відсутність напруги, використовувати інструменти з ізольованими ручками, обов'язково заземлювати металеві конструкції та інвертори, а також заборонено працювати з електричними з'єднаннями у вологому середовищі.

Організаційні заходи включають призначення відповідального за безпеку робіт, чітке розмежування зон монтажу та складування матеріалів, забезпечення наявності аптечки та первинних засобів пожежогасіння, регулярний контроль технічного стану інструментів і обладнання, а також ведення журналу інструктажів та перевірки знань працівників.

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Пожежна безпека забезпечується шляхом заборони використання відкритого вогню поблизу монтажної зони, своєчасної перевірки кабельних з'єднань на предмет пошкодження ізоляції, розміщення вогнегасників у зоні проведення робіт та проведення інструктажу щодо дій у разі виникнення пожежі.

Дотримання вимог охорони праці під час монтажу фотоелектричних установок з сонячним трекером є запорукою безпечних умов роботи, зниження виробничих ризиків, підвищення експлуатаційної надійності обладнання та відповідності чинним стандартам і нормативним документам.

4.2 Алгоритм першої допомоги при ураженні електричним струмом

Ураження електричним струмом належить до найбільш небезпечних виробничих травм, оскільки може спричинити порушення роботи серця, дихальної системи, нервових функцій та викликати опіки. Тому своєчасне і правильне надання першої допомоги є вирішальним для збереження життя постраждалого та зменшення ризику ускладнень.

Насамперед необхідно забезпечити безпеку того, хто надає допомогу, тобто негайно знеструмити обладнання або усунути джерело струму. Якщо відключення неможливе, постраждалого слід відтягнути від небезпечної ділянки за допомогою сухих ізолюючих предметів, не торкаючись його руками. Після цього потрібно викликати швидку медичну допомогу та оцінити стан потерпілого: перевірити свідомість, дихання і пульс.

У разі збереження свідомості постраждалого слід покласти у горизонтальне положення, забезпечити спокій та контролювати його стан до прибуття лікарів. Якщо дихання або серцебиття відсутні, необхідно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію, поєднуючи штучне дихання з непрямим масажем серця, і продовжувати її до відновлення життєвих функцій або прибуття медиків. При наявності опіків потрібно накласти стерильну суху пов'язку, уникаючи використання мазей чи рідин.

Важливо пам'ятати, що не можна застосовувати воду для охолодження опіків у зоні можливого контакту з електрикою, а також залишати постраждалого без нагляду. Усі дії мають виконуватись швидко, впевнено та без ризику для рятувальника.

Таким чином, знання та дотримання алгоритму першої допомоги при ураженні електричним струмом значно підвищують шанси на виживання потерпілого, зменшують ймовірність тяжких наслідків і є обов'язковою складовою інструктажу для працівників, що здійснюють монтаж та експлуатацію сонячних систем.

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було розроблено фотоелектричну установку з сонячним трекером для альтернативного живлення житлового об'єкта.

Проведено аналіз поширених конструкцій сонячних трекерів, визначено їх функціональні можливості та основні складові елементи. Окрему увагу приділено оцінці переваг і недоліків існуючих рішень, що дозволило сформулювати вимоги до проєктованої установки. Як оптимальний варіант обрано трекер з однією віссю обертання ST1500, який характеризується високою ефективністю завдяки керуванню лише одним актуатором і практично не поступається двовісним системам завдяки раціональному розташуванню фотоелектричних модулів під кутом 45° до горизонту.

Відповідно до технічних вимог виконано розрахунок необхідної потужності електричного приводу сонячного трекера, у результаті чого обрано асинхронний двигун типу AIP100L8. Перевірка його перевантажувальної здатності підтвердила відповідність встановленим параметрам.

Здійснено обґрунтований вибір основних комплектуючих сонячного трекера, визначено кількість та обрано модель фотоелектричних модулів, інвертор та схему реалізації фотоелектричної установки.

Розроблено структурну та принципову електричні схеми системи.

У межах аналізу економічної доцільності впровадження проєкту проведено оцінку капітальних витрат на впровадження проєкту, здійснено аналіз експлуатаційних витрат та визначено строк окупності розробленої установки, який становить 1,81 року.

					ДП.141.042.019.ПЗ			
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Редьква Т.Ю.				ВИСНОВКИ			
Перевір	Антипчук Б.О.							
Н. Контр.	Антипчук Б.О.							
Затв.								
						Літ.	Арк.	Аркушів
						У	63	67
						ЖАТФК, Гр. Е-42		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ 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--elamaldq6a1c6e.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.141.042.019.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Редьква Т.Ю.								У		64	67
Перевір	Антипчук Б.О.											
Н. Контр.	Антипчук Б.О.								ЖАТФК, Гр. Е-42			
Затв.												

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: 24.12.2025р.).
14. Опис руху сонця. URL: <https://prel.prom.ua/a279654-sonyachnij-treker-scho.html> (дата звернення: 27.11.2025р.).
15. Будова сонячного трекера. URL: <https://solarsystem.com.ua/zbilshennya-produktyvnosti-sonyachnyh-panelej-sonyachnyj-treker/> (дата звернення: 21.11.2025р.).
16. Розгляд актуатора та його призначення. URL: <https://cassvitaflour.com/625-actuator> (дата звернення: 24.12.2025р.).
17. Сонячний трекер ST1500. URL: <https://greenchip.com.ua/26-0-196-0.html> (дата звернення: 20.11.2025р.).

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: 8.11.2025р.).
19. Асинхронний електродвигун AIP100L8. URL: <https://systemax.ua/elektrodivigateli/trehfaznye-obshepromyshlennyye-elektrodivigateli/air/air100l8-1-5-kvt-750-ob-min-.html> (дата звернення: 8.11.2025р.).
20. Технічна специфікація мікросхеми STM32F100C4T6B. URL: <https://eic.com.ua/stm32f100c4t6b-1983637956> (дата звернення: 12.12.2025р.).
21. Характеристики дисплею LCD1602A. URL: <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/eone-1602a1.pdf> (дата звернення: 12.12.2025р.).
22. Модуль магнітометра. URL: <https://beegreen.com.ua/modul-kompastriovij-gy-271-hmc5883l-arduino-1041> (дата звернення: 12.12.2025р.).
23. Огляд характеристик акселерометра LIS2DW12. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis2dw12.pdf> (дата звернення: 15.12.2025р.).
24. Технічна специфікація модуля годинника реального часу DS3231. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/chasy-realnogo-vremeni-ds3231/> (дата звернення: 15.12.2025р.).

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.141.042.019.ПЗ						
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата							
Розробив	Редьква Т.Ю.				(ДОДАТОК А) Перелік елементів. Схема електрична принципова. Електромеханічна система керування сонячним трекером фотоелектричної установки для альтернативного живлення житлового об'єкта				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.								У	67	67
Н. Контр.	Антипчук Б.О.								ЖАТФК, Гр. Е-42		
Затв.											