

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**

**Факультет комп'ютерних наук**

**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ**

В. о. завідувача кафедри АКІТ,  
кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему: «Автоматизована сонячна мобільна станція для заряджання  
портативних енергоресурсів»

**Пояснювальна записка**

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – КРБ – 471. 22017104

**Студент** \_\_\_\_\_ Конопляник Д.О.

**Керівник** \_\_\_\_\_ Гекова Т.В.

**Консультант** \_\_\_\_\_ Макарова О.В.  
(дата)

Миколаїв – 2024

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

т. в. о завідувача кафедри АКІТ  
кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Видано студенту групи 471 факультету комп'ютерних наук

Коноплянику Денису Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Автоматизована сонячна мобільна станція для заряджання портативних енергоресурсів

Затверджена наказом по ЧНУ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р. № \_\_\_\_\_

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

4. розробка, створення та валідація прототипу автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів.

5. Перелік питань, що підлягають розробці

Дослідження сучасних технологій з урахуванням існуючих конструкцій

портативних зарядних станцій, їх основних переваг та недоліків та способів

компенсувати ці недоліки.

2. Розробка апаратної частини проекту з урахуванням: дизайну та ергономіки робочих елементів; місткості та конструкції системи акумуляції енергії; системи керування розгортанням та згортанням установки; системи захисту від дії негативних погодних чинників; допоміжних елементів для підвищення надійності.

3. Розробка програмної частини проекту з урахуванням необхідності дистанційного керування, автономної експлуатації та згортання при дії негативних погодних чинників;

4. Окреслення перспектив розвитку проекту та альтернативних шляхів його реалізації.

6. Перелік графічних матеріалів: 16 слайдів презентації

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Гекова Т.В.	Автоматизація та КІТ	1 розділ
Гекова Т.В.	Автоматизація та КІТ	2 розділ
Гекова Т.В.	Автоматизація та КІТ	3 розділ
Макарова О.В.	Екології	4 розділ

Керівник роботи Гекова Тетяна Володимирівна \_\_\_\_\_  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання Коноплянником Денисом Олеговичем

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024

# КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

## виконання магістерської наукової роботи

Тема: Автоматизована сонячна мобільна станція для заряджання портативних енергоресурсів

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання	09.09.2021	17.09.2023	
2.	Огляд літератури за темою роботи	20.09.2021	21.10.2023	
3.	Складання календарного плану	22.10.2021	25.10.2023	
4.	Аналіз предметної області	28.10.2021	11.11.2023	
5.	Розробка проектних рішень	15.11.2021	10.12.2023	
6.	Моделювання та конструювання	15.12.2021	10.01.2024	
7.	Робота над основною частиною	15.01.2022	01.05.2024	
8.	Розробка спеціальної частини з охорони праці	05.05.2022	01.06.2024	
9.	Оформлення та презентація	01.06.2022	07.06.2024	
10.	Відгук керівника	20.06.2022	25.06.2024	
11.	Попередній захист	23.06.2022	24.06.2024	
12.	Рецензування	24.06.2022	27.06.2024	
13.	Завершення оформлення	24.06.2022	27.06.2024	
14.	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2022	30.06.2024	

Розробила студент Конопляник Денис Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

Керівник роботи Гекова Тетяна Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

## АНОТАЦІЯ

Конопляник Д.О. «Автоматизована сонячна мобільна станція для заряджання портативних енергоресурсів». – Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2024.

Бакалаврська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання та спеціальної частини з охорони праці. У вступі розкривається актуальність теми, наводяться завдання, які планується вирішити для досягнення поставленої мети. У першому розділі проводиться аналіз сучасного стану інформаційних технологій у сфері сонячної енергетики, встановлюється наукове обґрунтування принципів роботи установки, визначаються специфікації вимог до програмного забезпечення системи дистанційного керування автоматизованою сонячною мобільною станцією для зарядки портативних енергоресурсів. У другому розділі розробляється алгоритм, функціональна схема системи. За допомогою математичного моделювання обчислюється потенційний ресурс сонячної енергії та встановлюються вимоги до розмірів сонячної панелі. Розробляється схема підключення модулів Arduino, розглядаються елементи системи, їх функціональні особливості. У третьому розділі розроблено алгоритм роботи програмних компонентів системи, описано функціонал програмного забезпечення та завдання, які вирішуються під час роботи системи. У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, проаналізовано систему заходів і засобів для запобігання впливу на людину негативних факторів, які супроводжують виготовлення та експлуатацію розробленої установки.

Бакалаврська робота містить 105 с., 36 рис., 2 табл., 39 джерел посилань.

Ключові слова: сонячна енергетика, фотоелемент, лінза Френнеля, погода, портативні енергоресурси.

## ANNOTATION

Konoplyanik, D.O. "Development of an Automated Solar Mobile Station for Charging Portable Energy Resources". - Qualification work of a master's degree in the specialty 151 Automation and Computer-Integrated Technologies. - Petro Mohyla Black Sea National University, 2024.

The bachelor's thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and a special section on occupational safety. The introduction defines the relevance of the topic and outlines the tasks planned to achieve the set goal. The first chapter analyzes the current state of information technologies in the field of solar energy, establishes the scientific rationale for the principles of the installation's operation, and defines the specifications of the requirements for the software of the remote control system of the automated solar mobile station for charging portable energy resources. The second chapter develops an algorithm and a functional diagram of the system. Using mathematical modeling, the potential solar energy resource is calculated, and the requirements for the panel size are determined. The connection scheme of Arduino modules is developed, and the elements of the system and their functional features are considered. The third chapter develops an algorithm for the operation of software components of the system, describes the functionality of the software, and the tasks solved during the operation of the system. A mathematical model is developed. The fourth chapter discusses labor protection and safety issues in emergencies, analyzes the system of measures and means to prevent the impact of adverse factors on human health accompanying the manufacture and operation of the developed installation.

The bachelor's thesis contains 105 pages, 36 figures, 2 tables, and 39 references.

Keywords: solar energy, photovoltaic panel, Fresnel lens, weather, portable energy resources.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА. ОБҐРУНТУВАННЯ ПЛАНУ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ. СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО ВИМОГ ДО АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	8
1.1. Структурні та функціональні особливості сонячних енергетичних установок. ....	8
1.2. Огляд та аналіз сучасного стану інформаційних технологій в області сонячної енергетики.....	12
1.3. Формування специфікації вимог до пз системи дистанційного керування автоматизованою сонячною мобільною станцією для зарядки портативних енергоресурсів .....	26
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....	32
2 АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ПОРТАТИВНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ.....	33
2.1. Алгоритм та функціональна схема автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів .....	33
2.2. Моделювання фізичних принципів функціонування системи та обумовлених ними апаратних вимог. ....	37
2.3. Апаратна структура проекту.....	52
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	62
3 ОСОБЛИВОСТІ ПЗ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЮ СОНЯЧНОЮ МОБІЛЬНОЮ СТАНЦІЄЮ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ПОРТАТИВНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ .....	63
3.1. Програмне забезпечення для пристрою введення системи дистанційного керування сонячною мобільною станцією .....	63
3.2. Програмне забезпечення для апаратної частини системи дистанційного керування сонячною мобільною станцією .....	74
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	78
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	80

4.1. Охорона праці в процесі виробництва автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів.....	80
4.2. Розробка інструкції з дій при надзвичайних ситуаціях в процесі виготовлення установки .....	83
4.2.1. Охорона праці.....	83
4.2.2. Російська терористична загроза .....	86
4.3. Правила техніки безпеки при експлуатації портативної сонячної електростанції для зарядки мобільних пристроїв .....	89
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....	93
ВИСНОВОК .....	94



## ВСТУП

**Актуальність теми:** портативні мобільні пристрої все частіше знаходять застосування в найрізноманітніших сферах життя. Завдяки низькому енергоспоживанню мікроелектроніка таких пристроїв може тривалий час житись від акумуляторних батарей. В умовах збоїв в постачанні енергії, відриву від цивілізації чи просто відсутності доступу до стаціонарної енергетичної мережі особливо актуальними стають способи заряджання акумуляторних батарей таких засобів. Використання відновлюваних джерел енергії на зразок сонця, вітру, енергії водного потоку та ін. стало трендом сьогодення. Основним природним джерелом енергії, що доступна в більшості випадків та має більш-менш стабільний потік є сонячна. В рамках даної дипломної роботи заплановано розробити автоматизовану мобільну станцію для зарядки портативних енергоресурсів від енергії сонця в двох можливих варіантах: мобільна станція з фотоелектричними елементами та універсальна мобільна станція на основі дзеркальної плівки з двигуном стирлінга.

**Мета:** метою даної дипломної роботи є розробка, створення та валідація прототипу автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів.

**Завдання.** Для досягнення мети заплановано виконання ряду завдань:

1. Дослідження сучасних технологій з урахуванням існуючих конструкцій портативних зарядних станцій, їх основних переваг та недоліків та способів компенсувати ці недоліки.

2. Розробка апаратної частини проекту з урахуванням: дизайну та ергономіки робочих елементів; місткості та конструкції системи акумуляції енергії; системи керування розгортанням та згортанням установки; системи захисту від дії негативних погодних чинників; допоміжних елементів для підвищення надійності.

3. Розробка програмної частини проекту з урахуванням необхідності дистанційного керування, автономної експлуатації та згортання при дії негативних погодних чинників;

4. Окреслення перспектив розвитку проекту та альтернативних шляхів його реалізації.

**Об'єкт.** Об'єктом дослідження є конструкція та можливості сонячної енергетичної установки та системи акумуляції отриманої нею енергії.

**Предмет.** Предметом дослідження є апаратна та програмна структура мобільної сонячної станції для зарядки портативних пристроїв.

**Методи дослідження.** В дослідженні використано як теоретичні методи (аналіз, математичне моделювання, прогноз) так і прикладні (експеримент).

**Суть розробки.** Дослідження спрямоване на розробку автоматизованої мобільної зарядної станції для індивідуального використання в польових умовах з можливістю використання в зимовий період без суттєвого збільшення ваги та об'єму.

Так в ході дослідження розглянуто два перспективних напрямки отримання енергії сонця (гнучкі полікристалічні фотоелементи в комбінації з лінзою Френнеля та комбінація двигуна стирлінга з увігнутих дзеркалом з світловідбивною плівкою) та два напрямки акумуляції енергії (літій-іонні акумулятори та використання в якості акумулятора батареї з ультраконденсаторів). З яких обрано класичну схему фотоелемент-лінза, як найбільш просту для позиціонування при розгортанні на місцевості.

Для ергономічності пропонується застосувати в якості лінзи-концентратора надувну конструкцію низького тиску з поліетиленовими концентричними потовщеннями.

Найближчий аналог розробки це діючі стаціонарні сонячні установки з параболічними дзеркалами та лінзами Френнеля, також застосовано технологію аналогічну до надувних геліостатів Eco Company.

Основна гіпотеза дослідження полягає в можливості концентрування енергії на стандартну портативну сонячну батарею з великої площі за допомогою надувної лінзи Френнеля.

Наукова новизна. Наукова новизна дослідження полягає в докладному математичному моделюванні параметрів основного обладнання для сонячної енергоустановки, що дає універсальні вихідні параметри для проектування різних типів таких установок.

Практичне значення розробки. Впровадження цього проекту може сприяти забезпеченню потреб населення в зв'язку та обміну інформацією в умовах надзвичайних ситуацій; більшій автономності туристів та військових в плані застосування електронних пристроїв; сталому розвитку та зниженню енергоспоживання.

Результатом може стати створення інноваційного продукту, який задовольнить потреби сучасного ринку та сприятиме збереженню довкілля.

Особистий внесок здобувача. Особисто було розроблено концепцію та проведено ряд основних розрахунків. Від колег отримано вихідні дані та методику моделювання по надходженню енергії сонця

#### **Апробація результатів дослідження:**

Публікації. Гекова Т.В., Конопляник Д.О. Розробка інтегрованої системи автоматизованого управління логістичними процесами в промисловому середовищі // Могилянські читання – 2023 р.: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти. Всеукраїнська студентська науково-практична конференція тези доповідей 07 листопада 2023 р.,

м. Миколаїв / ЧНУ ім. Петра Могили. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. –228 с.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, спеціального розділу з захисту праці, висновків до

них, висновків та списку використаних джерел (39 найменувань). Загальний обсяг роботи складає 105сторінок.

## **1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА. ОБҐРУНТУВАННЯ ПЛАНУ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ. СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО ВИМОГ ДО АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

### **1.1. Структурні та функціональні особливості сонячних енергетичних установок.**

Фотоефект - це фізичне явище, за якого світло може викликати вибивання електронів з поверхні матеріалу. Це одне з ключових явищ квантової механіки, що вказує на корпускулярно-хвильову природу світла.

Основні аспекти фотоефекту полягають у тому, що фотоефект залежить від частоти світла, а не від його інтенсивності, мінімальна частота світла, при якій відбувається фотоефект, залежить від типу матеріалу, кількість вибитих електронів пропорційна інтенсивності світла.

Робота виходу - це мінімальна енергія, яка потрібна, щоб електрон вийшов з поверхні матеріалу. Різні матеріали мають різні значення роботи виходу.

Фотоефект поділяється на зовнішній та внутрішній. Зовнішній фотоефект, також відомий як фотоелектронна емісія, полягає у вибиванні електронів під дією світла. З іншого боку, внутрішній фотоефект відбувається за рахунок збудження світлом електрорушійної сили на межі між металом та напівпровідником.

Для опису фотоефекту найкраще підходять формули (1) та (2).

Закон Столетова (1) – кількість фотоелектронів, вибитих з поверхні, прямо пропорційна інтенсивності світла.

$$I \propto N_e, \quad (1)$$

де  $I$  – Інтенсивність світла;  $N_e$  – кількість фотоелектронів, вибитих з поверхні.

Зазвичай цей закон використовується для опису фотоелектричної емісії, яка відбувається внаслідок зовнішнього фотоефекту.

Закон Ейнштейна про фотоэффект (2) – максимальна кінетична енергія фотоелектронів не залежить від інтенсивності світла, але прямо пропорційна його частоті.

$$E_{\text{кін}} = h\nu - \Phi, \quad (2)$$

де  $E_{\text{кін}}$  – кінетична енергія фотоелектрона,  $h$  – постійна Планка,  $\nu$  – частота світла,  $\Phi$  – робота виходу фотоелектрона.

Фотоэффект застосовується в фотодетекторах, сонячних батареях, фотокамерах, електронних пристроях та інших сферах технології. Це явище служить одним із підтверджень корпускулярно-квантової природи світла і має важливе значення для розуміння фотоніки та квантових технологій.

Напівпровідникові фотоелементи є найбільш поширеними в сонячних батареях і мають внутрішній фотоэффект, який можна зобразити за допомогою схеми, показаної на Рис. 1.1.

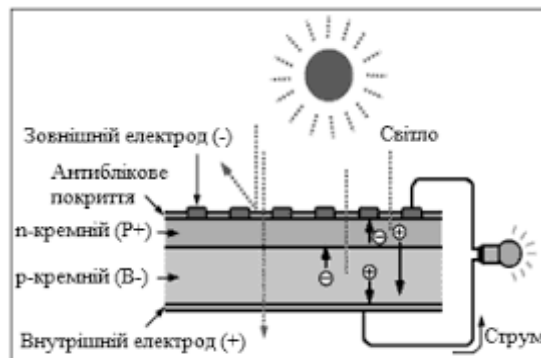


Рисунок 1.1 – Схема напівпровідникового фотоелементу

Коли деяка частина сонячної панелі затіняється, енергія, що виділяється, знижується не пропорційно до площі затінення, а в рази. Це пояснюється тим, що затінений фрагмент виступає як своєрідний резистор, що підвищує опір в електричній схемі. Детальні дослідження з цього питання наведено в роботі [1]. Графік падіння сили струму при затіненні фотоелементу показано на Рис. 1.2.

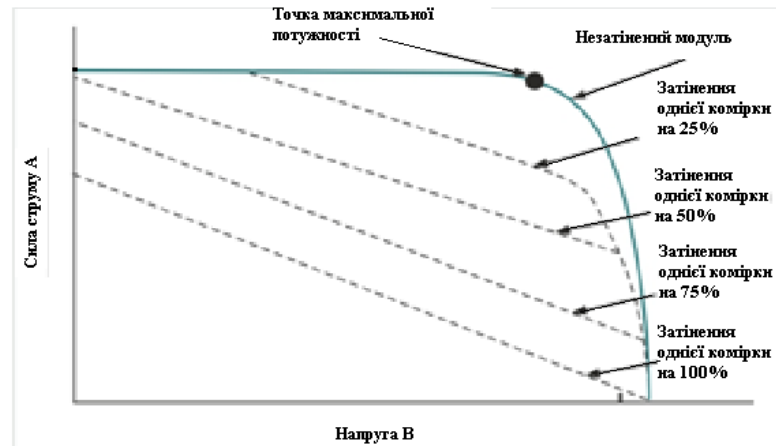


Рисунок 1.2 – Графік падіння сили струму при затіненні фотоелементу

### Приблизний вигляд лінзи

До сонячних енергогенеруючих установок відносяться два основних типи.

97% енергогенерації від сонця отримують за допомогою полі- та монокристалічних фотоелектричних модулів, потужністю близько  $130 \text{ Вт/м}^2$  з ККД 17-24%. Перспективними вважаються певскитові модулі з ККД 20-25% [2] та максимальним теоретичним ККД в 34% проти 32% у кремнієвих [3]. Проте в теорії індій-галій-арсенід має перспективу в 44,4%) [4] та є беззаперечним лідером серед існуючих фотоелектричних модулів.

Біля 3% використовують значно простіші конструкції на основі дзеркал. Серед них генератори баштового типу (ККД 20%)[5], які працюють за рахунок нагрівання солей сонячним випромінюванням, відбитим від величезного поля дзеркал-геліостатів до рівня розплаву (температура може досягати  $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) та використання в якості робочої речовини паровика, що дозволяє роботу і в нічний час по інерції [6]. Той же принцип, але з більш компактними відбивачами у установок тарілчастого типу (ККД 34%) [7] та установок, що використовують параболічно-циліндричні концентратори[8].

Теоретичний максимум для теплових двигунів, що використовуються для перетворення сконцентрованої дзеркалами енергії в механічну визначається циклом Карно (1).

За циклом Карно, максимальний теоретичний ККД для будь-якого теплового двигуна, включаючи сонячні баштові генератори, обмежений відношенням температур гарячих і холодних джерел.

$$\eta = \frac{T_{heat} - T_{cold}}{T_{heat}}, \quad (3)$$

Де  $T_{heat}$  – температура джерела тепла;  $T_{cold}$  – температура охолодження.

Для сонячних баштових генераторів гарячим джерелом є сонячне випромінювання, а холодним - навколишнє середовище. Таким чином, за циклом Карно, максимальний теоретичний ККД сонячних баштових генераторів залежить від температур цих двох джерел. Для парового двигуна цей ККД міг би становити до 60%, але, враховуючи значні втрати реальні показники коливаються на рівні 6-7%, а максимально досяжні за сучасного рівня технологій без спеціальних матеріалів – 15-20%. Власне, 21% і видала така електростанція в Неваді, де в якості робочої речовини використовували розплав солей. Через такий низький ККД фокус уваги змістився з двигунів внутрішнього згоряння на двигуни зовнішнього, а саме двигун Стирлінга з ізольованою, заповненою азотом робочою камерою.

Для камери Двигуна Стирлінга об'ємом 1 літр, яка працює на повітрі з теплоємністю 1 кДж/кг·К, при відведенні тепла в розмірі 101,04 Вт/м<sup>2</sup> від дзеркала або 363744 Дж, спостерігається підігрів на 364 К/годину. При температурі 40 °С теоретичний коефіцієнт корисної дії становить 0,89. Однак, на практиці недоліки таких установок та інші проблеми знижують ефективність до 0,45. Крім того, коефіцієнт корисної дії електродвигуна, що використовується для перетворення механічної енергії в електричну, становить приблизно 0,83. Таким чином, 210,5 Вт/м<sup>2</sup> сонячної енергії, що надходить за годину, перетвориться в 38,9-76,9 Вт електричної енергії з ефективністю 18,5-36,5% [9].

Однак, варто зазначити, що теоретичний максимум існуючих фотоелектричних систем можна підвищити за рахунок фокусування на них



світла за допомогою дзеркал чи лінз до 45-46% [10], що враховуючи їх ергономічність може стати ефективною технологією, якщо вирішити проблему ергономічності концентраторів.

## 1.2. Огляд та аналіз сучасного стану інформаційних технологій в області сонячної енергетики

Область сонячної енергетики та енергетики в цілому є динамічною та широко охопленою науковою спільнотою.

Досить повний аналіз в даному напрямку було проведено фахівцями УКРІНТЕІ та викладено в відповідній аналітичній записці [11].

Згідно з нею щорічно для одного тільки напрямку певскитні сонячні батареї виходить 8-12 тис, для космічних сонячних станцій 4-6 тис, для гібридних систем 22-45 тис патентів. Враховуючи темпи росту, автор відносить до найбільш перспективних суперконденсатори та взагалі методи зберігання енергії, розумні зарядні пристрої. До перспективних автор відносить: реактори на розплавах солей, супутникові сонячні електростанції, гібридні електричні системи. Саморозкладні та певскитні батареї виявились значно менш охопленими.

На основі свого аналізу, автор наводить ландшафтну карту розподілу найбільш перспективних досліджень (Рис 1.3).



Рисунок 1.3 – Ландшафтна карта енергогенерації

Реактори на розплавах солей – сині крапки.

Супутникові сонячні електростанції – червоні крапки.

Гібридні електричні системи – жовті крапки.

Малі модульні реактори – зелені крапки.

Що стосується зберігання енергії .

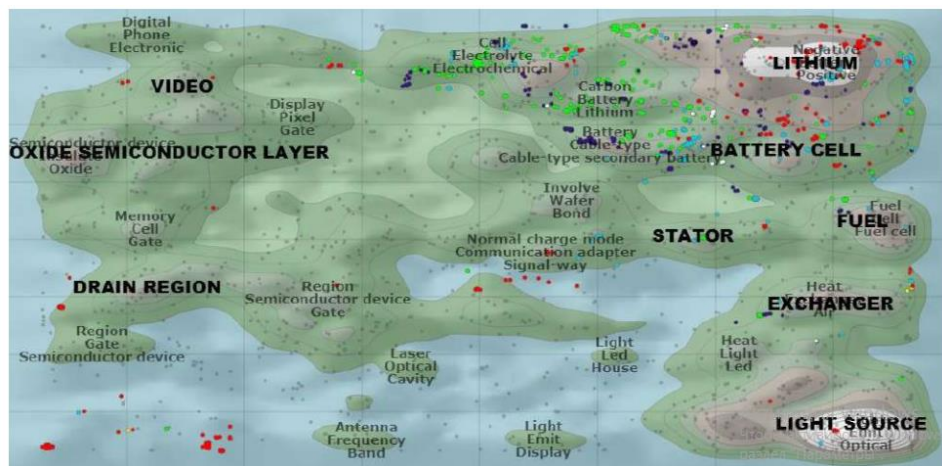


Рисунок 1.4 – Ландшафтна карта для технологій зберігання енергії

Суперконденсатор – зелені крапки.

Розумний термостат – жовті крапки.

Накопичення вітрової енергії – блакитні крапки.

Акумуляторні батареї – сині крапки.

Зберігання стисненого повітря – рожеві крапки.

Розумні зарядні пристрої для електромобілів – червоні крапки.

Враховуючи тенденції та реальні потреби розроблюваної конструкції, для огляду наукової періодики було обрано ряд напрямків:

- лінзові та дзеркальні концентратори;
- двигун Стирлінга в сонячній енергетиці;
- суперконденсатори в якості акумуляторів енергії та інші типи акумуляторів;
- фотоелектричні батареї різних типів;
- інтелектуальні пристрої керування сонячними енергетичними установками, розумні зарядні пристрої.

Як результат ми маємо отримати ряд технічних рішень щодо конструкції, а інформаційні системи гратимуть роль регулювання безпечного заряджання, наведення на напрямок сонця та дистанційного керування пристроєм.

Лінзові та дзеркальні концентратори.

Лінзові та дзеркальні концентратори в сонячній енергетиці використовуються для фокусування сонячного випромінювання на площину приймача, таким чином збільшуючи інтенсивність світла та підвищуючи ефективність конверсії сонячної енергії. Ось короткий огляд обох видів концентраторів:

Лінзові концентратори:

Принцип дії: Лінзові концентратори використовують лінзи для фокусування сонячного світла на приймачі. Ці лінзи можуть бути різних форм і конструкцій, включаючи плоскі лінзи, лінзи Френеля та інші.

Переваги: Лінзові концентратори прості у виготовленні та можуть бути ефективними для концентрації світла на невеликій площі. Вони також можуть бути використані для створення портативних сонячних систем.

Недоліки: Лінзи вимагають точної орієнтації щодо сонця, і вони можуть бути вразливими до пилу та забруднень, що може впливати на ефективність.

Дзеркальні концентратори:

Принцип дії: Дзеркальні концентратори використовують дзеркала для відбиття та фокусування сонячного світла на приймачі. Ці системи можуть бути статичними або використовувати слідження за сонцем для оптимізації концентрації.

Переваги: Дзеркальні концентратори можуть бути більш ефективними для концентрації світла на велику площу. Вони також можуть працювати у більших масштабах, що робить їх популярними у концентрованих сонячних електростанціях.

Недоліки: Дзеркала можуть вимагати точної настройки та обслуговування для підтримання оптимальної ефективності. Також може виникати проблема з втратою світла через розсіювання.

Щодо використання лінз, то найбільш популярною темою є лінзи Френеля.

В дослідженні [12] автори пропонують та експериментально демонструють комбінацію двох великих лінз Френеля та шести сегментованих дзеркал для ефективного концентрування сонячного світла протягом усього дня без механічного відстеження сонця. А автори [13] проводять аналіз зміни фокусної відстані під час нахилу падіння головного променя шляхом моделювання та експерименту. Виявлено, що ефективний кут нахилу може бути збільшений з  $7^\circ$  до  $32^\circ$  за рахунок підняття позиції приймача та додавання простого вторинного відбивача-дзеркала. Експериментальні результати показують, що сонячний концентратор Френеля працює ефективно протягом часу приблизно з 10:00 до 14:30 в день. Стійкі вихідні температури становлять  $125^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$  та  $170^\circ\text{C}$ , з ефективностями збору приблизно 0,53, 0,48 та 0,44.

В дослідженні [14] було розглянуті різні SSFL для направлення спектральних діапазонів від 400 до 1150 нм на 800–1150 нм на кремнієвий сонячний елемент при концентрації 10x. З цією метою були розроблені оптичні та теплопередавальні моделі за допомогою симуляції в програмному забезпеченні Comsol Multiphysics та перевірені за допомогою наявних експериментальних даних у літературі. Згідно з припущеними параметрами, SSFL зі спектральним діапазоном від 600 до 1150 нм з оптичною ефективністю 81% було вибрано як оптимальна лінза, яка не лише збільшує вагомий вихід енергії на 14%, але й знижує температуру елементів на  $48^\circ\text{C}$  порівняно з лінзою із спектральним діапазоном від 400 до 1150 нм.

У статті [15] було проведено числове моделювання системи великої сонячної термоелектричної установки з використанням великої водяної лінзи

як сонячного концентратора та термоелектричного модуля (ТЕМ) на основі наноструктурного бісмут-теллуриду ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) середньої температури. Було зафіксовано збільшення інтенсивності теплового потоку у чотири-п'ять разів, тобто з 1135 до 4580 Вт/м<sup>2</sup>, через концентратор водяної лінзи. Максимальна температура на гарячому з'єднанні досягала 498 К, а максимальна різниця температур між гарячим і холодним з'єднаннями становила 463 К. Система змогла досягти максимальної загальної ефективності системи в розмірі 12,04%.

Щодо використання дзеркал, досліджень є багато, але вони не є систематичними. Останнім часом тема параболічних дзеркал тісно пов'язана з використанням двигунів Стирлінга як перетворювачів енергії.

У статті [16] досліджується лінійний компаунд-параболічний концентратор (Linear Fresnel Lens Coupling CPC, LFL-CPC), який має переваги статичної роботи системи, регульованого часу роботи та здатності збирати променеве та розсіяне випромінювання. Порівняно зі стандартним компаунд-параболічним концентратором (Standard CPC, S-CPC), LFL-CPC може розширити кут приймання та ефективно концентрувати сонячні промені при будь-яких кутах падіння, що робить його більш пристосованим до різних погодних умов. LFL-CPC ефективно збирає сонячне випромінювання, а тривалість збору променевого випромінювання вища, ніж у S-CPC протягом усього року, з максимальним середнім щоденним ефективним зростанням на 36,1% в червні

Двигун Стирлінга в сонячній енергетиці використовується для перетворення теплової енергії, отриманої від сонячних променів, на механічну або електричну енергію. Цей тип двигуна дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію, навіть у випадках, коли сонце не світить яскраво або коли використання прямих сонячних променів неможливе. Принцип роботи двигуна Стирлінга ґрунтується на циклічному нагріванні та

оохолодженні робочого середовища, яке приводить до руху поршня або іншого механізму, що виконує корисну роботу.

У сонячних енергетичних системах, двигун Стирлінга може використовуватися для приведення в дію генераторів електроенергії або насосів для перекачування рідини. Це дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію для виробництва електроенергії або інших корисних видів роботи, забезпечуючи стабільне та надійне джерело енергії.

У дослідженні [17] визначено ефективність сонячної системи з параболічним концентратором та двигуном Стирлінга, яка використовує сонячне випромінювання як джерело тепла для вироблення механічної та електричної енергії. Вивчено вплив різних факторів на вироблення енергії та ефективність системи. Для моделювання системи використовується штучний інтелект, зокрема типова мережа обробки даних (GMDH), адаптивна нейро-розмивна інференційна система (ANFIS) та багат шарова перцептронна нейронна мережа (ANN). Оптимізаційні методи, такі як оптимізація рою частинок (PSO) та генетичний алгоритм (GA), застосовані для покращення MLP та ANFIS. Модель навчена на вхідних параметрах, включаючи відношення фокуса до діаметра параболічної тарілки, годину дня, сонячне випромінювання, геометричний коефіцієнт концентрації та константу робочого газу. Вихідні цілі включають вироблення енергії, загальну ефективність, тепло, використане для циклу Стирлінга, температуру гарячої камери Стирлінга та швидкість двигуна. Результати свідчать про ефективність інтелектуальних методів у моделюванні системи з параболічним концентратором та двигуном Стирлінга, при цьому метод ANFIS-PSO виявляє кращу продуктивність згідно зі статистичними показниками.

У роботі [18] досліджено моделювання і симуляцію такої системи для визначення її енергетичного виробництва та ефективності. Результати показали, що використання прямо освітленого теплового приймача без

отвору дозволяє досягти ефективності близько 23,8%, що відповідає загальній ефективності 10,4%.

В дослідженні [19] є два способи застосування Стирлінга. Спочатку двигун Стирлінга використовується для використання тепла компресії, при цьому ефективність циклу зберігання енергії може бути покращена на 3,16% пунктів і 8,96% пунктів у системах LAES-SE та LNG-LAES-SE відповідно. Потім, із використанням сонячної енергії як джерела тепла для двигуна Стирлінга та повітря перед експандером як теплової розподільної системи, пропонується більш гнучка сонячна система LAES-SE з розділеними секціями заряду та розряду.

У дослідженні [20] розроблено схему керування та техніку управління енергією для системи сонячно-термального дискового двигуна Стирлінга та батарейного ізолюваного DC мікромережевого комплексу для взаємодії з енергетичним потоком. Вперше у цій роботі використовується сонячно-термальний дисковий двигун Стирлінга з батарейним сховищем у ізолюваній мікромережі для зарядки батареї, яка також живить змінне навантаження. Використовується однонапрямний DC-DC перетворювач з сонячно-термальним дисковим двигуном Стирлінга з'єднаним з генератором постійного струму з постійними магнітами, а також двонапрямлений DC-DC перетворювач, підключений до батареї та DC-мережі з контролером та стратегією управління енергією в залежності від стану заряду та випромінювання. Реалізовано модель мікромережі в середовищі Matlab для перевірки функціональності разом з динамічним навантаженням і випромінюванням.

В дослідженні [21] розглядаються два різних сценарії для згенерованої енергії: 1) доступна електрична енергія використовується для виробництва водню за допомогою алкалінового електролізера, та 2) доступна електрична енергія зберігається за допомогою системи зберігання. Сонячна енергія перетворюється на теплову енергію за допомогою LFR. Теплова енергія

потім потрапляє в двигун Стирлінга, і відповідно до циклу Стирлінга, тепла енергія перетворюється на електричну енергію. Для запобігання втрат тепла двигуном, термоелектричний генератор термічно з'єднаний з двигуном для генерації електричної енергії. Результати показують, що запропонована система може виробляти 11,73 кВт-год електричної енергії з загальною ефективністю приблизно 43,6%. Крім того, сонячна система, вбудована у цикл, повинна бути здатна виробляти 2,96 кВт теплової енергії на годину. Для зберігання згенерованої електричної енергії система зберігання повинна мати об'єм близько 7,8 м<sup>3</sup>.

Суперконденсатори в якості акумуляторів енергії та інші типи акумуляторів.

Суперконденсатори, також відомі як електричні двошарові конденсатори або ultracapacitors, є пристроями зберігання енергії, що мають великий потенціал як альтернатива традиційним хімічним акумуляторам. Вони здатні зберігати та вивільняти енергію відносно швидко і мають довгу життєву довговічність.

Основна відмінність суперконденсаторів полягає в їх здатності надзвичайно швидко зберігати та звільняти великі обсяги енергії. Це робить їх ідеальними для застосування у системах, де потрібно швидко використовувати великі енергетичні потоки, наприклад, у гібридних транспортних засобах, зберіганні енергії відновлювальних джерел, та в електричних системах стабілізації напруги. Враховуючи ресурс понад 100000 перезарядок, вони є більш надійними за будь-який акумулятор.

У дослідженні [22] відмічено, що використання пасивного DC-DC перетворювача та гібридної системи зберігання енергії (HESS) зменшує споживання енергії батареєю на 52%, тоді як пасивна система HESS зменшує струм двигуна на 94%. Крім того, суперконденсатор відновлює на 51% більше енергії під час запуску та забезпечує більш ефективну пікову потужність порівняно з батареєю.



У дослідженні [23] вводиться модель оптимізації витрат на життєвий цикл для ефективного оновлення систем енергозбереження з батареями, які працюють самостійно (BESS), в системи HESS з батареями та СК. В даному випадку дослідження в статті показує, що наявність СК може призвести до зменшення LCC до 1,95% протягом наступних п'яти років терміну експлуатації установки. Як додаткові переваги, відзначається 5,2% зменшення споживання енергії та еквіваленту CO<sub>2</sub>, пов'язаного з виробництвом та експлуатацією компонентів HESS.

У роботі [24] вперше в літературі було отримано Co(OH)<sub>2</sub> та Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> для використання в суперконденсаторах типу монетки з літій-іонного акумулятора, матеріалом катоду якого є LiCoO<sub>2</sub>. Спочатку матеріал катоду LiCoO<sub>2</sub> був взятий з розібраного літій-іонного акумулятора, і процес відмивання матеріалу катоду був проведений за допомогою HNO<sub>3</sub> та H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Відмивання виконувалося з максимальним виходом приблизно 94%. Потім Co(OH)<sub>2</sub> було осаджено в основному середовищі за допомогою розчину NaOH. Термічний аналіз був застосований до виробленого Co(OH)<sub>2</sub> для визначення поведінки при переході від Co(OH)<sub>2</sub> до Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Два різних порошки Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> були отримані як Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-450 та Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-1000 шляхом кальцінування осадженого Co(OH)<sub>2</sub> при 450 та 1000 °C. Вироблені порошки характеризувалися багатьма методами характеристикації, такими як XRD, Raman, SEM і BET. Три різні матеріали електродів для катоду суперконденсатора типу монетки були виготовлені з вироблених порошків, змішаних з чорним вугіллям та PVDF. Для оцінки електрохімічних властивостей суперконденсаторів використовувалися виміри GCD, CV та EIS. Максимальне значення площі ємності 98 мФ·см<sup>-2</sup> було отримане при швидкості сканування 10 мВ/с на суперконденсаторі на основі Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-450.

В дослідженні [25] нанопластинки Co-Mn Phosphate були синтезовані за допомогою сонохімічного процесу. Пізніше до цієї біметалевої фосфатної конфігурації був введений цинк, що призвело до значного коригування

морфології поверхні. З реформованими структурами нанопластинок цинконізований Co-Mn Phosphate показав специфічну ємність 943,68 C/g при 3 мВ/с та 859,08 C/g при 1,2 А/g (на 2,53 рази більше, ніж у Co-Mn Phosphate). Піддаючись гібридній конфігурації батареї-суперконденсатора як позитивного електродного матеріалу, цинконізований Co-Mn Phosphate продемонстрував специфічну ємність 490,36 C/g, із винятковою специфічною енергією та потужністю 115,78 Вт·г/кг та 1190 Вт/кг відповідно при вартості 1,4 А/g. Зокрема, пристрій показав надзвичайну витривалість, надаючи 84,39 Вт·г/кг (72,89% від максимуму) та виняткову густиною потужності 4250 Вт/кг при 5,0 А/g. Крім того, гібридний пристрій продемонстрував збереження ємності на рівні 96,92% з аналогічними провідними характеристиками після 4000 циклів. Симуляція електрохімічних результатів показала ємнісний внесок на рівні 35,51% при 5 мВ/с, який збільшується до 71,12% при 100 мВ/с.

Згідно з дослідженням [26] для забезпечення ефективної роботи компонентів мікромережі постійного струму: сонячний батарейний масив, ПЕМТК, батарейний банк літій-іонних акумуляторів та суперконденсатор, необхідні стратегії управління енергією (EMS). EMS розподіляє навантаження між цими компонентами з урахуванням високої ефективності та низького споживання H<sub>2</sub>. Ефективний EMS, використовуючи метод оптимізації білуги (BWO), був розроблений для розподілу навантаження в мікромережі постійного струму. Для порівняння з запропонованим BWO розглядалися методи керування ковзним режимом (SMCS), класична стратегія мінімізації еквівалентного споживання (ECMS) та інші алгоритми оптимізації, такі як оптимізатор білухи (WSO), оптимізація захоплення морських риб (MRFO), оптимізатор яструбів Гарріса (ННО), скоро орел пошуку (BES) та штучний алгоритм колібрі (АНА). Результати підтверджують перевагу ECMS на основі BWO, зменшуючи споживання водню на 37,67 %, 46,4 %, 25,5 %, 32,58 %, 12,94 %, 12,1 % та 9,67 % у

порівнянні з SMCS, ECMS, WSO, MRFO, ННО, BES та АНА відповідно. Крім того, ефективність зросла на 4,4 %, 13,49 %, 5,24 %, 10,51 %, 0,95 %, 4,52 % та 0,32 % у порівнянні з SMCS, ECMS, WSO, MRFO, ННО, BES та АНА відповідно.

### Фотоелектричні батареї різних типів

Фотоелектричні батареї можуть бути різних типів, в залежності від матеріалів та технологій, що використовуються. Ось кілька типів фотоелектричних батарей:

Кремнієві (кристалічні) сонячні батареї: Найбільш поширений тип фотоелектричних батарей. Вони виготовляються з кристалічного кремнію і можуть мати моно- або полікристалічну структуру.

Тонкі плівкові сонячні батареї: Ці батареї виготовляються шляхом нанесення тонких шарів фоточутливого матеріалу на підкладку, таку як скло або пластик.

Перовскитні сонячні батареї: Вони використовують перовскитні матеріали, що володіють високою ефективністю приведення сонячного світла в електричну енергію.

Аморфні сонячні батареї: Вони виготовляються шляхом нанесення тонких шарів аморфного кремнію або інших матеріалів на підкладку.

Мультикристалічні сонячні батареї: Це гібридний тип, який поєднує переваги моно- і полікристалічних батарей.

В дослідженні [27] запропоновано певну комбінацію гібридних сонячних батарей на основі кремнію з додаванням срібних наночастинок, де властивості батареї покращуються завдяки плазмонному ефекту срібних наночастинок. срібні наночастинок спричиняють затінення, що зменшує активну поверхню елемента і, отже, знижує ефективність батареї. Тому існує оптимальне розподілення на поверхні срібних наночастинок, щоб скористатися локалізованим ефектом поверхневого плазмонного резонансу, не затінюючи при цьому значну кількість батареї та не зменшуючи активну

поверхню елемента, що оцінюється у цьому дослідженні. Відповідно, додавши срібні наночастинки із розчину з концентрацією 50%, ефективність гібридної кремнієвої батареї досягла 3,7%.

Основна мета огляду [28] – оцінити поточні дослідження оцінки життєвого циклу (LCA), проведені на тонкоплівкових сонячних батареях, виділивши ключові параметри, які враховуються, включаючи етапи життєвого циклу, категорії впливу та географічні місця. Це включало як комерційно доступні тонкоплівкові сонячні батареї (a-Si, CIGS, CIS, CdTe, GaAs та GaAs тандемні), так і нові (PSC, PSC тандем, DSSC, OPV, CZTS, QD). Була проведена критична оцінка результатів 58 досліджень LCA і порівняно з традиційними силіцієвими сонячними батареями. Результати показують, що нові тонкоплівкові сонячні батареї мають великі перспективи, оскільки вони тенденційно видаються кращими, ніж комерційно доступні, за визначеними показниками, особливо для CZTS та OPV.

У дослідженні [29] електронні, оптичні та фотоелектричні властивості двох подвійних перовскітів були визначені, представлені та інтерпретовані за допомогою перших принципів обчислень. Розрахунки ґрунтувалися на загальному градієнті Пердю, Берка та Ернцгергофа та модифікованому Беке-Джонсону Транса-Блахи в рамках теорії функціоналу густини. Кількості, що передбачають використання подвійних перовскітів у фотовольтаїці, такі як зовнішня квантова ефективність, напруга на відкритому колі та короткі замкнуті струми, були розраховані. Ці кількості були розраховані на основі оптичних властивостей, зокрема діелектричної функції, відбивності та коефіцієнта поглинання. На основі електронних властивостей значення щілин були отримані з використанням ТВ-mBJ і складають 2,13 eV та 1,65 eV, відповідно для Cs<sub>2</sub>AgBiBr<sub>6</sub> та Cs<sub>2</sub>AgSbBr<sub>6</sub>, тоді як отримані значення з використанням GGA-PBE становлять 1,48 eV та 1,07 eV. Зміни в зовнішній квантовій ефективності та оптичному коефіцієнту поглинання показують суттєву еволюцію навколо діапазону енергій, які складають видимий спектр.

Це робить їх перспективними матеріалами для промисловості фотовольтаїки. Ми будемо застосовувати різні значення тиску, від 0 до 30 ГПа, до наших структур, щоб отримати покращене розуміння впливу тиску на функцію втрат енергії.

У дослідженні [30] було досліджено подвійний металевий плазмонний задній відбивач. Спроектований подвійний металевий плазмонний задній відбивач може покращити фотострум та, отже, ефективність. Спочатку був проаналізований подвійний шар  $\text{SiO}_2 / \text{Si}_3\text{N}_4$  як антирефлексійний (AR). Ефективності 8,74%, 11,38%, 12,53% та 13,04% отримані для батареї без AR, з  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  та  $\text{SiO}_2 / \text{SiN}$  4 шарами AR, відповідно. Був розроблений задній плазмонний відбивач на основі диска-кільця та подвійних кілець з Ni та Ti. Дослідження було проведено методом 3D скінченних різниць у часовій області, і оптимізовані параметри були розраховані для отримання вищої ефективності. Нарешті, для оптимізованої структури з подвійним заднім відбивачем з кільцями з Ni було досягнуто відносно вищий фотострум та коефіцієнт перетворення енергії в 19,86мА/см<sup>2</sup> та 15,65%, відповідно.

У дослідженні [31] обговорювалися ефективність сонячних елементів та електричні параметри продуктивності, такі як Rsh. Виявлено, що Rsh має великий вплив на ефективність сонячних елементів з кількома шинами, і середній коефіцієнт перетворення сонячної енергії сировини, вирощеної з компактним шаром нуклеації, на 0,11% вище, ніж у сировини, вирощеної звичайним шаром нуклеації.

Інтелектуальні пристрої керування сонячними енергетичними установками, розумні зарядні пристрої.

Інтелектуальні пристрої керування сонячними енергетичними установками відіграють важливу роль у забезпеченні оптимальної ефективності та надійності сонячних систем. Ці пристрої використовуються для моніторингу та керування енергетичними параметрами сонячних

панелей, щоб забезпечити максимальний збір сонячної енергії в будь-яких умовах.

Розумні зарядні пристрої також є важливою частиною сонячних енергетичних систем. Вони забезпечують оптимальне заряджання акумуляторів або батарей за допомогою сонячних панелей, а також можуть мати функції керування зарядом, захисту від перенапруги та енергоефективності.

Ці дві технології спільно допомагають максимізувати використання сонячної енергії, забезпечуючи оптимальне функціонування сонячних установок і збільшуючи їхню корисність у різних умовах використання.

Робота [32] зосереджена на всебічному огляді різноманітних методів відстеження точки максимальної потужності (MPPT) для сонячних фотоелектричних (PV) елементів. Метою MPPT є вилучення максимальної потужності з сонячного масиву PV для ефективного задоволення потреб навантаження. В роботі порівнюються різні методи MPPT, включаючи Perturb and Observe (P & O), Fuzzy Logic Control (FLC), Incremental Conductance (IC), Ripple Correction Control (RCC), Artificial Neural Network (ANN), Particle Swarm Optimization (PSO), Lyapunov Control Scheme (LCS) та Fisher Discrimination Dictionary Learning (FDDL). Продуктивність методів MPPT оцінюється за різних умов, таких як вплив затінення, рівні іррадіації тощо. Результати дослідження показують, що кожен метод MPPT має свою важливість у вилученні максимальної потужності з джерела, і вибір залежить від конкретних вимог розумних енергетичних систем.

В дослідженні [33] запропонована нова інтелектуальна схема зарядки, яка максимізує якість користування (ICMQU), призначена для мобільної зарядки. Ця схема може покращити якість користування як для одного, так і для кількох зарядних пристроїв. Теоретичний аналіз та обширні результати симуляцій надаються для оцінки продуктивності схеми ICMQU.

### **1.3. Формування специфікації вимог до ПЗ системи дистанційного керування автоматизованою сонячною мобільною станцією для зарядки портативних енергоресурсів**

#### **1.3.1. Призначення та межі проекту.**

Призначення застосунку, для якого розробляється програмне забезпечення. Програмне забезпечення розробляється для керування розгортанням системи на відстані через Bluetooth. Це потрібно, щоб уникнути незручностей через розгортання лінзи, а також, щоб отримати попередження в випадку, якщо розгортання може викликати проблеми (швидкість вітру більше рекомендованої, що може викликати вітрильний ефект).

Межі проекту ПЗ. Програмне забезпечення має бути оптимізовано для використання в системі android через телефон, або в системі Windows чи Linux через ноутбук або планшет.

#### **1.3.2. Загальний опис.**

Сфера застосування. Проект призначений для забезпечення можливості мобільної підзарядки портативних енергоресурсів від енергії сонця. Для цього на апаратному рівні застосовується концентратор, що являє собою надувну прозору лінзу з автоматичним міні-насосом.

Характеристики користувачів. Користувачами можуть бути туристи, або звичайні користувачі, що потребують засобу підзарядки гаджетів в дорозі. Крім того така система може стати в нагоді в умовах блекаутів, а окремий її компонент – лінза може бути використана для приготування їжі по принципу сонячної каструлі.

Загальна структура і склад системи:

Лінза закріплена на корпусі розкладної туристичної сонячної батареї та в складеному вигляді виконує роль чохла. При активації дистанційного керування активується насос, що здійснює накачку надувної лінзи Френнеля.

Відповідно до своєї форми лінза займає положення перед батареєю так, щоб концентрувати на її поверхні сонячне випромінювання, але не в точці фокуса, а так щоб зона концентрації співпадала з площею фотоелемента.

Загальні обмеження. Проект дозволяє отримати нормальний рівень зарядки від туристичної сонячної батареї в зимовий період, але має обмеження на силу вітру в 15м/с через вітрильність лінзи. Тому одним з компонентів має бути система, що звіряється з завантажуваними даними (завантаження прогнозу на довгий термін бо передбачається автономне використання) про погоду і в випадку їх відсутності чи перевищення показників швидкості вітру чи наявності дощу виводить вікно підтвердження чи відміни операції з розгортання.

### **1.3.3. Функції системи:**

Функція 1. Завантаження та збереження даних прогнозу погоди при наявності доступу в інтернет з певною частотою.

- Ідентифікація користувача;
- запит до користувача на дозвіл завантажити дані прогнозу погоди;
- перевірка наявності доступу в інтернет;
- завантаження даних;
- періодичні самоперевірки на кількість днів прогнозу, якщо їх менше встановленого ліміту, повторний запит на завантаження.

Функція 2. Звірка даних прогнозу з часом та датою.

- Звернення до архіву;
- звірка дати і часу на телефоні;
- перевірка швидкості вітру та наявності опадів;
- при заданих показниках попередження, при нормі запуск системи розгортання.

Функція 3. Запуск системи розгортання.

- Отримання сигналу;



- блокування клапану;
- запуск насоса.

Функція 4. Запуск системи згортання.

- Отримання сигналу;
- розблокування клапана на лінзі для спуску повітря;
- 20 секунд очікування для спуску тиску;
- запит користувачу для складання батареї;

#### **1.3.4. Вимоги до інформаційного забезпечення.**

Джерела і зміст вхідної інформації (даних). Джерелами вхідної інформації є завантажувальний зміст архіву погоди та сигнал про відповідь користувача на запит/активацію функції згортання чи розгортання.

Нормативно-довідкова інформація. В ході розробки необхідно користуватись інформацією щодо потужності потоку сонячного випромінювання [34] для планування розміру лінзи. Крім того з тією ж метою застосовується довідкова інформація щодо оптичних властивостей лінз [35], щоб підібрати оптимальну форму та відстань до фокусу.

Вимоги до способів організації, збереження та введення даних. Так як передбачається автономна робота, зібрані дані про прогноз погоди мають бути доступні на тривалий період. Крім того необхідно передбачити можливість користувача приймати рішення самостійно з урахуванням неправильності даних, або їх тривалої відсутності. З тієї ж причини автономності активація запитів відбувається через Bluetooth, а не інтернет.

#### **1.3.5. Вимоги до технічного забезпечення.**

Для реалізації проекту потрібні:

- прозора надувна конструкція певної форми (лінзи Френнеля);
- малопотужний насос;
- автоматичний клапан на лінзі;

- датчик тиску BMP 180;
- програмна плата Arduino UNO;
- bluetooth-модуль;
- сонячна батарея (Або двигун Стирлінга);
- акумулятор (краще суперконденсатор, але в реальності це будуть літій-іонні батареї);
- контроллер заряду акумулятора;
- підвищувач напруги від акумулятора до обладнання;
- реле для контролю насоса.

### **1.3.6. Вимоги до програмного забезпечення:**

Архітектура програмної системи:

Програмне забезпечення розроблено для керування розгортанням системи на відстані через Bluetooth. Це дозволяє уникнути незручностей через розгортання лінзи та надає попередження у випадку можливих проблем, таких як швидкість вітру більше рекомендованої, що може викликати вітрильний ефект.

Системне програмне забезпечення:

Програмне забезпечення оптимізовано для використання в системі Android через телефон, або в системі Windows чи Linux через ноутбук або планшет.

Мережне програмне забезпечення:

Проект реалізується з можливістю підключення до Інтернету для завантаження та збереження даних прогнозу погоди з певною частотою.

Програмне забезпечення ведення інформаційної бази:

Система здійснює ведення та зберігання даних прогнозу погоди, що використовуються для подальшої звірки та аналізу.

Мова і технологія розробки ПЗ:

Розробка програмного забезпечення здійснюється з використанням мови програмування C++ для платформ Windows, Linux та Android. Для апаратної частини використовуватиметься скетч Arduino.

### **1.3.7. Вимоги до зовнішніх інтерфейсів:**

Інтерфейс користувача:

Інтерфейс користувача буде створений з урахуванням простоти та зручності використання для кінцевих користувачів. Він включатиме інтуїтивно зрозумілі елементи керування, такі як команди для активації та деактивації системи, індикатори стану та повідомлення про поточний стан роботи.

Апаратний інтерфейс:

Програмне забезпечення буде взаємодіяти з апаратним обладнанням, таким як Bluetooth-модуль для забезпечення бездротового зв'язку з телефоном або іншими пристроями, а також з сенсорами для вимірювання погодних умов. Вхідні сигнали на обладнання будуть оброблятися мікроконтролером Arduino.

Програмний інтерфейс:

Програмний інтерфейс буде забезпечувати доступ до функцій системи для автоматичного збору даних про погоду, звірки цих даних з заданими параметрами та керування розгортанням та згортанням лінзи.

Комунікаційний протокол:

Для забезпечення взаємодії між програмним забезпеченням та апаратним обладнанням, а також для обміну даними з іншими пристроями, буде використовуватися стандартний протокол Bluetooth. Це дозволить забезпечити надійний та безпечний обмін даними між різними компонентами системи.

### **1.3.8. Властивості програмного забезпечення.**

**Доступність:** Програмне забезпечення повинно бути легко доступним для користувачів через магазини додатків або інші онлайн-платформи. Користувачі повинні мати можливість швидко завантажувати та встановлювати програму на свої пристрої.

**Супроводжуваність:** Розроблене програмне забезпечення має бути підтримуваним та оновлюваним. Регулярні оновлення та виправлення помилок повинні бути доступними для користувачів через автоматичні оновлення або ручне завантаження.

**Переносимість:** Програмне забезпечення повинно бути сумісним з різними операційними системами, такими як Android, Windows і Linux. Це дозволить користувачам використовувати програму на різних пристроях без обмежень.

**Продуктивність:** Програмне забезпечення має працювати ефективно і швидко, забезпечуючи користувачам зручний та швидкий доступ до всіх функцій. Воно повинно мати оптимізований інтерфейс користувача та оптимізовані алгоритми обробки даних.

**Надійність:** Програмне забезпечення повинно бути стабільним та надійним у роботі. Воно повинно ефективно відновлювати роботу в разі виникнення помилок або збоїв, а також забезпечувати збереження даних користувачів.

**Безпека:** Програмне забезпечення повинно мати захищений доступ до даних користувачів, шифрування даних та інші заходи безпеки для запобігання несанкціонованому доступу до інформації. Також воно повинно враховувати заходи безпеки під час передачі даних через мережу Bluetooth.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

1. Розглянуто явище фотоефекту та основні принципи дії сонячних енергетичних установок, включаючи їх ККД.

2. Проведено огляд сучасного стану технологій в напрямку сонячної енергетики, спираючись на основні тенденції розвитку патентної справи в напрямках отримання енергії, її зберігання та керування такими системами.

3. В науковій періодиці відмічено особливу увагу до лінз Френнеля в якості концентратора, суперконденсаторів як аккумуляторів та двигунів Стирлінга в якості енергетичної установки.

4. Сформульовано специфікацію та вимоги до програмного та апаратного забезпечення проекту.

Як результат в розділі теоретично обґрунтовано основну базу проекту, найперспективніші технічні рішення для його реалізації та принципи їх дії.

## **2 АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ПОРТАТИВНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ**

### **2.1. Алгоритм та функціональна схема автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів**

Автоматизація портативних сонячних станцій, на відміну від стаціонарних є досить спірним питанням, адже інтеграція додаткових елементів обладнання в компакту переносну конструкцію впливатиме на її ергономічність. Крім того, основним елементом автоматизації стаціонарних систем є їх поворот за напрямком сонця. Проте, туристична сонячна батарея, що згортається подібно до карти, не може мати таких функцій і не потребує їх.

В такому випадку предметом автоматизації має виступати інша частина конструкції. В нашому випадку це система згортання та розгортання надувної лінзи, яка фокусуватиме на даній батареї сонячне випромінювання з значної площі.

Потреба існування такої конструкції обумовлена технікою безпеки. З одного боку, конструкція може нанести деякі незручності в процесі розгортання, тому правила роботи з нею нагадують правила експлуатації надувних засобів низького тиску та регулюються ДСТУ EN 71-1:2006 Безпечність іграшок: Частина 1. Механічні і фізичні властивості. Це обумовлено загрозою травм чи удушування при їх руйнуванні близько до обличчя. Для дорослої людини загроза при розгортанні лінзи є мінімальною, але все ж вартою розробки, а от з системою згортання все інакше.

В момент роботи великої лінзи в точці фокусу виникає температура, цілком здатна викликати опіки, тому дистанційне згортання лінзи перед складанням конструкції є обов'язковим.

Відповідно інтеграція насоса та клапана малих розмірів є достатньо корисним доповненням в плані експлуатаційної надійності, щоб пожертвувати невеликою втратою ергономічності від їх додавання.

Розроблена конструкція базується на двох складових – апаратній та програмній. Апаратна складова полягає в поєднанні полікристалічної гнучкої сонячної батареї з суперконденсатором в якості акумулятора, програмною платою Ардуїно з Bluetooth-модулем для передачі сигналу та насосу і клапана, що отримують сигнали від даної плати для розгортання та згортання надувної лінзи низького тиску (Рис 2.1).

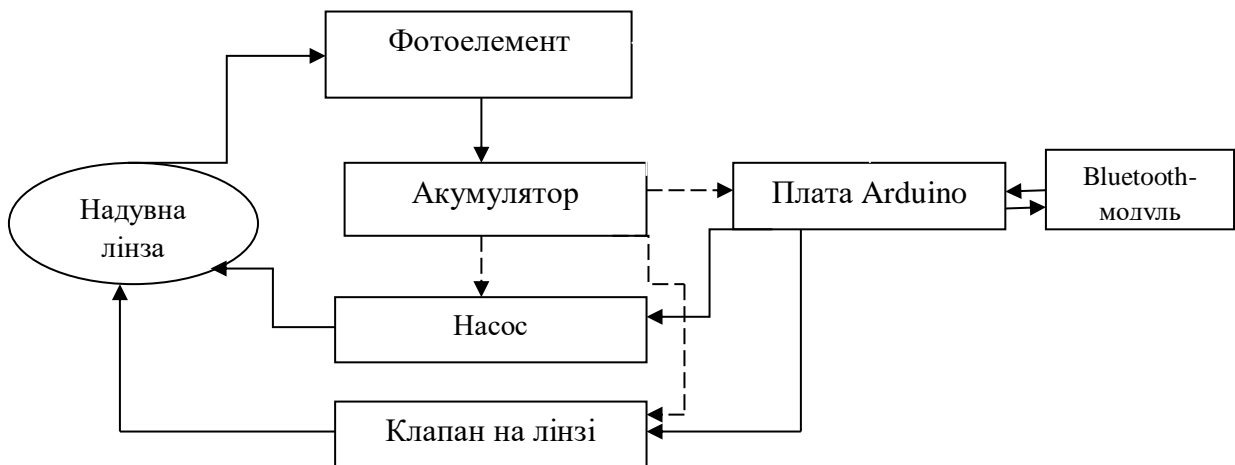


Рисунок 2.1– Блок-схема автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів

Найближчим аналогом даної розробки є надувні увігнуті дзеркала для стаціонарних систем від Eсо company та патентів на зразок № CN101640502A, що розкриває «Спосіб збирання масиву конденсорних фотоелектричних сонячних елементів», де сонячне світло поширюється на фотоелектричну панель через лінзу, так що фотоелектрична панель меншої площі може отримувати сонячне світло, отримане з лінз більшої площі.

Основною перевагою такої конструкції є збереження ергономічності при додаванні можливостібору енергії сонячного випромінювання з значно більшої площі без додаткових фотоелементів.

Крім того, при масовому виробництві надувні лінзи з прозорого матеріалу будуть значно дешевшими за свої скляні аналоги, хоча і поступатимуться в оптичних характеристиках, проте це можна вирішити резервуванням додаткових розмірів.

В програмному плані алгоритм функціонування автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів базуватиметься на поєднанні програм, що здійснюють керування з мобільного пристрою та скетчів для Ардуїно, що приймають сигнал та передають безпосередні команди на обладнання (Рис 2.2).

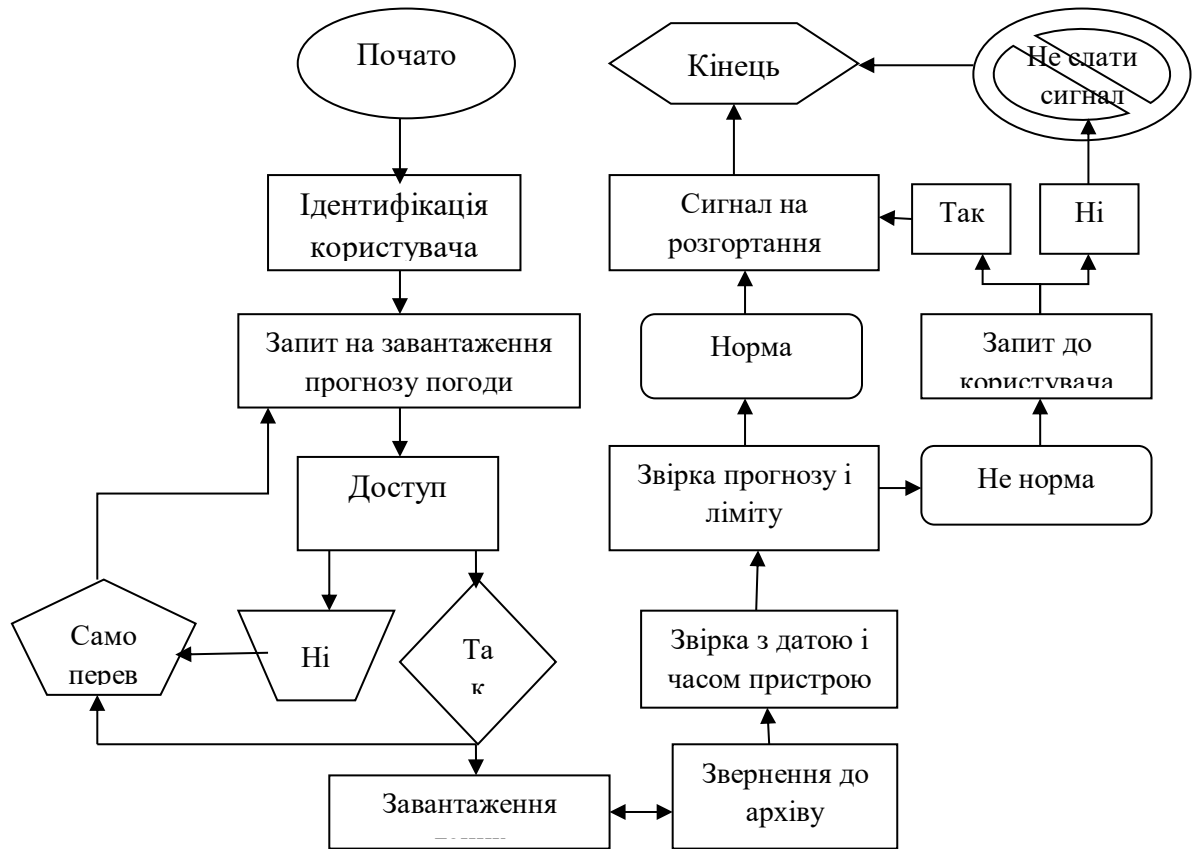


Рисунок 2.2 – Схема алгоритму роботи системи керування

Як видно з схеми, в алгоритмі виділяється чітко два компонента – алгоритм завантаження даних про погоду для попередження користувача при подачі сигналу на розгортання панелі та сам алгоритм передачі сигналу.

Основною функцією такої системи є забезпечення можливості при відсутності інтернету та вимірювальних засобів здійснювати попередження



користувача про небажаність розгортання при несприятливій швидкості вітру.

В той же час необхідно збереження можливості підтвердити свій намір на розгортання, адже прогноз не завжди є вірним.

З моменту передачі сигналу в дію вступає апаратна частина, де виконується алгоритм розгортання (Рис 2.3).

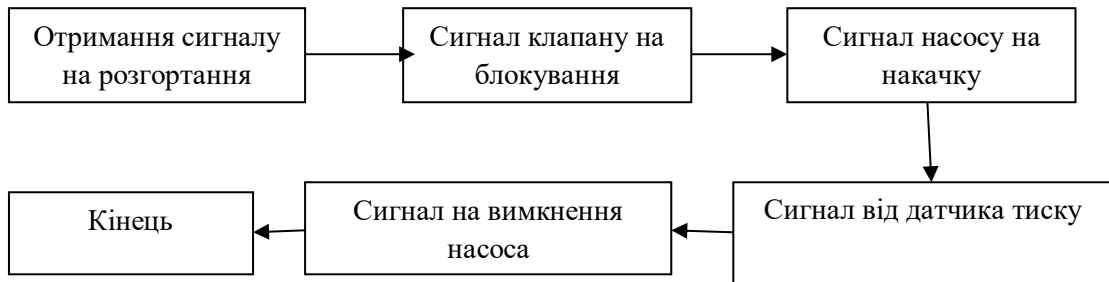


Рисунок 2.3 – Алгоритм роботи системи розгортання

Як видно з схеми, апаратна структура системи розгортання є максимально примітивною та вимагає передачу 3 сигналів, два з яких йдуть до насоса та отримання одного, тобто на реалізацію такої системи буде зайнято 2 піни.

Система згортання (Рис 2.4) звертається лише до клапана.

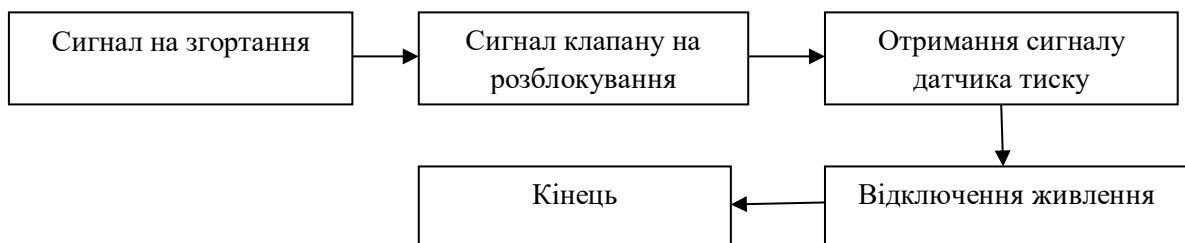


Рисунок 2.4 – Алгоритм згортання

Як видно з схеми, даний процес є на одну операцію коротшим та передбачає здування лінзи після розблокування клапана та відключення живлення пристрою для ручного згортання. Початково планувалось додати в цю схему лебідку, що витискатиме зайве повітря та згортатиме систему, але її вартість виявилась більшою за сумарну вартість всіх інших компонентів, тому її виключили.

Відповідно, основним компонентом станції є не сама сонячна панель чи акумулятор, а саме система керування лінзою. Це обумовлено тим, що при розміщенні в її фокусі двигуна стирлінга ми отримуємо все той же сонячний генератор енергії, а при розміщенні каструлі чи казанка чорного кольору навіть можливість без паливного приготування їжі в польових умовах.

## 2.2. Моделювання фізичних принципів функціонування системи та обумовлених ними апаратних вимог.

Перш за все, при оцінці ефективності розробленої конструкції варто орієнтуватись на такі показники, як кількість отримуваної енергії з площі для визначення потужності відносно потреб зазначених акумуляторів та на вітрильність лінзи, як фактор, що обмежує експлуатацію в вітер.

Для визначення приходу енергії було проведено математичне моделювання на основі даних, представлених аспіранткою кафедри екології Случак Оленою, яка розраховувала їх лише для 8 місяців вегетаційного періоду річкової екосистеми, щоб потім рахувати прихід енергії для фотосинтезу.

Отримавши вихідну таблицю даних,

Таблиця 2.1 – Потужність сонячного випромінювання біля поверхні землі в північній півкулі, Вт/м<sup>2</sup>

Місяць	Широта місцевості									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Січень	242	200	154	104	54	21	1	1	1	1
Лютий	255	221	179	133	83	42	8	1	1	1
Березень	266	250	221	183	141	91	46	13	1	1
Квітень	263	263	255	234	204	162	117	71	24	5
Травень	245	263	271	266	255	229	192	150	120	96

Червень	229	258	275	284	279	266	245	216	196	196
Липень	225	255	275	284	284	263	250	221	208	203
Серпень	237	258	263	271	258	241	208	167	133	125
Вересень	255	263	258	242	213	179	133	88	42	16
Жовтень	263	250	229	196	154	109	63	21	1	1
Листопад	255	225	188	146	96	50	16	1	1	1
Грудень	242	242	204	157	109	63	21	1	1	1
Середнє	248	242	227	204	162	138	106	79	60	53

Це дає нам ряд графіків, що наочно демонструють зміну поступання енергії протягом року для всіх широт (Рис 2.3).

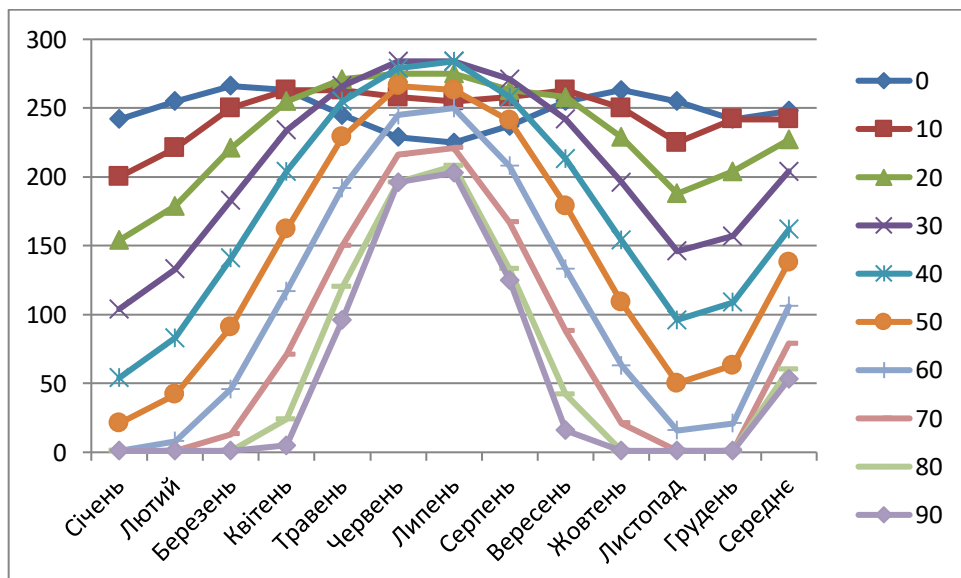


Рисунок 2.3 – Потужність сонячного випромінювання біля поверхні землі в північній півкулі, Вт/м<sup>2</sup>

Для розрахунків, аналогічно з колегою, що надала ці дані, було використано CurveExpert та отримано ряд графіків типу (Рис 2.4.).

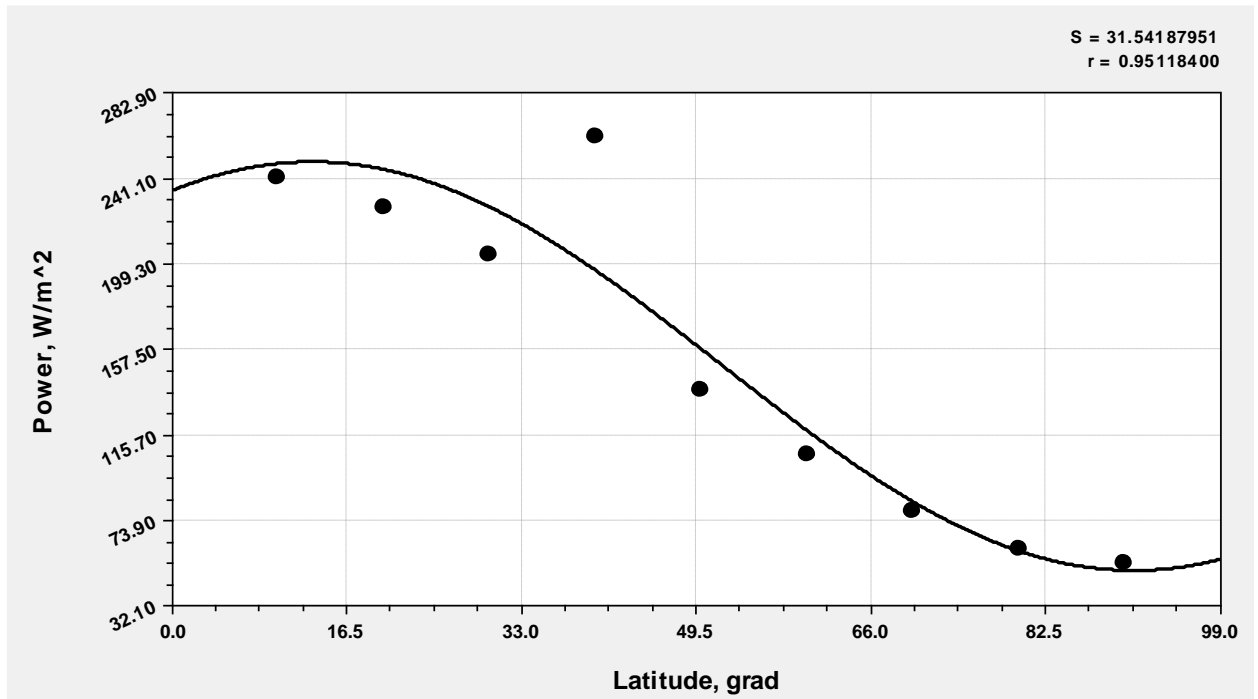


Рисунок 2.4 – Залежність потужності від широти за середніми показниками

В логах програми вказано:

Sinusoidal Fit:  $y=a+b*\cos(cx+d)$

Coefficient Data:

$a = 1.49346429193E+002$

$b = 9.98783866320E+001$

$c = 4.04899676343E-002$

$d = -5.36262327075E-001$

Що дає нам синусоїдну функцію. Повтор цього процесу для кожного з місяців та кожної з широт з відкиданням аномалій дозволив вивести функцію де  $r$  становить не 0,95, а 0,99, що дозволяє прогнозувати кількість енергії для кожного місяця окремо.

$$E = a + b \cdot \cos(c \cdot L + d), (2)$$

Виведені нашою колегою коефіцієнти до цієї функції для 8 місяців вегетаційного періоду було просто доповнено тими місяцями, що лишилися (Табл. 2.2):

Таблиця. 2.2 – Коефіцієнти функції надходження енергії сонця по широтам

Місяць	a	b	c	d
Березень	131,272	133,379	0,036	0,086
Квітень	121,77	144,08	0,032	-0,283
Травень	174,44	99,04	0,037	-0,8099
Червень	239,595	45,788	0,055	-1,774
Липень	244,243	41,52	0,058	-1,957
Серпень	191,744	81,367	0,041	-1,029
Вересень	102,213	160,82	0,029	-0,09385
Жовтень	129,195	133,909	0,036	0,3826
Листопад	131,666	137,609	0,034	0,4659
Грудень	120,272	127,246	0,039	0,0767
Січень	175,853	184,365	0,027	1,1872
Лютий	140,699	147,622	0,032	0,6754

Миколаїв знаходиться на  $46^{\circ}57'57''$  північної широти. Так як, на відміну від колеги нам не потрібно розраховувати річний прихід енергії на стаціонарну точку, а треба мати уявлення про місячний потенціал, ми розрахуємо прогноз на основі отриманої формули. (Так як хвилини і секунди є 60-тими долями, а розходження параметрів на таких величинах не надто велике, можемо брати за основу 47 градусів північної широти.

Підставивши дані в функцію в програмному пакеті Microsoft Excel, отримуємо графік (Рис 2,5) який характеризує прогнозну динаміку по потужності сонячного випромінювання на метр квадратний для Миколаєва.

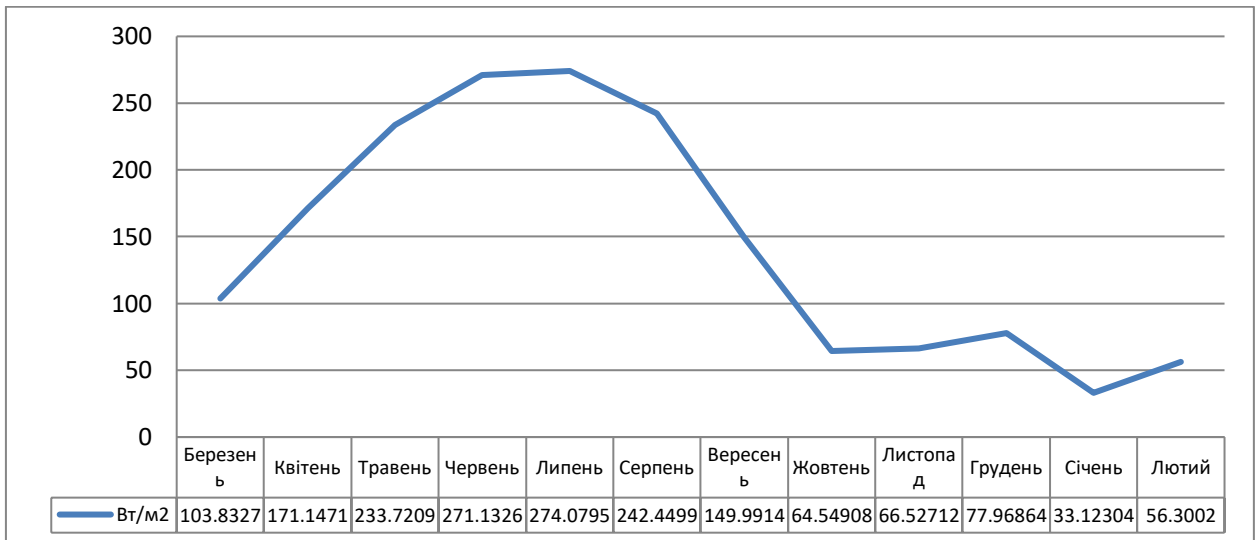


Рисунок 2.5 – Прогноз по потужності сонячного випромінювання протягом року для Миколаєва Вт год на м<sup>2</sup>.

Але це ресурс, який фотоелектричні панелі перетворюють з певною ефективністю на електрику. Відповідно, щоб отримати прогноз по потенційному виходу енергії потрібно домножити ці цифри на ККД відповідних енергетичних установок. Отримуємо графік (Рис 2.6), що демонструє потенційний вихід енергії для стандартної фотоелектричної панелі з ККД 17%.

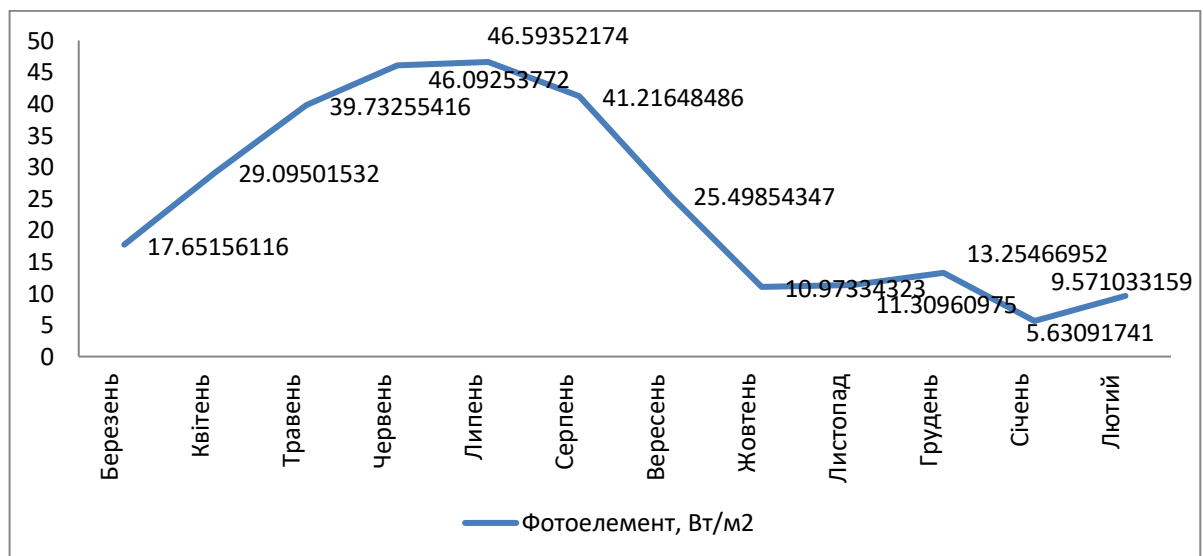


Рисунок 2.6 – Прогнозований вихід енергії з 1 м<sup>2</sup> панелей.

Це означає, що коли виробник вказує заявлену потужність в  $130 \text{ Вт/м}^2$  це не номінальна, а максимальна потужність в піковий час. Для цього на панель має подаватись  $130/0,17 \text{ Вт}$  сонячного випромінювання, що дає нам  $764,71 \text{ Вт/м}^2$  максимально можливої потужності панелі. Цей показник дозволить визначити з якої площі концентрувати енергію для батареї.

Розрахуємо площі для роботи з максимальною інтенсивністю, а також для роботи з інтенсивністю, достатньою для живлення смартфона та ноутбука.

Відомо, що зарядний пристрій має такі параметри: струм 2 ампер, напруга 5 вольт. Це означає, що потужність, яку використовує зарядний пристрій смартфона  $10 \text{ Вт}$  годин, але при ККД зарядного пристрою біля  $0,8$  це буде  $10/0,8=12,5 \text{ Вт}$  годин. За тим же принципом для ноутбука  $3,5 \text{ А}$   $15 \text{ В}$  дає  $52,5 \text{ Вт}$  годин. Це потужність, яку має видавати фотоелемент для того, щоб зарядка за часом займала стільки ж, скільки і від мережі.

Це означає, що площа  $\text{м}^2$  фотоелектричної панелі, потрібна для зарядки смартфона матиме такий розподіл за місяцями (Рис 2.7).

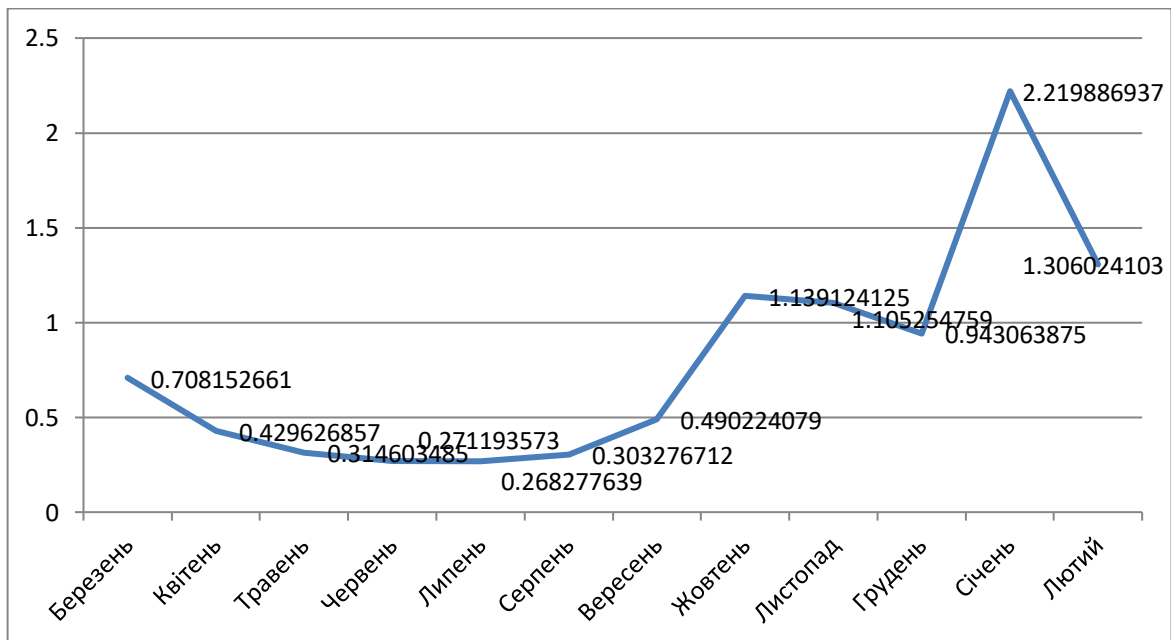


Рисунок 2.7 – Площа фотоелектричної панелі  $\text{м}^2$  для зарядки смартфона.

Бачимо, що затребувана площа коливається від  $0,27 \text{ м}^2$  в Серпні, до  $2,22 \text{ м}^2$  в Січні.

Для ноутбука цей розподіл матиме подібний же вигляд, але з більшими потребами (Рис 2.8).

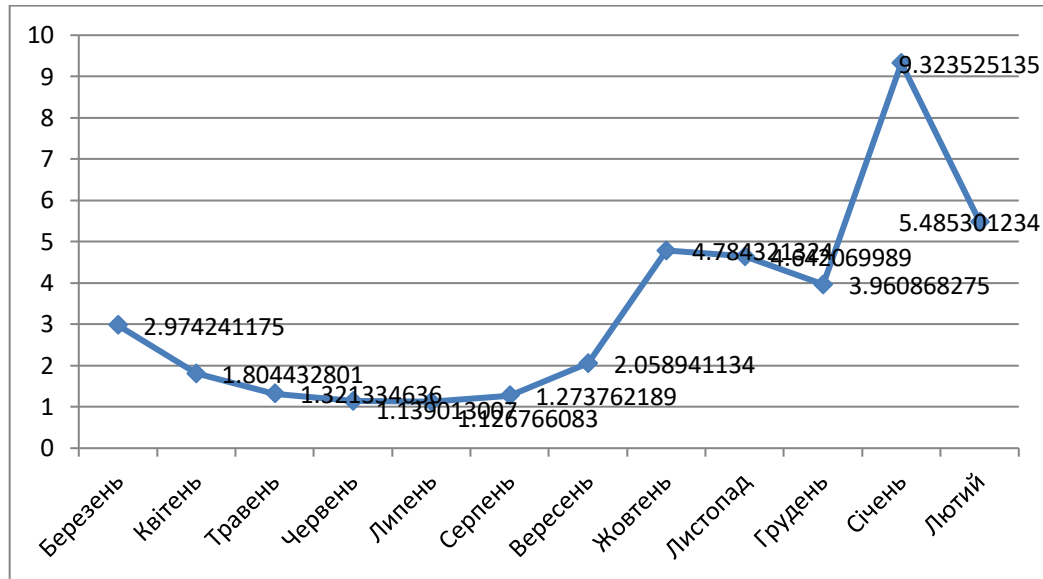


Рисунок 2.8 – Потреби в площі фотоелемента м<sup>2</sup> для зарядки ноутбука.

Тут потрібні площі вже коливаються від 1,13 м<sup>2</sup> в Серпні до 9,32 м<sup>2</sup> в Січні.

В той же час стандартна переносна розкладна туристична сонячна панель з 4 блоків в складеному вигляді має параметри 36 x 19,5 x 3,5 см, що дає площу близько 0,28 м<sup>2</sup>, яка ледве перекриває затребувану площу в пікові літні місяці для смартфона. При цьому її заявлена максимальна потужність 36 Вт годин, що багатократно перекриває потреби для смартфона, але не дотягує до потреб ноутбука. При вазі 1,5 кг, можна додати ще 2 блоки 36 x 19,5, що збільшить площу до 0,42 м<sup>2</sup> та вагу до 2,25 кг та дасть заявлену максимальну потужність в 60 Вт год. Це не означає, що така панель буде здатна видати потрібну потужність в будь-який час, крім заявленого, але без цього застосування концентрування сонячного випромінювання з великої площі не матиме сенсу.

Для отримання вхідної потужності, що на виході дасть 60 Вт год, потрібно сконцентрувати на площі батареї 353 Вт год вхідної сонячної енергії. Отримуємо графік, що визначає потрібні для цього площі (Рис 2.9):



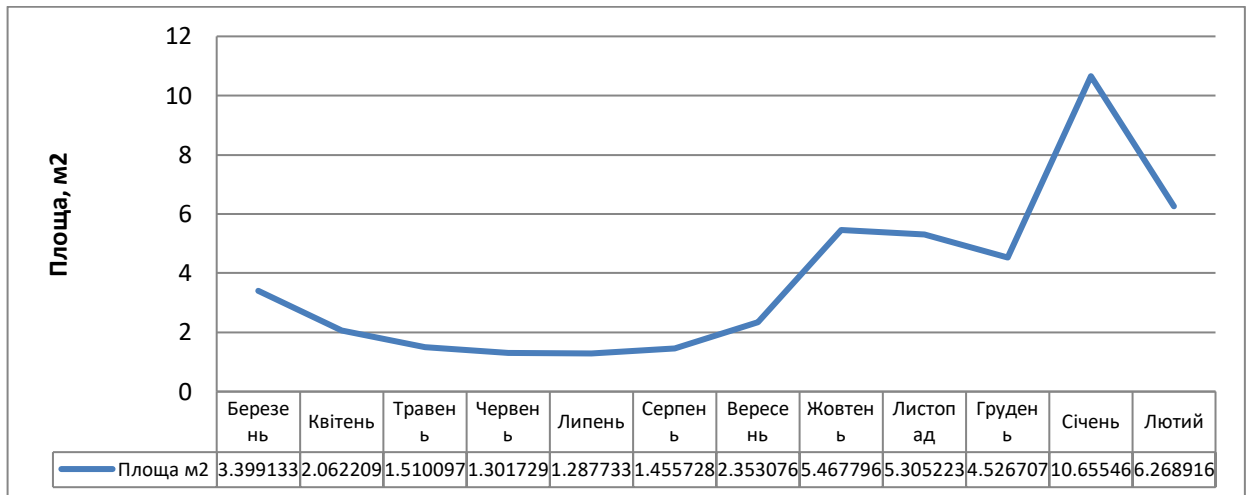


Рисунок 2.9 – Площі, з яких необхідно концентрувати енергію для отримання вхідної потужності

Для отримання максимально універсального результату краще брати максимальну площу та концентрувати потрібний обсяг енергії, регулюючи фокусну відстань, адже батарея розміщується не в фокусі а на потрібній для бажаної інтенсивності випромінювання відстані до фокусної.

Для простоти беремо круглу в поперечному перерізі конструкцію, радіусом 2 м, що дає (3):

$$S = \pi r^2 = 3,14 \cdot 4 = 12,56 \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

Крім радіусу потрібно визначити інші параметри концентратора. Це може бути лінза, або увігнуте дзеркало-геліостат.

Збиральні лінзи – це оптичні елементи, призначені для збирання та фокусування світла з об'єкта на площину. Вони використовуються в різних застосуваннях, включаючи сонячні енергетичні системи, оптичні прилади та дослідницькі установки.

Основна функція збиральної лінзи [36] полягає в тому, щоб збирати паралельні промені світла, які приходять від далекого джерела, такого як сонце, і фокусувати їх в одну точку або на одну площину. Це досягається завдяки оптичним властивостям лінзи, зокрема, її формі та поверхневим характеристикам.

У сонячних енергетичних системах, збиральні лінзи використовуються для концентрації сонячної енергії на певній площі, де розташовані приймачі енергії, такі як сонячні панелі або теплові двигуни. Це дозволяє збирати більше енергії на одиницю площі, що робить систему більш ефективною.

Якщо лінза має за задачу збирати сонячне випромінювання для фотоелемента, то оптимальною формою лінзи може бути конвексна лінза, також відома як збиральна лінза або концентратор. Така форма дозволяє збирати та фокусувати сонячне світло на фотоелементі, забезпечуючи більше світла на площині фотоелемента і, отже, більше енергії для генерації електричної енергії.

Конвексні лінзи мають опуклу форму, що дозволяє їм збирати паралельні промені світла і фокусувати їх в одну точку. Це особливо важливо для сонячних додатків, оскільки дозволяє максимізувати кількість сонячного світла, яке потрапляє на фотоелемент.

Щоб вирахувати фокусну відстань (4) необхідно знати показники заломлення матеріалу лінзи та повітря, а також радіуси кривизни поверхонь.

$$f = \frac{n_0}{(n-n_0) \left[ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-n_0)d}{nR_1R_2} \right]}, \quad (2.2)$$

де  $f$  – фокусна відстань (Рис 2.10),  $n$  – показник заломлення матеріалу лінзи,  $n_0$  – показник заломлення середовища, що оточує лінзу,  $d$  – товщина лінзи (відстань вздовж оптичної осі),  $R_1$  – радіус кривизни поверхні, яка ближча до джерела світла ((+) якщо випукла та (-) якщо увігнута),  $R_2$  – радіус кривизни поверхні далі від джерела світла ((+) якщо увігнута та (-) якщо випукла).

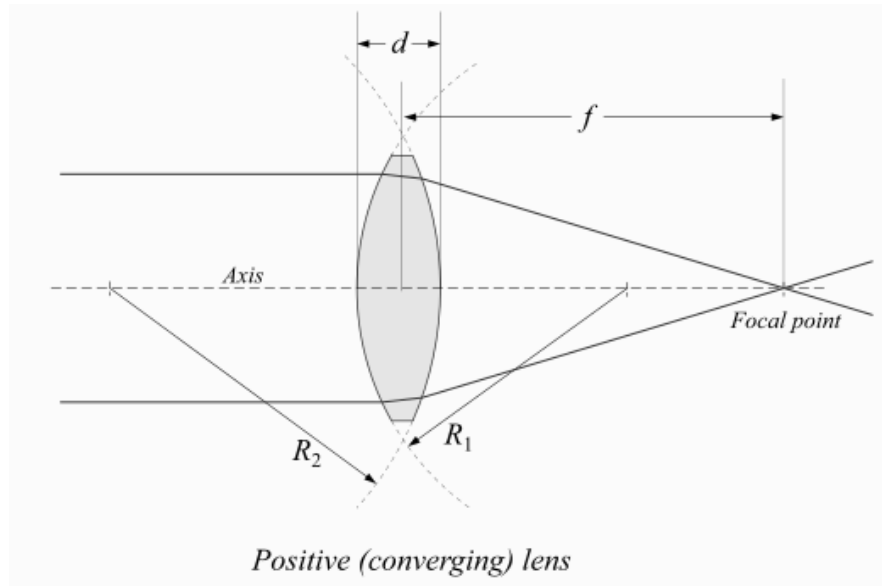


Рисунок 2.10 – Фокусна відстань лінзи.

Для нас це означає, що просто надувна конструкція потрібної форми не може достатньо сфокусувати світло для заявлених цілей. Для цього вона має бути наповнена водою, або газом чи рідиною з інакшим  $n$ , ніж у повітря. Проте, це не допустимо в плані ергономічності.

З цієї ситуації 2 можливих виходи:

Першим є зміна самої концепції фокусування світла, де замість лінзи буде увігнуте дзеркало, реалізоване, шляхом наклеювання на увігнуту надувну конструкцію світловідбивної плівки, подібно до надувних геліостатів від ESO company, але не вигнутих (Рис 2.11).



Рисунок 2.11 – Надувний геліостат

Або наклеювання на вигнуту, дзеркальною стороною всередину, щоб одна сторона лишалась прозорою (Рис 2.12).

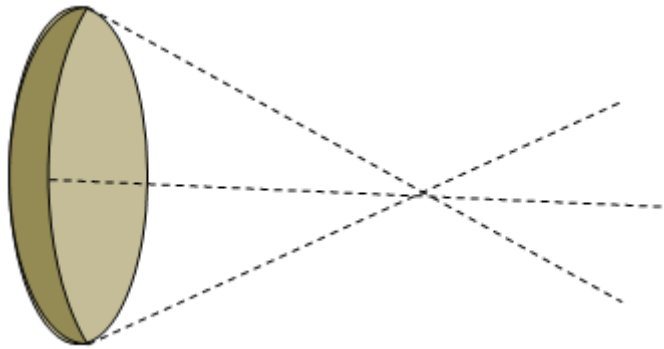


Рисунок 2.12 – Концепція надувного, увігнутого дзеркала-геліостата

Для будь-якого сферичного дзеркала, включаючи параболічне, фокусна відстань дорівнює [37] половині його радіусу (5)

$$f = \frac{R}{2} \quad (2.3)$$

Тоді, для визначення положення, де світло концентрується з  $12,56 \text{ м}^2$  в  $0,42 \text{ м}^2$  потрібна проста пропорція. І того, фокусна відстань для великого дзеркала є рівною 1 м, відстань, де відбувається концентрування всього цього світла в пляму з площею  $0,42 \text{ м}^2$  становить (6) 0,63 м.

$$L = 1 - \sqrt{\frac{s}{\pi}} \quad (2.4)$$

При цьому спрощується виробництво такої конструкції, але виникають проблеми з її розгортанням, так як батарею найкраще фіксувати не на землі, а на висоті навпроти геліостата, щоб максимізувати падіння сонячних променів.

Для збереження первинної, простої в розгортанні концепції потрібно втрутитись лише в структуру надувної лінзи.

Тут допоможе концепція лінз Френеля.

Лінзи Френеля - це тип лінз, який складається з ряду концентричних кілець, подібних до сегментів кола, які зазвичай мають легкий профіль та шляхом свого конструктивного дизайну зменшують вагу та об'єм лінзи. Вони

названі на честь французького вченого Аугустіна Френеля, який спочатку використовував їх у конструкції фар для морського судноплавства.

Основна ідея лінзи Френеля полягає в тому, щоб зменшити товщину та вагу лінзи, зберігаючи при цьому її фокусні властивості (Рис. 2.13). Вони зазвичай виготовляються з пластмаси або акрилу, що робить їх легкими та дешевими для виробництва.

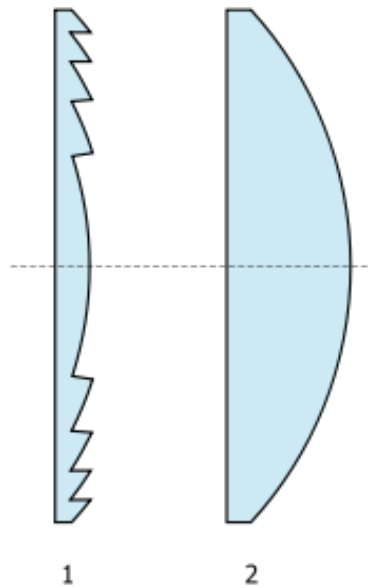


Рисунок 2.13 – Лінза френзеля відносно звичної опуклої лінзи.

Лінзи Френеля використовуються в різних сферах, включаючи сонячну енергію, світлодіодні ліхтарі, оптичні пристрої та інші області. Вони дозволяють збирати та фокусувати світло з великої площі джерела на більшу відстань, що робить їх ефективними для застосувань, де потрібна концентрація світла або енергії.

Впізнати їх можна по концентричним кільцям, що можна бачити в маяках, світлофорах та світломузиці (Рис 2.14).



Рисунок 2.14 – Лінзи Френнеля в світлофорі та маяку

При використанні кільцевих поліетиленових потовщень на надувній лінзі ми отримуємо еквівалент цільної лінзи такого ж розміру.

Розрахуємо фокусну відстань для такої надувної лінзи Френнеля з однаковими радіусами кривизни в 1 м та такою ж товщиною. Для поліетилену  $n$  становить 1,5693 [38] для повітря 1,00028821 [39]

$$f = \frac{1,0003}{(1,5693 - 1,0003) \left[ \frac{1}{4} - \frac{1}{4} + \frac{(1,5693 - 1,0003) \cdot 1}{1,5693 \cdot 1} \right]} \approx 4,85 \text{ м} \quad (2.5)$$

По пропорції для концентрації світла з 12,56 м<sup>2</sup> в 0,42 м<sup>2</sup> потрібно розмістити батарею приблизно на відстані 2,05 м від лінзи.

За використання увігнутих дзеркал чи лінз Френнеля для нагрівання двигуна Стирлінга ми отримуємо ККД в залежності від різниці температур. Так 210,5 Вт/м<sup>2</sup> приходу сонячної енергії при збиранні дзеркальною плівкою відбивається 60-80%. Візьмемо за основу мінімальну цифру. Тоді ККД нагрівача буде 0,6. Поверхня нагрівання має виконуватись чорного кольору з теплопровідного матеріалу, так як його коефіцієнт поглинання тепла становить 80%. Це дає нам ККД підведення енергії сонця 0,48 (1).

Для камери Двигуна Стирлінга, об'ємом в 1л, що працює на повітрі з теплоємністю 1 кДж/кгК прихід тепла становитиме 101,04 Вт/м<sup>2</sup> дзеркала або

363744 Дж, що дасть нагрівання на 364 К/год. За температури 40 °С ми маємо теоретичний ККД в 0,89. Проте, на практиці нещільність таких установок та інші проблеми дають лише половинну ефективність, тому можна розраховувати на ККД 0,45. Крім того ККД електродвигуна, який застосовуватиметься для перетворення енергії обертання в електричну становить близько 0,83. Тому 210,5 Вт/м<sup>2</sup> енергії, що за годину приходить від сонця перетворюються в 38,9-76,9 Вт електричної енергії з ККД 18,5-36,5%.

Відповідно, розраховуючи все по нижній планці ми отримаємо графік (Рис 2,15), що демонструє вихід енергії від двигуна Стирлінга.

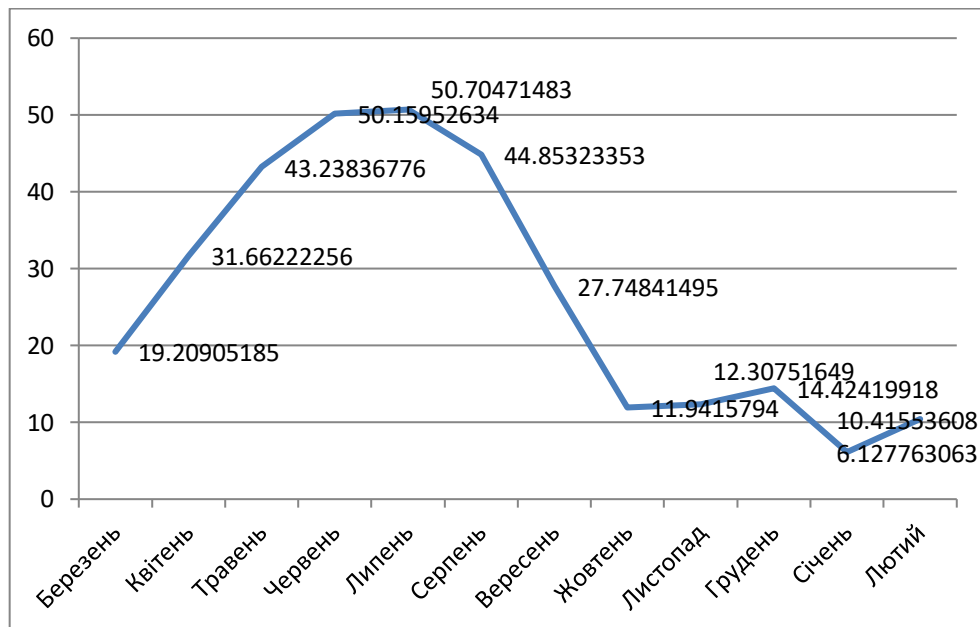


Рисунок 2.15 – Вихід енергії від двигуна Стирлінга

Розраховуючи потрібні площі для живлення смартфона та ноутбука (Рис 2.16),

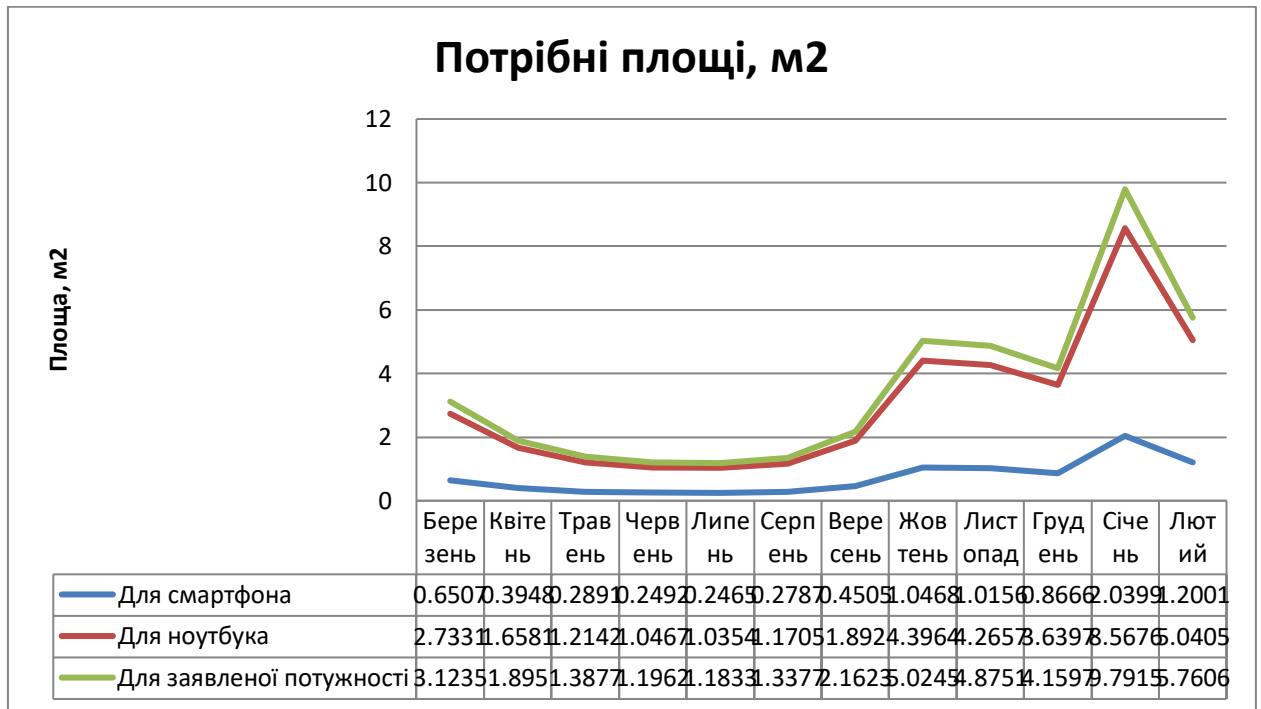


Рисунок 2.16 – Потреба в площі концентратора для зарядки гаджетів

В підсумку, розроблена конструкція має включати надувну конструкцію-концентратор та перетворювач енергії. Яким з вказаних способів це буде реалізовано не має особливого значення, адже система управління не відрізнятиметься.

Відповідно, ми отримуємо такі варіанти:

1. Концентратор світла – надувна конструкція у вигляді двоопуклої лінзи Френнеля з кільцями поліетилену або увігнутого дзеркала-геліостата, утвореного наклеєною на лінзу світловідбивною плівкою.

- Параметри лінзи: радіус – 2 м, товщина – 1 м, радіуси кривизни – 1 м, фокусна відстань – 4,85 м, відстань розміщення фотоелементу – 2,05 м;

- Параметри дзеркала: радіус 2 м, фокусна відстань – 1 м, відстань розміщення фотоелементу – 0,63 м;

2. Перетворювач енергії – фотоелектрична комірка, або двигун Стирлінга.



- Параметри фотоелектричної комірки: Розміри – 6 блоків по 36 x 19,5 x 3,5 см складених в гармошку, площа – 0,42 м<sup>2</sup>, вага – 2,25 кг, заявлена максимальна потужність – 60 Вт год;

- Параметри двигуна Стирлінга: об'єм робочої камери – 1 л, маса до 3 кг, теплообмінник розміщується в точці фокусу концентратора. Розрахункова потужність – 38,9-76,9 Вт·год/м<sup>2</sup>.

### 2.3. Апаратна структура проекту

Реалізація проекту задіює 3 цифрових та 2 аналогових піни на платі Arduino UNO. До аналогового піну A0 підключено аналоговий датчик тиску BMP 180, що визначає, коли тиск в лінзі досягає значення, при якому варто зупинити насос. До аналогового піну A1 підключено клапан, що здійснює випуск повітря при отриманні сигналу на згортання. До цифрових пінів RXD 0 та TXD 1 підключено Bluetooth модуль HC-05 (RXD 0 – прийом даних, TXD 1 передача даних). До цифрового піну 6 підключено Силове реле SONGLE SRD-05VDC-SL-C, що здійснює контроль над електричним пневматичним насосом.

Живлення здійснюється за рахунок блоку з 5 паралельно з'єднаних літій-іонних акумуляторів Type 18650 (3,7v 2200 ma·h), що заряджається від фотоелектричної комірки через Контролер заряду TP4056.

Параметри фотоелектричної комірки – 6 блоків по 36 x 19,5 x 3,5 см складених в гармошку, площа – 0,42 м<sup>2</sup>, вага – 2,25 кг, заявлена максимальна потужність – 60 Вт год.

Заряд акумулятора через підйомний перетворювач напруги DC-DC MT3608 отримує напругу 12v та живить насос, клапан і реле. Через реле йде пониження до 5v, та заживлюються плата Arduino UNO і VCC вихід Bluetooth модуля HC-05. Від плати Arduino через вихід 3,3 v заживлюються Key-вихід Bluetooth модуля HC-05 та аналоговий датчик тиску BMP 180.

Відповідно, загальна схема проекту (Рис 2.17) містить 11 блоків. Блок з сонячною батареєю може бути без суттєвих змін в концепції замінений на двигун Стирлінга. (Повна форма – додаток А).

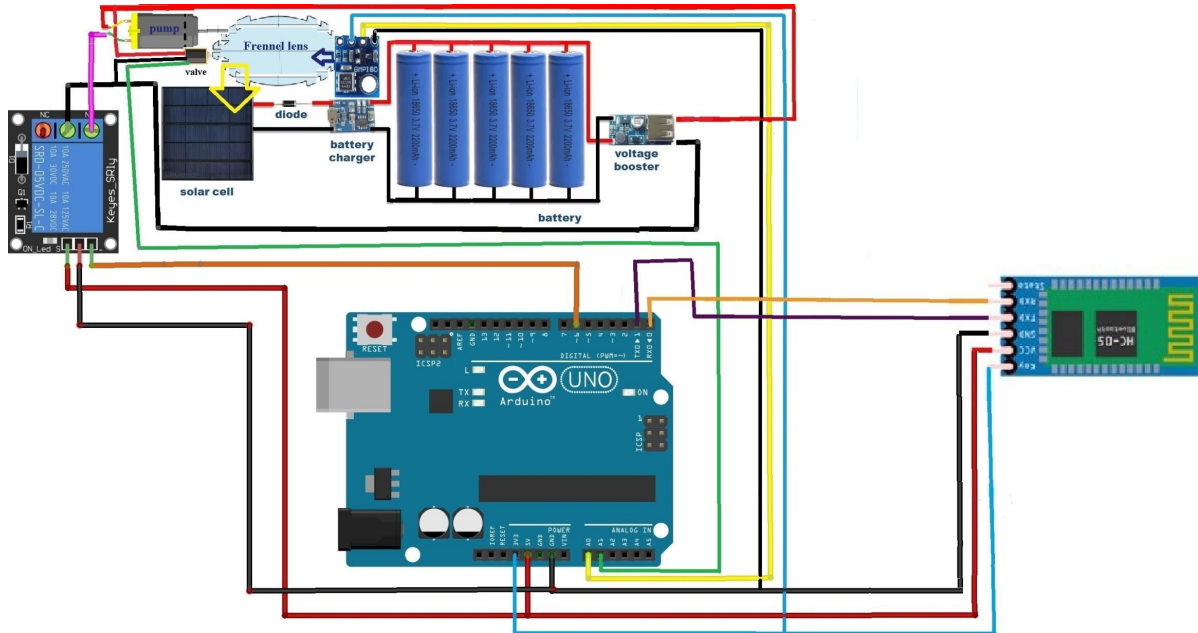


Рисунок 2.17 – Схема підключення

Плата Arduino UNO (Рис 2.18) вважається оптимальним вибором для початківця та є найбільш поширеним пристроєм Ардуїно. В основі лежить чіп ATmega, а саме ATmega 328 в ревізії R3 або рідше ATmega168 для інших версій. Саме на дану платформу було випущено значну кількість клонів: Freeduino, Seeduino, Zigduino (ZigBee), Boarduino, Teensyduino, FEZ Panda (NXP ARM7, use.NET), mbed (NXP ARM Cortex-M0/M3), Pinguino (PIC 18/32), Wiring (ATMega 1281-16AU), NETduino (Atmel ARM7, use.NET) та ін.



Рисунок 2.18 – Arduino UNO

Параметри плати:

- мікроконтролер: ATmega328;
- робоча напруга: 5В;
- напруга живлення: 7-12 В;
- напруга живлення гранична: 6-20В;
- цифрові входи/виходи: 14 (з них 6 ШІМ-виходів);
- аналогові входи: 6;
- максимальний струм одного виводу: 40 мА;
- максимальний вихідний струм: 50 мА;
- flash-пам'ять: 32 КБ (ATmega328) з яких 0.5 КБ застосовує завантажувач;
- SRAM: 2 КБ (ATmega328)
- EEPROM: 1 КБ;
- тактова частота 16 МГц
- габарити: 69x53 мм.

Bluetooth модуль HC-05 (Рис 2.19) призначений для забезпечення зв'язку між Arduino та іншими пристроями через Bluetooth. Більшість модулів використовують чіп BC417 разом з Flash-пам'яттю. Цей чіп підтримує Bluetooth v2.0 + EDR, AT-команди, може функціонувати в режимі Master або

Slave (модулі HC-03/HC-05 можуть бути переведені в режим AT-команд). Швидкість обміну даними може становити від 2400 до 1382400. Напряга живлення модуля - 3.3В, а споживання струму - приблизно 50мА. Модулі HC-03/HC-05 мають більше функціональності, ніж HC-04/HC-06.



Рисунок 2.19 – HC-05 Bluetooth модуль

Основні характеристики блютуз-модуля HC-05:

- протокол зв'язку: Bluetooth Specification v2.0 + EDR;
- частота: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) ;
- потужність передачі:  $\leq 4\text{dBm}$ , Class 2;
- потужність прийому:  $\leq -84\text{dBm}$  at 0.1% BER;
- швидкість передачі даних: асинхронна 2.1Mbps (Макс) / 160 kbps, синхронна 1Mbps / 1Mbps;
- безпека: Authentication and encryption;
- профіль Bluetooth: serial port;
- живлення: + 5VDC 50mA;
- робочі температури:  $-20 \sim +75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- розміри: 26.9мм x 13 мм x 2,2 мм.

Електричний повітряний пневматичний насос (Рис 2.20). Призначення електричного повітряного пневматичного насоса полягає у створенні потоку повітря без навантаження з максимальним комфортом та ефективністю. Цей насос може використовуватися для різноманітних застосувань, таких як

надування матраців, каяків, надувних іграшок, а також для роботи з повітряною системою в акваріумах або в системах автоматизації, де необхідний невеликий об'єм інтегрованого повітряного струменя.

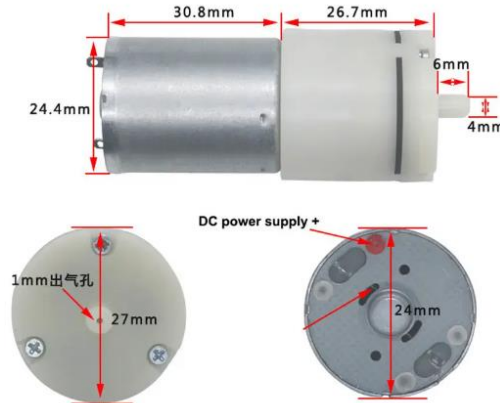


Рисунок 2.20 – Електричний повітряний пневматичний насос

Технічні характеристики:

- номінальна напруга: 10,8-13,2 В постійного струму
- повітряний потік без навантаження: 3,0 л/хв
- номінальний струм: менше 280 мА
- застосування: повітря
- діаметр вихідного штуцера: 4,2 мм
- максимальний тиск: менше 420 мм ртутного стовпа

Мініатюрний двопозиційний 3-х хідний електромагнітний клапан (Рис 2.21) призначений для газів або неагресивних рідин, і використовується разом з повітряними насосами та іншим обладнанням. Незамінний при створенні пневмосистем для акваріумів для аерації або автоматизованого зрошення рослин.



Рисунок 2.21 – Клапан

**Характеристики:**

- номінальна напруга: DC 12 В.
- номінальний струм: 45 мА.
- максимальний тиск: 0,4 бар.
- продуктивність: 0,1 л/хв.
- діапазон робочих температур: від 0 до +55 °С.
- матеріал клапана: пластик.
- розміри: 2x1.5x1.2 см.

Силове реле Songle SRD-05VDC-SL-C (Рис 2.22) є електромагнітним пристроєм, який змінює вихідне положення вбудованого перемикача при подачі напруги 5V на контакти котушки.

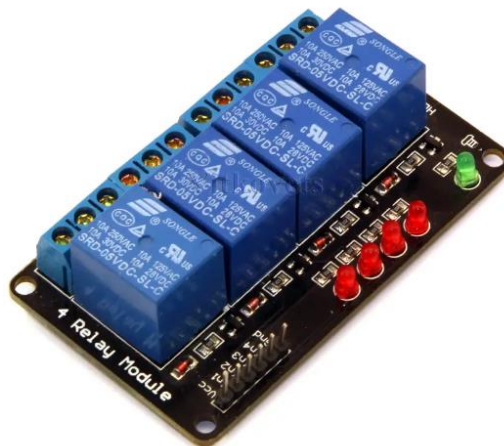


Рисунок 2.22 – Силове реле SRD-05VDC-SL-C

### Характеристики:

- модель: SRD-05VDC-SL-C;
- навантаження на контакти: 10A/250VAC/28VDC/10A/125VAC;
- опір контактів:  $\leq 100\text{m}\Omega$ ;
- номінальна напруга: 5-48V DC;
- напруга спрацювання (макс.): 75% від номінальної напруги;
- втрата напруги (мін.): 10% від номінальної напруги;
- діелектрична міцність між котушкою і контактами: 1500VAC;
- діелектрична міцність між розімкненими контактами: 1000VAC;
- опір ізоляції: 100m $\Omega$ ;
- розміри: 19x15x19.5мм;
- вага: 0.009 кг.

Датчик тиску BMP180 (Рис 2.23) призначений для вимірювання барометричного тиску та температури навколишнього середовища. Для використання датчика потрібно зібрати його у вигляді макета, забезпечити живлення та прошити відповідну бібліотеку.

Ці датчики застосовуються головним чином в навігаторах, морських барометрах, приладах для вимірювання тиску всередині та поза приміщеннями, метеостанціях та для різних альтиметрів. Управління датчиком здійснюється за допомогою мікроконтролерів типу Arduino або аналогічних управляючих пристроїв.

Невеликий розмір модуля дозволяє створювати компактні пристрої з низьким споживанням енергії. Технічне отвір на платі модуля дозволяє закріплювати його на будь-якій поверхні. Чутливим елементом даного датчика є мембрана у корпусі, яка діє за принципом п'єзорезистивності.



Рисунок 2.23 – Датчик атмосферного тиску BMP180

## Характеристики:

- інтерфейс датчика тиску BMP180 має 4 виходи:
- VCC – напруга живлення;
- SDA – I2C інтерфейс: вивід даних;
- SCL – I2C інтерфейс: вивід тактових імпульсів;
- GND – загальний вихід.
- час спрацювання: 4,5 мс.
- діапазон вимірювання: 300 – 1100 гПа (гектопаскаль) (+9000 – -500 м над рівнем моря).
- інтерфейс: I2C.
- точність вимірювання тиску: 0,1 гектопаскаля.
- точність вимірювання температури: 0,1 градуса Цельсія.
- частота шини: 3,5 МГц.
- загальні:
- напруга живлення: 1,62 – 5 В.
- розмір плати: 21 x 18 мм.

Контролер заряду TP4056 (Рис 2.24). Модуль призначений для зарядки літєвих акумуляторів з можливістю підключення навантаження та регулювання зарядного струму. Цю плату легко можна інтегрувати в



ліхтарик, лампу, радіоприймач або інше пристрій. Також вона підходить для відновлення вибухнутих зарядних пристроїв.

Плата обладнана захистом від короткого замикання, низького рівня розряду та перезаряду, що гарантує тривалий термін служби та безпечну експлуатацію акумуляторів.

**TP4056**  
**4.35 - 6 V**  
**1000 mA**



Рисунок 2.24 – Контролер заряду TP4056.

Характеристики:

- контролер заряду: TP4056
- підходить для зарядки одноелементних акумуляторів Li-Ion типу 18650
- вхідна напруга: 4.35 — 6 В (рекомендовано 5 В)
- максимальний зарядний струм: 1000 мА
- завершення заряду при досягненні напруги на акумуляторі 4.2 В
- вбудований захист від перевантаження на рівні 3 А
- світлодіодна індикація роботи та заряду
- інтерфейс живлення: USB Type-C або дві контактні клеми
- розмір: 2.5 x 1.6 см

Підйомний перетворювач напруги DC-DC (Рис 2.25).

Підйомний DC-DC перетворювач MT3608 призначений для випадків, коли вам потрібно, наприклад, перетворити напругу з 2 вольт на 5 вольт або з 6 вольт на 12 вольт. Цей перетворювач дозволяє плавно підвищувати напругу від 2 вольт до 28 вольт, при цьому струм навантаження може сягати 2 ампер.

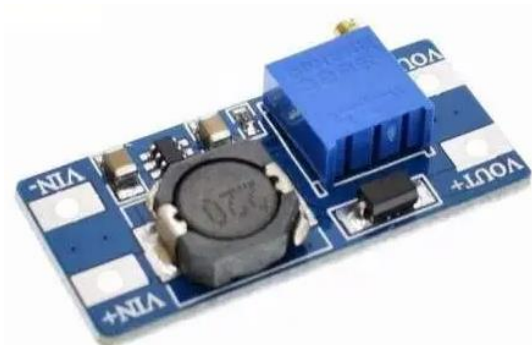


Рисунок 2.25 – Підйомний перетворювач напруги DC-DC MT3608

Технічні характеристики:

- Вхідна напруга від 2 до 25 вольт
- Вихідна напруга від 2,5 до 28 вольт
- Струм навантаження до 2 А
- Розмір плати 37 мм x 17 мм.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2**

1. Розроблено алгоритм та функціональну схему проекту, алгоритми розгортання та згортання установки та алгоритм керування автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів.

2. Здійснено моделювання фізичних принципів функціонування системи та обумовлених ними апаратних вимог. В процесі визначено реальний потенціал енергії сонячного випромінювання. Отримано графіки, що дозволяють розрахувати його для кожного з місяців для всіх північних широт. На їх основі розроблено прогноз для м. Миколаєва та враховано площі сонячної панелі і концентратора для двигуна Стирлінга, потрібні, щоб живити зарядку смартфона та ноутбука.

3. На основі отриманих даних сформульовано вимоги до апаратного забезпечення енергетичної частини проекту.

4. Розроблено принципову схему підключення апаратної основи системи керування портативною сонячною станцією та розглянуто всі її компоненти.

Як результат в розділі розроблено методологію дослідження та закладено апаратну структуру проекту автоматизованої сонячної станції з надувним концентратором-лінзою.

### 3 ОСОБЛИВОСТІ ПЗ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЮ СОНЯЧНОЮ МОБІЛЬНОЮ СТАНЦІЄЮ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ПОРТАТИВНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

#### 3.1. Програмне забезпечення для пристрою введення системи дистанційного керування сонячною мобільною станцією

На рівні пристрою введення ПЗ системи має виконати дві основні задачі – збір даних з прогнозом погоди та звірка перед передачею сигналу на розгортання мобільної станції. Окремо йде третя задача передачі сигналу на згортання.

Для реалізації цих задач можна застосувати ПЗ, що залежно від апаратної частини буде реалізувати розроблені раніше елементи алгоритму в 3 функціях на комп'ютері та на мобільному телефоні.

Перша функція реалізує ліву частину алгоритму (Рис 2.2) та відповідає за збір даних про прогноз погоди в онлайн режимі для подальшого використання офлайн (Рис 3.1).



Рисунок 3.1 – Алгоритм ПЗ для збору даних про швидкість вітру

Тут ми можемо використати бібліотеку для взаємодії з API, яке надає прогноз погоди. Для цього ми можемо скористатися, наприклад, бібліотекою libcurl для виконання HTTP-запитів та отримання даних з веб-сервера (Табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Скетч Ардуїно на згортання системи

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <ctime>
#include <curl/curl.h>

using namespace std;

// Колбек-функція для обробки HTTP-відповіді
size_t writeCallback(char* buf, size_t size, size_t nmemb, void* userData) {
    ofstream* outFile = reinterpret_cast<ofstream*>(userData);
    outFile->write(buf, size * nmemb);
    return size * nmemb;
}

int main() {
    // Відкриваємо файл для збереження дати останньої перевірки
    ofstream lastCheckFile("last_check_time.txt");

    if (!lastCheckFile) {
        cerr << "Помилка відкриття файлу для запису." << endl;
        return 1;
    }

    // Отримуємо поточний час
    time_t now = time(0);
    tm* currentDate = localtime(&now);

    // Виконуємо самоперевірку та звірку дати
    int currentDay = currentDate->tm_mday;
    int currentMonth = currentDate->tm_mon + 1; // tm_mon починається з 0
    int currentYear = currentDate->tm_year + 1900; // tm_year дає рік після 1900

    // Зчитуємо дату останньої перевірки з файлу
    int lastCheckDay, lastCheckMonth, lastCheckYear;
    lastCheckFile >> lastCheckDay >> lastCheckMonth >> lastCheckYear;

    // Перевіряємо, чи минуло 10 днів з останньої перевірки
    time_t lastCheckTime = mktime(currentDate);
    time_t currentTime = mktime(currentDate);
    double seconds = difftime(currentTime, lastCheckTime);
    double tenDaysInSeconds = 10 * 24 * 3600; // 10 днів у секундах
```

Таблиця 3.2 – Програма C++ для збору даних

```
if (seconds < tenDaysInSeconds) {
    cout << "Минуло менше 10 днів з останньої перевірки. Завершення програми." <<
endl;
    return 0;
}

// Виконуємо запит на завантаження прогнозу погоди
cout << "Запит на завантаження прогнозу погоди..." << endl;

// Ініціалізуємо libcurl
CURL* curl = curl_easy_init();
if (curl) {
    // Встановлюємо URL для запиту
    curl_easy_setopt(curl, CURLOPT_URL, "URL_для_запиту_прогнозу_погоди");

    // Вказуємо колбек-функцію для обробки HTTP-відповіді та файл, куди буде
записуватись прогноз
    curl_easy_setopt(curl, CURLOPT_WRITEFUNCTION, writeCallback);
    curl_easy_setopt(curl, CURLOPT_WRITEDATA, &outFile);

    // Виконуємо HTTP-запит
    CURLcode res = curl_easy_perform(curl);

    if (res != CURLE_OK) {
        cerr << "Помилка при виконанні HTTP-запиту: " << curl_easy_strerror(res) << endl;
        return 1;
    }

    // Завершуємо роботу з libcurl
    curl_easy_cleanup(curl);
} else {
    cerr << "Помилка ініціалізації libcurl." << endl;
    return 1;
}

cout << "Прогноз погоди успішно збережено." << endl;

// Записуємо поточний час у файл
lastCheck
// Закриваємо файл
lastCheckFile.close();

return 0;
```

Ця програма написана на мові програмування C++ і має наступні функціональність та призначення:

1. Введення ім'я користувача: Починається з введення ім'я користувача з клавіатури.

2. Отримання поточного часу: Отримується поточний час і дата за допомогою системної функції `time()` та її подальшого розбору для отримання дня, місяця і року.

3. Перевірка дати останньої перевірки: Програма зчитує дату останньої перевірки з файлу `last_check_time.txt`. Якщо минуло менше 10 днів з останньої перевірки, програма завершується, оскільки немає необхідності в новому запиті на прогноз погоди.

4. Запит на прогноз погоди: Якщо минуло 10 днів з останньої перевірки, програма виконує запит на завантаження прогнозу погоди з використанням бібліотеки `libcurl`. URL для запиту до серверу прогнозу погоди може бути заданий у коді програми.

5. Збереження прогнозу погоди: Прогноз погоди зберігається у файлі з назвою `wind_speed_forecast.txt`.

6. Запис дати останньої перевірки: Після виконання запиту на прогноз погоди, програма записує поточну дату у файл `last_check_time.txt`, як останню дату перевірки.

Ця програма призначена для автоматичного отримання прогнозу швидкості вітру через Інтернет, перевірки, чи минуло 10 днів з останньої перевірки, і збереження отриманого прогнозу для подальшого використання.

Проте, розроблена програма може бути реалізована лише на ноутбуках, що є менш зручним ніж використання мобільного телефону. Відповідно, для зручності було розроблено еквівалентну програму для платформи Android (Табл 3.3). Програма написана на мові програмування Kotlin та використовує бібліотеку `OkHttp` для виконання мережевих запитів та роботи з файлами.

Таблиця 3.3 – Еквівалентна програма збору прогнозу швидкості вітру для андроїд-пристроїв

```
import android.os.Bundle
import android.util.Log
import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity
```

```
import kotlinx.coroutines.Dispatchers
import kotlinx.coroutines.GlobalScope
import kotlinx.coroutines.launch
import okhttp3.*
import java.io.File
import java.io.FileOutputStream
import java.text.SimpleDateFormat
import java.util.*

class MainActivity : AppCompatActivity() {
    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        setContentView(R.layout.activity_main)

        // Викликаємо функцію для виконання алгоритму
        executeAlgorithm()
    }

    private fun executeAlgorithm() {
        // Відкриваємо або створюємо файл для збереження дати останньої перевірки
        val lastCheckFile = File(filesDir, "last_check_time.txt")

        // Отримуємо поточну дату та час
        val currentTime = Calendar.getInstance()

        // Зчитуємо дату останньої перевірки з файлу
        val lastCheckTime =
            if (lastCheckFile.exists()) {
                val scanner = Scanner(lastCheckFile)
                val lastCheckDateString = scanner.nextLine()
                val lastCheckDate = SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd",
Locale.getDefault()).parse(lastCheckDateString)
                scanner.close()
                Calendar.getInstance().apply { time = lastCheckDate }
            } else {
                Calendar.getInstance().apply { timeInMillis = 0 }
            }

        // Перевіряємо, чи минуло 10 днів з останньої перевірки
        val tenDaysInMillis = 10 * 24 * 60 * 60 * 1000L // 10 днів у мілісекундах
        val diffInMillis = currentTime.timeInMillis - lastCheckTime.timeInMillis

        if (diffInMillis < tenDaysInMillis) {
            Log.d("MainActivity", "Минуло менше 10 днів з останньої перевірки. Завершення
програми.")
            return
        }

        // Виконуємо запит на завантаження прогнозу погоди
        Log.d("MainActivity", "Запит на завантаження прогнозу погоди...")
    }
}
```



```
// Використовуємо OkHttp для виконання HTTP-запиту
val client = OkHttpClient()

val request = Request.Builder()
    .url("URL_для_запиту_прогнозу_погоди")
    .build()

GlobalScope.launch(Dispatchers.IO) {
    client.newCall(request).execute().use { response ->
        if (!response.isSuccessful) {
            Log.e("MainActivity", "Помилка при виконанні HTTP-запиту:
${response.code}")
            return@use
        }

        // Отримуємо дані з відповіді та зберігаємо їх у файл
        val responseBody = response.body
        responseBody?.byteStream()?.use { inputStream ->
            FileOutputStream(File(filesDir, "wind_speed_forecast.txt")).use { outputStream ->
                inputStream.copyTo(outputStream)
            }
        }

        // Зберігаємо поточну дату у файлі
        val dateFormat = SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd", Locale.getDefault())
        val currentDate = dateFormat.format(currentTime.time)
        lastCheckFile.writeText(currentDate)

        Log.d("MainActivity", "Прогноз погоди успішно збережено.")
    }
}
}
```

Отримані прогнозні значення потрібні для того, щоб при розгортанні установки мати певну страховку, що попереджатиме про можливість надто швидкого вітру, який здатен призвести до пошкодження установки через вітрильність лінзи.

Для реалізації алгоритму (Рис 3.4) цієї функції застосовується інша програма, що використовуватиме дані з файлу `wind_speed_forecast.txt`.

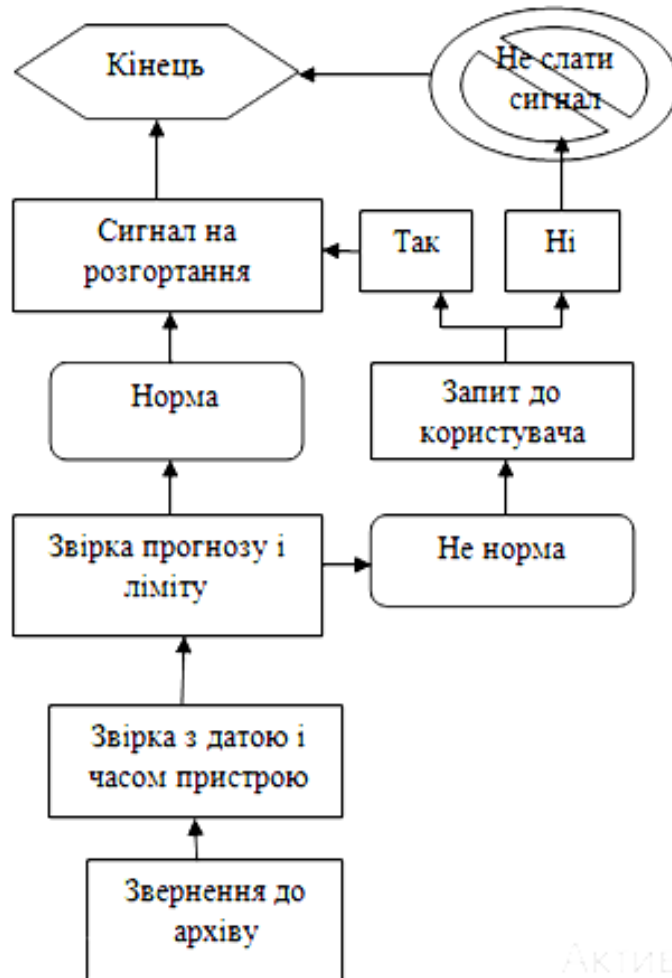


Рисунок 3.4 – Алгоритм функції подачі сигналу на розгортання

Розроблена програма (Табл 3.5) перевіряє прогноз погоди, зчитуваний з файлу "wind\_speed\_forecast.txt", і активує установку залежно від прогнозованої швидкості вітру. Якщо швидкість вітру менше ліміту, вона автоматично активує насос за допомогою Bluetooth. Якщо швидкість вітру перевищує ліміт, програма виводить повідомлення користувачу і запитує про підтвердження розгортання установки.

Таблиця 3.5 – ПЗ для подачі сигналу на розгортання установки з попередженням в випадку загрози через вітер

```

import android.os.Bundle
import android.util.Log
import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity
import kotlinx.coroutines.Dispatchers
import kotlinx.coroutines.GlobalScope
import kotlinx.coroutines.launch
  
```

```

import okhttp3.*
import java.io.File
import java.text.SimpleDateFormat
import java.util.*

class MainActivity : AppCompatActivity() {
    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        setContentView(R.layout.activity_main)

        // Викликаємо функцію для перевірки прогнозу погоди та активації установки
        checkWeatherForecastAndActivateInstallation()
    }

    private fun checkWeatherForecastAndActivateInstallation() {
        // Зчитуємо дані з файлу прогнозу погоди
        val forecastFile = File(filesDir, "wind_speed_forecast.txt")
        if (!forecastFile.exists()) {
            Log.e("MainActivity", "Файл прогнозу погоди не знайдено.")
            return
        }

        // Отримуємо поточну дату та час
        val currentTime = Calendar.getInstance()

        // Зчитуємо дату останньої перевірки з файлу
        val lastCheckFile = File(filesDir, "last_check_time.txt")
        val lastCheckDate =
            if (lastCheckFile.exists()) {
                val scanner = Scanner(lastCheckFile)
                val lastCheckDateString = scanner.nextLine()
                val lastCheckDate = SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd",
Locale.getDefault()).parse(lastCheckDateString)
                scanner.close()
                Calendar.getInstance().apply { time = lastCheckDate }
            } else {
                Calendar.getInstance().apply { timeInMillis = 0 }
            }

        // Перевіряємо, чи поточна дата відрізняється від дати останньої перевірки
        val dateFormat = SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd", Locale.getDefault())
        val currentDate = dateFormat.format(currentTime.time)
        val lastCheckDateString = dateFormat.format(lastCheckDate.time)
        if (currentDate != lastCheckDateString) {
            Log.d("MainActivity", "Поточна дата відрізняється від дати останньої перевірки.
Перевірка необхідна.")
        } else {
            Log.d("MainActivity", "Поточна дата не відрізняється від дати останньої перевірки.
Перевірка не потрібна.")
        }
        return
    }
}

```

```

// Зчитуємо прогноз швидкості вітру з файлу
val scanner = Scanner(forecastFile)
val windSpeedForecast = scanner.nextDouble()
scanner.close()

// Перевіряємо прогноз швидкості вітру
val windSpeedLimit = 15 // Ліміт швидкості вітру в м/с
if (windSpeedForecast < windSpeedLimit) {
    // Подача сигналу на активацію насосу через Bluetooth
    activatePump()
} else {
    // Виведення повідомлення користувачу та запит на підтвердження розгортання
    // установки
    Log.d("MainActivity", "Прогнозована швидкість вітру перевищує ліміт.")
    // Дії користувача та підтвердження відобразити за допомогою відповідного
    // інтерфейсу
}
}

private fun activatePump() {
    // Логіка активації насосу через Bluetooth
    Log.d("MainActivity", "Сигнал на активацію насосу подано через Bluetooth.")
}
}

```

Ця програма розроблена для автоматичного контролю та активації насосу для установки збору сонячної енергії на основі прогнозу швидкості вітру. Основне призначення полягає в тому, щоб управляти насосом, який накачує лінзу Френнеля в залежності від умов погоди, забезпечуючи оптимальні умови для роботи сонячної установки.

Програма виконує наступні функції:

1. Перевірка прогнозу погоди: Зчитує прогноз швидкості вітру з файлу, який був зібраний раніше іншою програмою. Прогноз обробляється для визначення, чи досягнута критична швидкість вітру.

2. Самоперевірка часу: Перевіряє, коли востаннє була виконана перевірка прогнозу погоди. Якщо минуло більше 10 днів, програма продовжить виконання.

3. Взаємодія з користувачем: У випадку, коли прогнозована швидкість вітру перевищує ліміт, програма виведе повідомлення користувачу і запитає,

чи він впевнений у виконанні розгортання установки. Користувач може підтвердити або відмовитися від активації насосу.

4. Активація насосу: У разі меншої за ліміт швидкості вітру, програма автоматично активує насос за допомогою Bluetooth, забезпечуючи необхідний обсяг води для ефективної роботи установки зі збору сонячної енергії.

Головна мета програми - забезпечити оптимальні умови для роботи сонячної установки, уникнувши негативних наслідків від несприятливої погоди, такої як вітер, та забезпечуючи надійний та ефективний захист установки.

Найпростішою з функцій пристрою введення є система подачі сигналу на згортання, що просто передає сигнал для ардуїно на відкриття клапана (Табл 3.6).

Таблиця 3.6. ПЗ для подачі сигналу на згортання лінзи

```
import android.bluetooth.BluetoothAdapter
import android.bluetooth.BluetoothDevice
import android.bluetooth.BluetoothSocket
import android.os.Bundle
import android.util.Log
import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity
import kotlinx.coroutines.Dispatchers
import kotlinx.coroutines.GlobalScope
import kotlinx.coroutines.launch
import java.io.IOException
import java.util.*

class MainActivity : AppCompatActivity() {

    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        setContentView(R.layout.activity_main)

        // Викликаємо функцію для активації системи через Bluetooth
        activateSystem()
    }

    private fun activateSystem() {
        val bluetoothAdapter: BluetoothAdapter? = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter()
        if (bluetoothAdapter == null) {
            Log.e("MainActivity", "Bluetooth не підтримується на цьому пристрої.")
        }
    }
}
```

```

        return
    }

    // З'єднуємося з пристроєм Bluetooth
    val device: BluetoothDevice? =
bluetoothAdapter.getRemoteDevice("адреса_пристрою_Bluetooth")
    if (device == null) {
        Log.e("MainActivity", "Пристрій Bluetooth не знайдено.")
        return
    }

    val socket: BluetoothSocket? =
device.createRfcommSocketToServiceRecord(UUID.fromString("00001101-0000-1000-8000-
00805F9B34FB"))
    if (socket == null) {
        Log.e("MainActivity", "Помилка при створенні сокета Bluetooth.")
        return
    }

    // Підключаємося до пристрою Bluetooth
    try {
        socket.connect()
        Log.d("MainActivity", "Підключено до пристрою Bluetooth.")
    } catch (e: IOException) {
        Log.e("MainActivity", "Помилка підключення до пристрою Bluetooth:
${e.message}")
        try {
            socket.close()
        } catch (closeException: IOException) {
            Log.e("MainActivity", "Помилка закриття сокета Bluetooth:
${closeException.message}")
        }
        return
    }

    // Відправляємо сигнал на активацію клапану
    try {
        val outputStream = socket.outputStream
        outputStream.write("open_valve".toByteArray())
        outputStream.flush()
        Log.d("MainActivity", "Сигнал на активацію клапану відправлено через
Bluetooth.")
    } catch (e: IOException) {
        Log.e("MainActivity", "Помилка відправки сигналу через Bluetooth:
${e.message}")
    }

    // Закриваємо з'єднання Bluetooth
    try {
        socket.close()
        Log.d("MainActivity", "З'єднання Bluetooth закрито.")
    }

```

```

        } catch (e: IOException) {
            Log.e("MainActivity", "Помилка закриття з'єднання Bluetooth: ${e.message}")
        }
    }
}

```

### 3.2. Програмне забезпечення для апаратної частини системи дистанційного керування сонячною мобільною станцією

Сигнал від пристрою введення передається на апаратну частину системи, де і відбувається основна робота. Тут також реалізуються два алгоритми: алгоритм розгортання та алгоритм згортання.

Алгоритм розгортання (Рис 2.3) базується на блокуванні клапана та активації насоса з подальшим відключенням при досягненні визначеного тиску в лінзі.

Функція (Табл 3.7.) розгортання реалізується скетчем для Ардуїно. Цей скетч активує систему, коли отримує сигнал на розгортання через Bluetooth. Після активації система вмикає клапан та насос. Після досягнення необхідного тиску в балоні (100 кПа), насос вимикається, а клапан закривається.

Таблиця 3.7 – Скетч ардуїно на розгортання установки

```

#include <SoftwareSerial.h> // Бібліотека для роботи з Bluetooth модулем
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h> // Бібліотека для роботи з датчиком тиску BMP180

#define RXD 0 // Пін для прийому даних з Bluetooth модуля
#define TXD 1 // Пін для передачі даних на Bluetooth модуль
#define PUMP_PIN 6 // Пін для керування насосом
#define VALVE_PIN A1 // Пін для керування клапаном
#define PRESSURE_SENSOR_PIN A0 // Пін для зчитування даних з датчика тиску

Adafruit_BMP085 bmp; // Об'єкт класу для роботи з датчиком тиску BMP180
SoftwareSerial bluetooth(RXD, TXD); // Об'єкт класу для з'єднання з Bluetooth модулем

void setup() {
    Serial.begin(9600); // Ініціалізуємо зв'язок з монітором порта
    bluetooth.begin(9600); // Ініціалізуємо з'єднання з Bluetooth модулем
    pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT); // Встановлюємо пін для насоса як вихідний
    pinMode(VALVE_PIN, OUTPUT); // Встановлюємо пін для клапана як вихідний
    bmp.begin(); // Ініціалізуємо датчик тиску
}

```

```

void loop() {
  if (bluetooth.available()) { // Якщо доступні дані через Bluetooth
    char signal = bluetooth.read(); // Зчитуємо сигнал з Bluetooth модуля
    if (signal == '1') { // Якщо отримано сигнал на розгортання
      activateSystem(); // Активуємо систему
    }
  }
}

void activateSystem() {
  digitalWrite(VALVE_PIN, HIGH); // Вмикаємо клапан
  digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH); // Вмикаємо насос
  delay(5000); // Затримка для часу розгортання
  while (true) {
    int pressure = bmp.readPressure(); // Зчитуємо тиск з датчика
    if (pressure >= 100000) { // Якщо тиск в балоні досягнув 100 кПа
      digitalWrite(PUMP_PIN, LOW); // Вимикаємо насос
      break; // Виходимо з циклу
    }
  }
  digitalWrite(VALVE_PIN, LOW); // Вимикаємо клапан
}

```

Цей скетч для Arduino виконує такі дії:

1. Підключається до Bluetooth модуля та датчика тиску BMP180.
2. Очікує сигнал на розгортання через Bluetooth модуль.
3. При отриманні сигналу на розгортання активує систему, включаючи клапан та насос.
4. Перевіряє тиск у балоні, щоб визначити, коли досягнуто необхідний тиск.
5. Після досягнення необхідного тиску вимикає насос та клапан.

Скетч використовує два цифрових піна (для підключення Bluetooth модуля та насосу) та два аналогових піна (для підключення датчика тиску та клапана). Коли відбувається активація системи, він вмикає клапан та насос, а потім перевіряє тиск у балоні. Коли досягнуто необхідний тиск, насос вимикається.

Аналогічно, для згортання системи також застосовується скетч для Ардуїно (Табл 3.8), що виконує алгоритм згортання (Рис 2.4).

Цей скетч використовує три цифрових піна для підключення Bluetooth модуля, клапана та вимкнення живлення, а також один аналоговий пін для підключення датчика тиску. При отриманні сигналу на згортання, клапан



вимикається, а потім перевіряється тиск у системі. Коли тиск повертається до нормального значення, живлення вимикається.

Таблиця 3.8 – Програма алгоритму згортання

```
#include <SoftwareSerial.h> // Бібліотека для роботи з Bluetooth модулем
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h> // Бібліотека для роботи з датчиком тиску BMP180

#define RXD 0 // Пін для прийому даних з Bluetooth модуля
#define TXD 1 // Пін для передачі даних на Bluetooth модуль
#define VALVE_PIN A1 // Пін для керування клапаном
#define PRESSURE_SENSOR_PIN A0 // Пін для зчитування даних з датчика тиску
#define POWER_OFF_PIN 6 // Пін для вимкнення живлення

Adafruit_BMP085 bmp; // Об'єкт класу для роботи з датчиком тиску BMP180
SoftwareSerial bluetooth(RXD, TXD); // Об'єкт класу для з'єднання з Bluetooth
модулем

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Ініціалізуємо зв'язок з монітором порта
  bluetooth.begin(9600); // Ініціалізуємо з'єднання з Bluetooth модулем
  pinMode(VALVE_PIN, OUTPUT); // Встановлюємо пін для клапана як вихідний
  pinMode(POWER_OFF_PIN, OUTPUT); // Встановлюємо пін для вимкнення
живлення як вихідний
  bmp.begin(); // Ініціалізуємо датчик тиску
}

void loop() {
  if (bluetooth.available()) { // Якщо доступні дані через Bluetooth
    char signal = bluetooth.read(); // Зчитуємо сигнал з Bluetooth модуля
    if (signal == '1') { // Якщо отримано сигнал на згортання
      activateSystem(); // Активуємо систему
    }
  }
}

void activateSystem() {
  digitalWrite(VALVE_PIN, HIGH); // Вмикаємо клапан
  delay(5000); // Затримка для часу згортання
  while (true) {
    int pressure = analogRead(PRESSURE_SENSOR_PIN); // Зчитуємо значення з
датчика тиску
    if (pressure > 500) { // Якщо тиск впав до звичайного значення (припустимо, що
нормальний тиск - 500)
      digitalWrite(POWER_OFF_PIN, LOW); // Вимикаємо живлення
      break; // Виходимо з циклу
    }
  }
}
```

Цей скетч для Arduino реалізує функціональність керування системою на основі отриманого сигналу через Bluetooth. Основні функції включають:

1. Прийом сигналу на згорання через Bluetooth.
2. Вмикає клапан для розблокування системи.
3. Перевірка тиску в системі за допомогою аналогового датчика тиску.
4. Якщо тиск в системі повернувся до звичайного значення, вмикається вимкнення живлення.

Після запуску скетчу і встановлення зв'язку з Bluetooth модулем, Arduino постійно перевіряє наявність нових даних через Bluetooth. Якщо вони доступні, Arduino зчитує сигнал. Якщо це сигнал на згорання, вмикається клапан. Після затримки для згорання системи, Arduino починає постійно перевіряти значення тиску у системі. Якщо значення тиску повернеться до звичайного рівня, Arduino вмикає вимкнення живлення, припиняючи подальше живлення системи.

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Отже, в ході розробки програмних компонентів проекту було охоплено дві основні складові: система введення та апаратна частина установки.

ПЗ для системи введення розроблено мовою C++ та конвертовано в аналогічні програми на мові програмування Kotlin для використання в мобільних пристроях з системою Android.

Тут розроблено програму для завантаження та збереження прогнозу швидкості вітру на 10 днів, а також програму для подачі сигналу через Bluetooth на розгортання мобільної зарядної станції, яка перед передачею сигналу звіряється з прогнозом, збереженим першою програмою. Це зроблено для того, щоб знизити ризик пошкодження установки через вітрильність лінзи. Третя функція для пристрою введення просто передає сигнал на згортання.

Для програмного забезпечення апаратної складової розроблено скетчі для Ардуїно на прийом сигналу та активацію насосу з одночасним блокуванням клапану, щоб надути лінзу, а також деактивацію насосу при досягненні встановленого програмно тиску.

З деактивацією все простіше – передається сигнал на розблокування клапану та відключення живлення при досягненні атмосферного тиску в лінзі.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
**Факультет комп'ютерних наук**  
**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ**  
В. о. завідувача кафедри АКІТ,  
кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
на тему: «Автоматизована сонячна мобільна станція для заряджання  
портативних енергоресурсів»

Спеціальна частина до охорони праці  
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – КРБ – 471. 22017104

Студент \_\_\_\_\_ Конопляник Д.О.

Консультант \_\_\_\_\_ Макарова О.В.  
(дата)

Миколаїв – 2024

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

У даному розділі роботи розглянути питання охорони праці при виготовленні автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів, складено правила техніки безпеки при її експлуатації в умовах відкритої місцевості, складено інструкцію щодо дій при надзвичайних ситуаціях

### **4.1. Охорона праці в процесі виробництва автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів.**

Інструкція розроблена відповідно до Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 29.01.1998 № 9, Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15, Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 26.03.2010 № 65, Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.1998 № 7, а також Загальних вимог щодо забезпечення роботодавцями охорони праці працівників, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 25.01.2012 № 67 (НПАОП 0.00-7.11-12).

#### **1. Загальні вимоги до приміщення**

Приміщення повинно бути сухим, добре вентильованим і мати достатнє природне та штучне освітлення.

Температурний режим: Підтримувати температуру в межах 18-25°C та вологість 40-60%.

Пожежна безпека: Приміщення має бути обладнане вогнегасниками, пожежними сигналізаціями та системами пожежогасіння. Необхідно дотримуватись відстані між робочими зонами та уникати зберігання легкозаймистих матеріалів.

## 2. Робочі місця

Ергономіка: Робочі місця мають бути обладнані зручними столами та стільцями, які відповідають вимогам ергономіки. Висота робочої поверхні повинна відповідати росту працівника.

Організація простору: Робоча зона повинна бути достатньо просторою для безпечного переміщення працівників та обладнання. Забезпечити наявність полиць або ящиків для інструментів та матеріалів.

## 3. Використання електричного обладнання

Електробезпека: Усі електричні установки та інструменти повинні бути заземлені та регулярно перевірятися на наявність пошкоджень. Використання розеток з захистом від перенапруг.

Ізоляція проводів: Усі проводи повинні бути ізольовані, а з'єднання захищені від випадкового дотику.

## 4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Окуляри та рукавички: При роботі з паяльниками та іншим електричним обладнанням слід використовувати захисні окуляри та термостійкі рукавички.

Антистатичний одяг: Для роботи з електронними компонентами слід використовувати антистатичні браслети та одяг.

## 5. Техніка безпеки при паянні

Вентиляція: Приміщення повинно мати витяжку або місцеву вентиляцію для видалення парів свинцю та інших шкідливих речовин.

Організація робочого місця: Паяльники повинні мати підставки для безпечного розміщення. Заборонено залишати паяльники ввімкненими без нагляду.

## 6. Особливості умов при виробництві фотоелектричних панелей та лінз

### Виробництво фотоелектричних панелей

Чистота приміщення: Виробництво панелей вимагає чистих приміщень для уникнення пошкоджень кремнієвих пластин.

Контроль пилу: Використання систем фільтрації повітря для зменшення кількості пилу.

Техніка безпеки: Під час роботи з хімічними речовинами для очищення та травлення кремнію необхідно використовувати ЗІЗ (рукавички, окуляри, респіратори).

### Виробництво лінз

Матеріали: Виробництво лінз вимагає використання скла або акрилу, що повинно враховувати правила безпеки при обробці цих матеріалів.

Механічна обробка: Використання спеціального обладнання для різання та шліфування лінз. Захист очей та рук від уламків та гострих країв.

Контроль якості: Регулярна перевірка готових виробів на наявність дефектів, що можуть вплинути на їх оптичні властивості.

## 7. Навчання та інструктажі

Регулярне навчання: Працівники повинні проходити регулярні інструктажі з техніки безпеки та охорони праці.

Документація: Вести записи про проведені інструктажі та перевірки обладнання.

Забезпечення відповідних умов праці та дотримання правил техніки безпеки є критично важливими для зменшення ризиків при збірці портативної сонячної електростанції на базі Arduino. Особливу увагу слід приділяти чистоті приміщення, електробезпеці, ергономіці робочих місць та використанню засобів індивідуального захисту.

## **4.2. Розробка інструкції з дій при надзвичайних ситуаціях в процесі виготовлення установки**

### **4.2.1. Охорона праці**

#### **1. Загальні положення**

Ця інструкція встановлює порядок дій при аварійних ситуаціях та виробничих травмах, а також заходи з виявлення та усунення шкідливих виробничих факторів в приміщенні для збірки портативної сонячної електростанції на базі Arduino.

#### **2. Дії при аварійних ситуаціях**

##### **2.1. Пожежа**

Негайно сповістити всіх працівників про виникнення пожежі.

Викликати пожежну службу за телефоном 101, надавши інформацію про місце виникнення пожежі.

Використати наявні засоби пожежогасіння (вогнегасники, пожежні крани) для гасіння пожежі.

При загрозі життю та здоров'ю евакуюватися з приміщення через найближчі евакуаційні виходи.

Зібратися у визначеному місці збору, де керівник групи перевірить наявність всіх працівників.

##### **2.2. Електричне замикання**

Відключити електроживлення приміщення за допомогою аварійного вимикача.

Повідомити керівника або відповідального за електробезпеку.

Не намагатися самостійно усувати несправність, якщо немає відповідної кваліфікації.

Дочекатися прибуття кваліфікованих спеціалістів для усунення проблеми.

##### **2.3. Хімічні опіки або отруєння**



При ураженні шкіри хімічними речовинами негайно промити уражене місце великою кількістю проточної води протягом 15 хвилин.

При потраплянні хімічних речовин в очі промити очі великою кількістю води протягом 15 хвилин.

Викликати швидку медичну допомогу за телефоном 103.

Повідомити керівника про інцидент.

### 3. Дії при виробничих травмах

#### 3.1. Порізи та рани

Промити рану водою і обробити антисептиком.

Накласти стерильну пов'язку.

При сильній кровотечі накласти джгут вище рани і викликати швидку медичну допомогу.

#### 3.2. Опіки

Охолодити обпалену ділянку шкіри холодною водою протягом 10-20 хвилин.

Накласти стерильну пов'язку.

Не використовувати мазі або масла на обпалену ділянку.

При необхідності викликати швидку медичну допомогу.

#### 3.3. Ураження електричним струмом

Відключити джерело електроживлення або відокремити потерпілого від джерела струму за допомогою діелектричних засобів.

Перевірити стан потерпілого (наявність дихання і пульсу).

При відсутності дихання і пульсу розпочати серцево-легеневу реанімацію.

Викликати швидку медичну допомогу.

### 4. Шкідливі виробничі фактори, їх рівень та способи боротьби з ними

#### 4.1. Електричний струм

Рівень небезпеки: Високий (напруга понад 50 В).

Способи боротьби:

Використання заземленого обладнання.

Регулярна перевірка стану електромереж.

Інструктаж з електробезпеки для працівників.

#### 4.2. Хімічні речовини (припої, флюси)

Рівень небезпеки: Середній (при правильному використанні).

Способи боротьби:

Використання засобів індивідуального захисту (рукавички, окуляри, респіратори).

Вентиляція приміщення (припливно-витяжна система, мінімум 3 обміни повітря за годину).

Зберігання хімічних речовин у закритих контейнерах.

#### 4.3. Механічні пошкодження (порізи, травми)

Рівень небезпеки: Середній (при роботі з гострими інструментами).

Способи боротьби:

Використання інструментів з захисними пристроями.

Організація робочих місць таким чином, щоб уникнути зіткнення з гострими предметами.

#### 4.4. Шум

Рівень небезпеки: Низький (рівень шуму до 70 дБ).

Способи боротьби:

Використання звукопоглинаючих матеріалів у приміщенні.

Організація перерв для зниження навантаження на слух (кожні 2 години роботи - 15 хвилин відпочинку).

#### 5. Заключні положення

Усі працівники зобов'язані дотримуватися даної інструкції, проходити регулярний інструктаж з охорони праці та негайно повідомляти керівництво про будь-які аварійні ситуації або випадки травмування.

## 4.2.2. Російська терористична загроза

### 1. Методи сповіщення

При виникненні загрози російської ракетної атаки, нальоту дронів або артилерійського обстрілу, сповіщення працівників здійснюється через такі канали:

Додаток на смартфоні: Спеціалізовані додатки для сповіщення про надзвичайні ситуації (наприклад, "Повітряна тривога").

Міська сирена: Сигнал тривоги, який сповіщає про небезпеку та необхідність укриття.

Телеграм-канали: Офіційні телеграм-канали міських служб або органів державної влади.

Радіо: Місцеві радіостанції, які передають повідомлення про надзвичайні ситуації.

### 2. Підльотний час та категорії рівня небезпеки

Російська ракетна атака:

Підльотний час: 5-10 хвилин (залежно від типу ракети).

Рівень небезпеки: Високий.

Нальот дронів типу "Шахед":

Підльотний час: 20-30 хвилин.

Рівень небезпеки: Середній.

Артилерійський обстріл:

Підльотний час: менше 1 хвилини.

Рівень небезпеки: Високий.

### 3. Дії при російській ракетній атаці

Сповіщення: Почувши сигнал тривоги або отримавши повідомлення про загрозу ракетної атаки:

Негайно припинити роботу.

Вимкнути електрообладнання та забезпечити безпеку робочого місця.

Евакуація:

Евакуюватися до найближчого підвального приміщення, яке слугує бомбосховищем.

Використовувати сходи, уникати ліфтів.

Взяти з собою необхідні документи, мобільний телефон, ліхтарик та воду.

Укриття:

Розміститися у підвальному приміщенні, дотримуючись інструкцій відповідальних осіб.

Залишатися в укритті до офіційного повідомлення про закінчення тривоги.

Дії в разі влучання в будівлю або поруч з нею:

Залишатися в укритті до отримання офіційних вказівок.

Якщо будівля пошкоджена, переконатися у відсутності небезпеки обвалу та зберігати спокій.

Надати допомогу постраждалим, якщо це безпечно.

Повідомити відповідні служби про місце влучання та пошкодження.

#### 4. Дії при нальоту дронів типу "Шахед"

Сповіднення: Почувши сигнал тривоги або отримавши повідомлення про загрозу нальоту дронів:

Негайно припинити роботу.

Вимкнути електрообладнання та забезпечити безпеку робочого місця.

Евакуація:

Швидко, але без паніки, евакуюватися з приміщення до найближчого сховища поза будівлею.

Використовувати основні виходи та аварійні виходи згідно з планом евакуації.

Взяти з собою необхідні документи, мобільний телефон, ліхтарик та воду.

Укриття:

Залишатися в сховищі до офіційного повідомлення про закінчення тривоги.

Дії в разі влучання в будівлю або поруч з нею:

Якщо укриття пошкоджене, оцінити безпеку залишення приміщення.

Надавати допомогу постраждалим у межах можливостей.

Повідомити відповідні служби про місце влучання та пошкодження.

#### 5. Дії при артилерійському обстрілі

Сповіднення: Почувши сигнал тривоги або отримавши повідомлення про загрозу артилерійського обстрілу:

Негайно припинити роботу.

Вимкнути електрообладнання та забезпечити безпеку робочого місця.

Евакуація:

Евакуюватися до найближчого підвального приміщення, яке слугує бомбосховищем.

Використовувати сходи, уникати ліфтів.

Взяти з собою необхідні документи, мобільний телефон, ліхтарик та воду.

Укриття:

Розміститися у підвальному приміщенні, дотримуючись інструкцій відповідальних осіб.

Залишатися в укритті до офіційного повідомлення про закінчення тривоги.

Дії в разі влучання в будівлю або поруч з нею:

Залишатися в укритті до отримання офіційних вказівок.

Якщо будівля пошкоджена, переконатися у відсутності небезпеки обвалу та зберігати спокій.

Надати допомогу постраждалим, якщо це безпечно.

Повідомити відповідні служби про місце влучання та пошкодження.

#### 6. Загальні рекомендації

Попередня підготовка:

Ознайомитися з планом евакуації та розташуванням підвальних приміщень і сховищ.

Перевірити наявність засобів першої необхідності в підвальних приміщеннях (аптечки, ліхтарики, вода).

Поведінка під час тривоги:

Дотримуватися спокою, не піддаватися паніці.

Допомагати колегам, особливо тим, хто потребує допомоги.

Слідувати вказівкам відповідальних осіб та співробітників служб безпеки.

#### **4.3. Правила техніки безпеки при експлуатації портативної сонячної електростанції для зарядки мобільних пристроїв**

Інструкція з правил техніки безпеки при експлуатації сонячної установки на природі для користувача

##### 1. Загальні положення

1.1. Дана інструкція розроблена для забезпечення безпеки користувачів при експлуатації сонячної установки на природі.

1.2. Установка складається з полікристалічної гнучкої сонячної батареї, суперконденсатора, програмної плати Arduino з Bluetooth-модулем, насоса та клапана для розгортання та згортання надувної лінзи низького тиску.

1.3. Перед початком використання ознайомтеся з даною інструкцією.

##### 2. Підготовка до роботи

2.1. Оберіть рівну та стабільну поверхню для розміщення установки.

2.2. Уникайте розташування поблизу легкозаймистих матеріалів.

2.3. Переконайтеся, що місце розташування установки не піддається впливу сильних вітрів.

2.4. Перевірте стан гнучкої сонячної батареї та відсутність механічних пошкоджень.

2.5. Перевірте з'єднання всіх компонентів та справність електричних з'єднань.

2.6. Впевніться, що програма на платі Arduino завантажена та готова до роботи.

### 3. Основні правила експлуатації

#### 3.1. Запобігання опікам від фокусної лінзи

3.1.1. Не знаходьтеся у зоні фокусування надувної лінзи під час її експлуатації.

3.1.2. Використовуйте захисні окуляри для запобігання опікам.

3.1.3. Стежте за положенням лінзи та змінюйте її кут, щоб уникнути випадкового потрапляння в фокус.

#### 3.2. Захист від здування вітром

3.2.1. Закріпіть установку за допомогою надійних кріплень або використовуйте додаткові обтяжувачі.

3.2.2. Перевіряйте стійкість установки при сильних поривах вітру.

3.2.3. У разі погіршення погодних умов негайно згорніть лінзу та вимкніть установку.

#### 3.3. Запобігання пожежам

3.3.1. Не залишайте установку без нагляду під час експлуатації.

3.3.2. Уникайте розташування установки поблизу сухої трави, листя та інших легкозаймистих матеріалів.

3.3.3. Майте під рукою вогнегасник або інші засоби первинного пожежогасіння.

#### 3.4. Загальні правила експлуатації

3.4.1. Заборонено проводити будь-які монтажні роботи під напругою.

3.4.2. Використовуйте засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, захисні окуляри).

3.4.3. Забезпечуйте відсутність води та інших рідин поблизу електронних компонентів.

3.4.4. Перевіряйте коректність роботи насосів та клапанів перед розгортанням та згортанням надувної лінзи.

3.4.5. Стежте за станом Bluetooth-з'єднання та сигналів, що передаються платою Arduino.

#### 4. Дії у разі аварійних ситуацій

##### 4.1. Опік через потрапляння в фокус лінзи

4.1.1. негайно припиніть експлуатацію установки.

4.1.2. Надати першу допомогу постраждалому (охолодити місце опіку, накласти стерильну пов'язку).

4.1.3. Викликати швидку медичну допомогу.

##### 4.2. Здування установки вітром

4.2.1. негайно згорніть лінзу та відключіть установку.

4.2.2. Перевірте стан кріплень та усуньте можливі пошкодження.

4.2.3. При необхідності перемістіть установку в більш захищене від вітру місце.

##### 4.3. Пожежа через лінзу

4.3.1. Використовуйте засоби первинного пожежогасіння (вогнегасник, пісок, вода).

4.3.2. Евакуюйтеся на безпечну відстань, якщо пожежу не вдається локалізувати.

4.3.3. Повідомте пожежну службу та відповідальних осіб.

#### 5. Завершення роботи

##### 5.1. Після завершення роботи:

5.1.1. Відключіть всі компоненти установки від джерела живлення.

5.1.2. Перевірте стан з'єднань та ізоляції.

5.1.3. Згорніть лінзу та розмістіть всі компоненти в належному місці для зберігання.

5.2. Впевніться, що місце експлуатації залишено в безпечному стані, без залишків легкозаймистих матеріалів.



## 6. Додаткові вимоги

6.1. Регулярно перевіряйте справність всіх компонентів установки.

6.2. Уникайте експлуатації установки в стані втоми, алкогольного чи наркотичного сп'яніння.

6.3. Усі інциденти та нештатні ситуації повинні бути негайно задокументовані та розглянуті для запобігання повторним випадкам.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У розділі роботи було розглянуто питання охорони праці та безпеки під час виробництва та експлуатації автоматизованої сонячної мобільної станції для зарядки портативних енергоресурсів.

Під час виробництва важливо забезпечити належні умови праці, провести навчання персоналу з питань техніки безпеки та забезпечити регулярне обслуговування обладнання. Під час експлуатації необхідно дотримуватися правил безпеки, ретельно контролювати стан установки та реагувати на зміни погодних умов.

Окрему увагу слід приділити діям у надзвичайних ситуаціях, зокрема при загрозах російських обстрілів. Важливо своєчасно отримати повідомлення про загрозу та негайно евакуювати працівників та користувачів в безпечне місце, дотримуючись встановлених процедур безпеки.

Загальна мета роботи — забезпечення безпеки працівників та користувачів під час всього життєвого циклу сонячної мобільної станції. Дотримання вказаних висновків та рекомендацій дозволить уникнути аварійних ситуацій та забезпечить ефективну та безпечну експлуатацію установки в умовах відкритої місцевості навіть у надзвичайних обставинах.

## ВИСНОВОК

У ході виконання бакалаврської роботи були вивчені та досліджені ключові аспекти сучасних технологій в галузі сонячної енергетики та їх використання для реалізації автоматизованих систем зарядки портативних енергоресурсів. Робота здійснювалась в 4 етапи:

### Етап 1: Теоретичний аналіз

Вивчено основні принципи дії сонячних енергетичних установок, включаючи фотоефект та коефіцієнт корисної дії.

Проведено огляд сучасних технологій у галузі сонячної енергетики, що дозволило сформулювати технічні вимоги до розробленого проекту.

### Етап 2: Розробка функціональних схем

Розроблено алгоритм та функціональну схему проекту, включаючи апаратну та програмну частини.

Реалізація проекту включає використання платформи Arduino UNO, яка використовує 3 цифрових та 2 аналогових піни для керування та збору даних від різних пристроїв та сенсорів. До аналогового піну A0 підключений аналоговий датчик тиску BMP 180, що визначає тиск в лінзі та керує роботою насоса. Клапан, що здійснює випуск повітря під час згортання, підключений до аналогового піну A1. Bluetooth модуль HC-05, необхідний для передачі та прийому даних між пристроями, підключений до цифрових пінів RXD 0 та TXD 1. Силове реле SONGLE SRD-05VDC-SL-C, відповідне за контроль електричного пневматичного насоса, підключене до цифрового піну 6. Живлення системи забезпечується за допомогою блоку з літій-іонних акумуляторів, які заряджаються від фотоелектричної комірки через контролер заряду TP4056. Підйомний перетворювач напруги DC-DC MT3608 забезпечує потрібну напругу для живлення насоса, клапана і реле. Загальна схема проекту містить 11 блоків, які спільно працюють для досягнення мети – надійної та ефективної системи зарядки портативних енергоресурсів.

Визначено параметри та основні характеристики фотоелектричної комірки, що були використані для розрахунку площі сонячної панелі та концентратора.

#### Етап 3: Програмування та тестування

Розроблено програмне забезпечення для системи введення, що було адаптовано для використання на мобільних пристроях.

Здійснено моделювання фізичних принципів функціонування системи, що дозволило визначити потенціал енергії сонячного випромінювання та розрахувати необхідні параметри.

#### Етап 4: Безпека та охорона праці

Розглянуто питання безпеки під час виробництва та експлуатації системи зарядки, включаючи дії у надзвичайних ситуаціях.

Викладено рекомендації щодо забезпечення безпеки працівників та користувачів усіх вікових категорій під час експлуатації системи.

Ці висновки становлять важливий внесок у розуміння сучасних можливостей сонячної енергетики та розробку ефективних та безпечних систем зарядки на її основі.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Нерівномірність освітлення Бекиров Э. А. Анализ влияния неравномерного освещения солнечных элементов на выходные параметры фотоэлектрической установки с концентраторами солнечной энергии / Э. А. Бекиров, А. П. Химич // Відновлюв. енергетика. - 2011. - № 3. - С. 25-31. - Библиогр.: 4 назв. – рус
2. Qi, F., Fu, X., Meng, L., & Lu, C.-Z. (2024). Exploring High-Performance All-Inorganic perovskite materials for Next-Generation photovoltaic Applications: A theoretical study on Cs<sub>2</sub>TiBiX<sub>6</sub> (X = Cl, Br, I). Computational and Theoretical Chemistry, 1233, 114500.
  1. <https://doi.org/10.1016/j.comptc.2024.114500>. (дата звернення: 20.05.2024).
3. Michael Taschuk (2020) What Are The Limits Of Efficiency For Perovskite Solar Cells? G2V Labs. Available from:  
<https://g2voptics.com/perovskite-solar-cell-efficiency/> (дата звернення: 20.05.2024).
4. Денисов В. А. Оцінки собівартості та можливих обсягів виробництва електроенергії сонячними електростанціями в Україні / В. А. Денисов, Н. П. Іваненко, Л. В. Чуприна // Пробл. заг. енергетики. - 2012. - № 3. - С. 45-52. - Бібліогр.: 3 назв. – укр
5. Wenger, H.J.; et al. "Decline of the Carrisa Plains PV power plant". Photovoltaic Specialists Conference, 1991., Conference Record of the Twenty Second IEEE. IEEE.
6. Буркова Є. В. Екологічна рекультивация відпрацьованих кар'єрів шляхом створення теплових геліостанцій / Є. В. Буркова, В. В. Макаров, Д. В. Бурков // Відновлюв. енергетика. – 2012. – № 4. – С. 55-58. - Бібліогр.: 4 назв.
7. Пасічний В. В. Створення сонячних високотемпературних енергоустановок з відпрацьованих радіоантен / В. В. Пасічний, В. С.

Циганенко, М. С. Пасічна, Г. С. Єлічева // Екотехнології та ресурсозбереження. – 2007. – № 6. – С. 9-15. - Бібліогр.: 15 назв.

8. Пуховий І. І. Приготування їжі за рахунок використання сонячної енергії в умовах півночі України / І. І. Пуховий, Т. В. Кошарний // Відновлюв. енергетика. - 2011. - № 1. - С. 21-26. - Бібліогр.: 8 назв. – укр

9. Андрєєв В.І., Случак О.І. Перспективні розробки в напрямку надмалих установок для отримання енергії // XXV Всеукраїнська щорічна науково-практична конференція «Могилянські читання – 2022: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти». Секція: екологія 2022-11-29.

10. Кириленко О. В. Проблеми інтеграції відновлюваних джерел електроенергії в "слабкі" електричні мережі / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, І. В. Трач // Техн. електродинаміка. - 2012. - № 3. - С. 25-26. - Бібліогр.: 3 назв. – укр

11. Рожкова Л.В. Патентний аналіз за Ціллю сталого розвитку 7 «Забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх» з використанням інструментів платформи «Derwent Innovation»: аналітична записка / Л.В. Рожкова– К.: УкрІНТЕІ, 2020. – 21 с <https://mon.gov.ua/storage/app/media/innovatsii-transfer-tehnologiy/2021/Analit.material/10.09/Enerhet/AZ.TSSR-7.Energet.10.09.pdf> (дата звернення: 20.05.2024).

12. Gupta, M., Bhatnagar, A., Dubey, A. K., Kumar, V., & Mehta, D. S. (2022). Dual Fresnel lens and segmented mirrors based efficient solar concentration system without tracking sun for solar thermal energy generation. Energy for Sustainable Development, 66, 201-208.

<https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.008>. (дата звернення: 20.05.2024).

13. Ma, X., Jin, R., Liang, S., Liu, S., & Zheng, H. (2020). Analysis on an optimal transmittance of Fresnel lens as solar concentrator. Solar Energy, 207, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.071>.

14. Kiyae, S., Saboohi, Y., & Moshfegh, A. Z. (2021). A new designed linear Fresnel lens solar concentrator based on spectral splitting for passive cooling of solar cells. *Energy Conversion and Management*, 230, 113782.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113782>. (дата звернення: 20.05.2024).

15. Bhukesh, S. K., & Kumar, A. (2023). Simulation, modeling and experimental performance investigations of novel giant water lens solar thermoelectric generator. *Energy Conversion and Management*, 295, 117656.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117656>. (дата звернення: 20.05.2024).

16. Zhang, X., Li, J., Chen, J., & Chen, F. (2023). Preliminary investigation on optical performance of linear Fresnel lens coupled compound parabolic concentrator. *Energy*, 278(A), 127910.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127910>. (дата звернення: 20.05.2024).

17. Khosravi, A., Syri, S., Pabon, J. J. G., Sandoval, O. R., Caetano, B. C., & Barrientos, M. H. (2019). Energy modeling of a solar dish/Stirling by artificial intelligence approach. *Energy Conversion and Management*, 199, 112021. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112021> (дата звернення: 20.05.2024).

18. Barreto, G., & Canhoto, P. (2017). Modelling of a Stirling engine with parabolic dish for thermal to electric conversion of solar energy. *Energy Conversion and Management*, 132, 119-135.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.011>. (дата звернення: 20.05.2024).

19. Zhao, Q., Lai, C., Zhang, H., & Hu, Z. (2023). A broad-spectrum solar energy power system by hybridizing stirling-like thermocapacitive cycles to dye-sensitized solar cells. *Renewable Energy*, 205, 94-104.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.069>. (дата звернення: 20.05.2024).

20. Dhaked, D.K., & Birla, D. (2022). Modeling and control of a solar-thermal dish-stirling coupled PMDC generator and battery based DC microgrid in the framework of the ENERGY NEXUS. *Energy Nexus*, 5, 100048.

<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100048>. (дата звернення: 20.05.2024).

21. Dong, H., Guo, J., Liu, J., Meng, T., Li, M., Chen, X., Li, N., & Alavi, H. (2021). Energy generation and storing electrical energy in an energy hybrid system consisting of solar thermal collector, Stirling engine and thermoelectric generator. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103357.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103357>. (дата звернення: 20.05.2024).

22. Raut, K., Shendge, A., Chaudhari, J., Lamba, R., & Alshammari, N. F. (2024). Modeling and simulation of photovoltaic powered battery-supercapacitor hybrid energy storage system for electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 82, 110324.

<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.110324>. (дата звернення: 20.05.2024).

23. Masaki, M. S., Zhang, L., Barzegar, F., & Xia, X. (2023). Optimal sizing of supercapacitors for cost-effective hybridization of battery-alone energy storage systems. *Journal of Cleaner Production*, 422, 138532.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138532>. (дата звернення: 20.05.2024).

24. Yasa, S., Birol, B., Donmez, K. B., & Gencten, M. (2024). Recovery of cobalt based materials from spent Li-ion batteries and their use as electrode material for supercapacitor. *Journal of Energy Storage*, 81, 110291.

<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.110291>. (дата звернення: 20.05.2024).

25. Khan, J., Shakeel, N., Iqbal, M. Z., & Al-Kahtani, A. A. (2024). Zincronization-induced surface modification of CoMn phosphate for improved electrochemical performance in battery-supercapacitor hybrid systems. *Journal of Energy Storage*, 81, 110432. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.110432>.



26. Alharbi, A.G., Olabi, A.G., Rezk, H., Fathy, A., & Abdelkareem, M.A. (2024). Optimized energy management and control strategy of photovoltaic/PEM fuel cell/batteries/supercapacitors DC microgrid system. *Energy*, 290, 130121.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130121>. (дата звернення: 20.05.2024).

27. Shamaeizadeh, A., Astarai, F. R., & Kasaeian, A. (2024). Investigating the effect of adding silver nanoparticles to hybrid crystalline silicon solar cells. *Results in Optics*, 14, 100598.

<https://doi.org/10.1016/j.rso.2023.100598>. (дата звернення: 20.05.2024).

28. Maalouf, A., Okoroafor, T., Jehl, Z., Babu, V., & Resalati, S. (2023). A comprehensive review on life cycle assessment of commercial and emerging thin-film solar cell systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, 113652.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113652>. (дата звернення: 20.05.2024).

29. Kmichou, M., Masrour, R., Xu, L., Hlil, E.K., & Rezzouk, A. (2024). Study of electronic, optical and photovoltaic properties of lead-free double perovskite Cs<sub>2</sub>AgXBr<sub>6</sub> (X = Bi, Sb): An ab initio calculations. *Computational Materials Science*, 235, 112805.

<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2024.112805>. (дата звернення: 20.05.2024).

30. Shahabi, T., Heidarzadeh, H., & Bahador, H. (2023). Dual metallic-based plasmonic back reflector to broaden the absorption spectra of a thin film amorphous silicon solar cell. *Optics Communications*, 544, 129623.

<https://doi.org/10.1016/j.optcom.2023.129623>. (дата звернення: 20.05.2024).

31. He, L., Xu, Y., Lei, Q., Yuan, S., Mao, W., Luo, H., Li, X., Qian, Y., Hu, D., & Gan, S. (2022). Improve solar cell performance of high-performance multicrystalline silicon seeded with low-cost compact nucleation layer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 236, 111509.

<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111509>. (дата звернення: 20.05.2024).

32. Saxena, A., Kumar, R., Amir, M., & Muyeen, S. M. (2024). Maximum power extraction from solar PV systems using intelligent based soft computing strategies: A critical review and comprehensive performance analysis. *Heliyon*, 10(2), e22417.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22417>. (дата звернення: 20.05.2024).

33. Ren, Y., Liu, A., Mao, X., & Li, F. (2021). An intelligent charging scheme maximizing the utility for rechargeable network in smart city. *Pervasive and Mobile Computing*, 77, 101457.

<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2021.101457>. (дата звернення: 20.05.2024).

34. Андреев В.І., Случак О.І., Случак О.І., Алексеєва А.О., Крисінська Д.О. Розробка методики моделювання стану водної екосистеми на основі методів екологічної стехіометрії з урахуванням енергетичного підходу // Вісник Хмельницького національного університету №6, 2022 (315). с 10-23  
DOI:

<https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-10-23> (дата звернення: 20.05.2024).

35. Романюк М. О., Крочук А. С., Пашук І. П. Оптика. — Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. — 564 с.

36. Лінза. (2023, листопада 26). Вікіпедія. Процитовано 07:34, лютого 20, 2024 з

37. Ландсберг Г.С. Елементарний підручник фізики. — 13-е изд. — М : Физматлит, 2003. — С. 249-266. — ISBN 5922103512.

38. Optical constants of (C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>)<sub>n</sub> (Polyethylene terephthalate, PET). Refractive index database.

Архів оригіналу за 28 квітня 2021. Процитовано 20 лютого 2024  
<https://web.archive.org/web/20210428125409/https://refractiveindex.info/?shelf=o>

[rganic&book=polyethylene terephthalate&page=Zhang](#). (дата звернення: 20.05.2024).

39. Optical constants of Air. Refractive index database. Архів оригіналу за 28 квітня 2021. Процитовано 20 лютого 2024. «Wavelength: 0.5893μm, Standard conditions. 0 °C, 760 torr (101.325 kPa).»  
<https://refractiveindex.info/?shelf=other&book=air&page=Borzsonyi> (дата звернення: 20.05.2024).

Додаток А

