

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Литвиненко О.Є.
“ _____ ” _____ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“МАГІСТР”**

Тема: “Програмна система керування альтернативним джерелом енергії”

Виконавець: _____ Сокоренко Максим Богданович

Керівник: _____ Халімон Наталія Федорівна

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Нормоконтролер: _____ Тупота Євгеній Вікторович

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Системне програмування»

Форма навчання денна

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Литвиненко О.Є.

“ ” 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи (проєкту)

Сокоренка Максима Богдановича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту) “Програмна система керування альтернативним джерелом енергії”

затверджена наказом ректора від « 16 » 09 2022 р. № 1530/ст

2. Термін виконання роботи (проєкту): з 05 09 2022 року по 30 11 2022 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту):

Середовище розробки Arduino IDE, мікроконтролер Arduino UNO R3, мова програмування Arduino C/C++, сонячна панель, модуль заряджання акумулятора TP4056, голосовий модуль Voice Recognition Module V3.1, модуль позиціонування GPS NEO-6M.

4. Зміст пояснювальної записки: _____

1) Аналіз проблеми підключення джерел альтернативної енергії

2) Технології розробки апаратних та програмних засобів для підключення джерела альтернативної енергії.

3) Проектування програмної системи підключення альтернативного джерела енергії.

4) Розробка програмної системи підключення альтернативного джерела енергії жирним.

5) Дослідження ефективного визначення використання джерела альтернативної енергії.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

1) Принципова схема підключення додаткового джерела енергії.

2) Схема алгоритму програмної системи керування альтернативним джерелом енергії.

3) Принципові схеми визначення положення Сонця.

4) Вікно з результатом роботи голосового модуля.

5) Вікно з результатом роботи програмної системи.

6) Результати порівняння методів обертання альтернативного джерела енергії.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Ознайомитись з постановкою задачі кваліфікаційної роботи	05.09.22-07.09.22	
2	Створити список спеціальної використовуваної літератури	08.09.22-14.09.22	
3	Ознайомитись з найбільш популярними способами видобутку альтернативної енергетики, їхніми перевагами та недоліками, та способами побудови апаратних систем.	15.09.22-18.09.22	
4	Ознайомитись із способами використання геліоенергетики, основними та додатковими апаратними компонентами побудови апаратного модуля	19.09.22-24.09.22	
5	Написати розділ 1	25.09.22-30.09.22	
6	Детально ознайомитись із технологіями розробки апаратних модулів та програмних засобів для підключення джерела геліоенергетики	01.10.22-05.10.22	
7	Написати розділ 2	06.10.22-12.10.22	
8	Ознайомитись із методами побудови апаратних модулів та програмних систем видобутку сонячної енергії. Спроектувати апаратну та програмну системи підключення альтернативного джерела енергії	13.10.22-17.10.22	
9	Написати розділ 3	18.10.22-24.10.22	
10	Розробити програмну систему підключення альтернативного джерела енергії	25.10.22-04.11.22	
11	Написати розділ 4	05.11.22-10.11.22	
12	Провести дослідження ефективного визначення використання джерела енергії	11.11.22-14.11.22	
13	Написати розділ 5	15.11.22-18.11.22	
14	Оформити пояснювальну записку. Підготувати графічний демонстраційний матеріал	19.11.22-30.11.22	
15	Підготувати презентацію, доповідь	31.11.22	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

8. Дата видачі завдання: “ 05 ” вересня 2022 р.

Керівник кваліфікаційної роботи (проєкту) _____ Халімон Наталія Федорівна
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Сокоренко Максим Богданович
(підпис здобувача вищої освіти) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи “Програмна система керування альтернативним джерелом енергії”: 90 с., 13 рис., 2 таблиці, 37 літературних джерел.

АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ, ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКА, ПРОГРАМНА СИСТЕМА, АПАРАТНИЙ МОДУЛЬ, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, МІКРОКОНТРОЛЕР, *ARDUINO UNO*, ГОЛОСОВИЙ МОДУЛЬ, МОДУЛЬ ЗАРЯДЖАННЯ, СЕРВОДВИГУНИ, *ARDUINO IDE*.

Об’єкт дослідження – системи автоматизації видобутку альтернативної енергетики.

Предмет дослідження – програмна система підключення альтернативного джерела енергії з використанням сонячної панелі.

Мета дослідження – проектування та розробка програмної системи підключення альтернативного джерела енергії.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці програмних та апаратних систем підключення альтернативного джерела енергії для автоматизації видобутку альтернативної енергії.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	14
1.1. Види альтернативної енергетики.....	14
1.2. Новітні рішення автоматизації видобутку альтернативної енергетики	18
1.3. Геліоенергетика	24
1.4. Висновки до розділу.....	30
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ	31
2.1. Апаратні технології автоматизації видобутку альтернативної енергії	31
2.2. Програмні засоби автоматизації видобутку альтернативної енергії	36
2.3. Висновки до розділу.....	41
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ	43
3.1. Алгоритми для визначення напрямку повороту сонячної панелі.....	43
3.2. Проектування апаратної системи	48
3.3. Проектування програмної системи	57
3.4. Висновки до розділу.....	62
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЖИРНИМ.....	64
4.1. Налаштування програмного середовища розробки системи	64
4.2. Розробка функції керування рухом сонячної панелі	66

4.3. Розробка функції розпізнавання голосової команди	68
4.4. Розробка функції визначення рівня заряду акумулятора	73
4.5. Висновки до розділу	75
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ	
ДЖЕРЕЛА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ	76
5.1. Переваги та недоліки способів визначення положення Сонця	76
5.2. Порівняння результатів обчислення положення Сонця	77
5.3. Висновки до розділу	81
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Голосовий модуль – виконаний у вигляді мікросхеми спеціалізований комп'ютер, що включає мікропроцесор, оперативну та постійну пам'ять для збереження виконуваного коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші).

Принципова схема – схема, що визначає повний склад елементів і зв'язків між ними і, як правило, дає детальне уявлення про принципи роботи виробу (установки).

Фоторезистор – фотоелектричний напівпровідниковий приймач випромінювання, принцип дії якого ґрунтується на ефекті фотопровідності – явищі зменшення опору напівпровідника у разі збудження носіїв заряду світлом. Характеризується однаковою провідністю незалежно від напрямку протікання струму.

IDE – інтегроване середовище розробки, комплексне програмне рішення для розробки програмного забезпечення, що, зазвичай, складається з редактора початкового коду, інструментів для автоматизації складання та відлагодження програм.

ВСТУП

Щороку кількість споживаної електроенергії значно зростає із різким демографічним ростом і, як наслідок, збільшенням кількості підприємств, що споживають велику кількість електроенергії. Задля зменшення впливу на екологію планети, необхідно використовувати альтернативні способи видобутку електроенергії, об'єми якої задовольнятимуть потребам споживання, а також не забруднюватимуть навколишнє середовище.

Основним аналогом електроенергії, видобутої внаслідок спалювання корисних копалин, є енергетика, видобута за допомогою відновлюваних джерел енергії, серед яких є: сонце, вода, вітер, біологічні рештки і біопаливо, та джерела тепла. Перевагою такого способу видобутку електроенергії є його екологічна чистота та можливість видобутку електроенергії у будь-якій місцевості. Сонячні панелі доцільно використовувати у пустелях біля житлової місцевості, оскільки вони потребують великої території для розташування, а також періодичного очищення від пилу. Вітрові електростанції доцільно використовувати на схилах, оскільки на них відбуваються зіткнення теплого та холодного повітря і утворюються сильні повітряні маси. Водяні електростанції можуть розташовуватись як в морях і океанах, так і в озерах. Біопаливо використовує біологічні рештки для видобутку електроенергії, тому їх доцільно використовувати в густонаселених місцях. Геотермальні установки використовуються біля ущелин на дні морів та океанів, оскільки вони віддають величезну кількість тепла, що використовується для утворення електроенергії.

Станом на 2018 рік, всесвітня потужність видобутку сонячної енергетики становить понад 486 *ГВт*. Використання гідроелектростанцій є найбільш поширеним способом видобутку відновлюваної електроенергії, всесвітня потужність яких становить понад 1295 *ГВт*, що покриває 54% від глобальної потужності виробництва відновлюваної енергії та становить понад 18% від всієї глобальної потужності виробництва енергії. Всесвітня потужність вітрових

електростанцій, станом на 2018 рік, становить понад 563 *ГВт*, що складає близько 24% від глобальної потужності виробництва відновлюваної енергії. Світова потужність видобутку енергії з біомаси, станом на 2018 рік, становить понад 117 *ГВт*. Світова потужність геотермальних установок, станом на 2019 рік, становить понад 85 *ГВт*, з яких 15% припадають на вироблення тепла.

Збільшення кількості отримуваної альтернативної електроенергії відновлюваними джерелами може відбуватись завдяки використанню апаратних та програмних систем. Апаратні та програмні системи можуть використовуватись як окремо, так і разом, доповнюючи одна одну. Збільшення виробленої електроенергії сонячними панелями відбувається за допомогою апаратних установок, які обертають сонячні панелі в напрямку сонця, у той час, як програмна система здійснює обчислення положення сонця та підтримує роботу усіх компонентів апаратної системи. Апаратна система вітрових електростанцій використовує лопаті різного типу, що здатні обертатись під дією сили вітру, а також здійснювати рух лопатей в напрямку вітру для збільшення впливу вітру на роботу системи, у той час, як програмна система визначає напрямок руху та силу вітру. Апаратна система водяних електростанцій використовує гідротурбіни, що здатні обертатись під дією сили води та виробляти електроенергію, у той час, як робота програмної системи полягає у контролі за працездатністю складових апаратної системи. Біопаливні установки потребують використання великої кількості складних апаратних установок, що здійснюють обробку біологічних решток та перетворюють їх в електроенергію, у той час, найголовнішою задачею програмних систем є контроль за якістю та кількістю отримуваної електроенергії, а також забезпечення найменшого втручання людини в роботу системи. Основним апаратним компонентом геотермальних установок є пароперетворювач, який здатний отриману пару із свердловин перетворити у електроенергію, у той час, як програмні системи здійснюють контроль за безпекою роботи апаратної системи.

Станом на 2022 рік, лідерами серед держав, що займаються видобутком сонячної електроенергії є Японія, Франція, Італія, Іспанія, Сполучені Штати Америки, Китай, Канада та Німеччина. Вони виробляють близько 75-78%

електроенергії від світового виробництва за допомогою сонячних електростанцій. Лідерами ринку видобутку сонячної енергетики станом на 1 серпня 2022 року є: “*NextEra Energy*” (капітал становить 167.7 млрд. доларів), “*Brookfield Renewable*” (капітал становить 6.7 млрд. доларів), “*Clearway Energy*” (капітал становить 4.4 млрд. доларів), “*First Solar*” (капітал становить 10.6 млрд. доларів), “*SolarEdge Technologies*” (капітал становить 19.9 млрд. доларів). Серед найбільш продуктивних країн виробників вітрової енергетики можна виділити Китай (115 тис. *MВт/рік*), Сполучені Штати Америки (66 тис. *MВт/рік*), Німеччина (40 тис. *MВт/рік*), Іспанія (23 тис. *MВт/рік*), Індія (23 тис. *MВт/рік*), Великобританія (13 тис. *MВт/рік*), Франція (10 тис. *MВт/рік*), Канада (10 тис. *MВт/рік*) та Італія (9 тис. *MВт/рік*). Лідерами по виробленню гідроенергетики по абсолютним значенням є Китай, Канада та Бразилія, а на душу населення – Норвегія, Ісландія та Канада. Найбільша в світі гідроелектростанція “*Sanxia*” розташована у Китаї та має потужність близько 22500 *MВт*. Світовими лідерами виробництва біоенергетики, станом на 2022 рік, вважаються США, Бразилія, Німеччина та Китай, Індонезія, пр цьому світовий показник об’єму виробленого біодизеля сягає 49,1 млн. тонн. Країнами-лідерами по видобутку геотермальної енергетики, станом на 2015 рік, стали Сполучені Штати Америки, Філіппіни та Індонезія, сумарна потужність геотермальних установок яких, перевищує 13 тис. *MВт*.

Сфера використання апаратної та програмної частин системи, яка розроблена, передбачає використання їх в домашніх умовах та для масового видобутку електроенергії при умові адаптації апаратної системи для роботи з великою кількістю сонячних панелей. Принцип роботи системи полягає у визначенні положення сонця, організації обертання сонячної панелі у його напрямку за допомогою двох двигунів, заряджання акумуляторного пристрою, під’єданого до сонячної панелі, та отримання інформації про поточний заряд акумулятора шляхом голосового керування системою.

Спроектвана апаратна система підключення альтернативного джерела енергії, а саме сонячної панелі, містить ряд компонентів, які призначені для керування ними користувачем. Керування роботою програмної системи

підключення альтернативного джерела енергії здійснюється за допомогою мікроконтролера *Arduino UNO R3*. Існує велика кількість апаратних обчислювальних платформ, найчастіше використовуваними серед яких, є сімейство *Arduino*, *Raspberry Pi* та *STM32*. Усі вони відрізняються між собою, проте мікроконтролери сімейства *Arduino* є найчастіше використовуваними через свою простоту, можливість під'єднання великої кількості додаткових апаратних модулів та вартість. Обчислення напрямку обертання сонячної панелі відбувається з використанням спеціального алгоритму, без використання додаткових модулів, принцип якого базується на наявності вхідних даних, серед яких – координати положення апаратної системи та поточний час в регіоні. Визначення координат поточного місцезнаходження системи здійснюється за допомогою використання *GPS*-модуля (*Global System for Mobile Communications*) *GPS NEO-6M*. Розпізнавання голосових команд користувача здійснюється за допомогою модуля розпізнавання голосу *Voice Recognition Module V3.1*, оскільки даний модуль є компактним та простим у керуванні процесом розпізнавання голосу. Керування обертанням сонячної панелі здійснюється за допомогою серводвигунів *SG90*, конструкція яких складається лише із двигуна, датчика позиціонування та керуючої системи. Оскільки рух панелі здійснюється в горизонтальній та вертикальній площинах, а також вага сонячної панелі є невеликою, необхідність використання більш потужних і дорогих двигунів відсутня. Утримування сонячної панелі здійснюється за допомогою укріплюючих елементів на невеликій відстані від серводвигунів для забезпечення вільного обертання панелі навколо власної осі без ризику зіткнення з іншими елементами системи. Заряджання акумулятора неможливе без використання окремого модуля *TP4056*, що здійснює контроль заряджання, *Li-Ion* та *Li-Po* акумуляторів та містить датчик контролю температури. Виведення результату обробленої голосової команди здійснюється за допомогою графічного дисплею (екрану) типу *TFT LCD*.

Розроблена програмна система керування альтернативним джерелом енергії містить ряд функцій, що керують роботою усієї системи, серед яких:

- функція керування рухом сонячної панелі за допомогою математичних формул обчислення положення Сонця та координат системи;
- розпізнавання голосових команд користувача;
- обчислення рівня заряду акумулятора у відсотках та виведення його на дисплей.

Програмна система керування альтернативним джерелом енергії спроектована в середовищі *Arduino IDE (Integrated Development Environment)*. Дане середовище розробки використовує власну мову програмування *Processing/Wiring*, яка має схожість із мовами програмування *C* та *C++*, та призначене для програмування всіх плат сімейства *Arduino*. *Arduino IDE* надає можливість створювати програми в зручному текстовому редакторі, компілювати їх в машинний код та завантажувати на мікроконтролер. Компілятор *Arduino IDE* має назву *AVR-GCC* та значно спрощує написання програм для мікроконтролера *Arduino*.

Мова програмування *Wiring* спроектована на базі мов програмування *Processing*, *C* та *Java*. *Wiring* є низькорівневою мовою програмування, призначеною для створення програм для процесорів, проте вона також надає можливість створення програм з використанням графічних бібліотек, таких як *OpenGL*.

Предмет дослідження – програмна система підключення альтернативного джерела енергії з використанням сонячної панелі.

Мета дослідження – проектування та розробка програмної системи підключення альтернативного джерела енергії.

Мета дослідження – розробити програмну систему підключення альтернативного джерела енергії.

Постійне підвищення потреби в електроенергії, нові, вкрай енерговитратні споживачі – гігантські дата-центри, електромобілі для масового ринку змушують людство шукати альтернативні джерела енергії. Важливо, щоб вони були не лише високо ефективними та екологічно чистими, але і спроможними виробляти якомога більшу кількість електроенергії, тому тема дипломного проєкту “Програмна система керування альтернативним джерелом енергії” є актуальною.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1. Види альтернативної енергетики

Видобуток та спалювання горючих корисних копалин для виробництва тепла та електроенергії у промислових масштабах щорічно стає більшою проблемою для навколишнього середовища. Видобуток рідких та газоподібних речовин із надр землі спричиняють утворенню пустот, внаслідок чого, змінюється ландшафт, що негативно впливає на екологію. Видобуток твердих корисних копалин, таких як кам'яне вугілля, спричиняють зсуви земельних угідь, забруднюють ґрунти, ґрунтові, підземні та поверхневі води, через дуже глибоке розташування родовищ вугілля. Проте найбільший вплив на екологію спричиняють спалювання корисних копалин, внаслідок чого, забруднюється атмосфера, створюється парниковий ефект, в результаті чого, відбуваються глобальні зміни в природі, такі як, танення льодовиків і масові лісові пожежі, і як результаті, масові смерті скота та диких тварин. Усе це наносить непоправної шкоди навколишньому середовищу, тому великої популярності набувають способи отримання електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії. Серед основних альтернативних джерел видобутку електроенергії є:

- геліоенергетика (детальніше у розділі 1.3);
- гідроелектростанції (видобуток електроенергії за допомогою водних мас);
- вітрові електростанції;
- біоенергетика, тобто видобуток електроенергії, який заснований на використанні біопалива;
- геотермальні установки.

Використання гідроелектростанцій є найбільш поширеним способом видобутку відновлюваної електроенергії, всесвітня потужність яких становить

понад 1295 *ГВт*, що покриває 54% від глобальної потужності виробництва відновлюваної енергії та становить понад 18% від всієї глобальної потужності виробництва енергії [1]. Існують різні методи видобутку електроенергії базуючись на використанні води, однак найрозповсюдженіший серед них передбачає будівництво дамб на річках і скидання води з водосховища для приведення в рух турбін.

Основними перевагами у використанні гідроенергетики є:

- відсутність викидів вуглекислого газу в атмосферу, що спричиняє парниковий ефект;
- надійність у використанні, що полягає у передбачуваності руху потоку води і, як результат, правильному визначені місця розташування дамби;
- безпечність використання, оскільки єдиним паливом для живлення електростанції є вода, отже відсутня можливість викиду шкідливих речовин у воду.

З основних недоліків використання гідроенергетики можна виділити:

- порушення стоку річок при побудові дамби може значно вплинути на екологічну складову місцевості;
- висока вартість побудови станції;
- складність пошуку водойми, що міститиме великий цілорічний запас води та знаходитиметься у невеликій відстані до найближчих ліній електропередач.

Другим серед найчастіше використовуваних альтернативних джерел енергії є вітер. Всесвітня потужність вітрових електростанцій, станом на 2018 рік, становить понад 563 *ГВт*, що складає близько 24% від глобальної потужності виробництва відновлюваної енергії [2].

Основними перевагами використання вітрової енергетики є:

- відсутність викидів парникових газів та безмежність у використанні;
- низькі експлуатаційні витрати;
- ефективність використання земельного простору.

Загалом, вітрові електростанції займають достатньо велику частку земельних угідь, оскільки турбіни повинні розташовуватись на великій відстані один від

одного, проте, оскільки більша частина турбін знаходиться у повітрі, земельну частку можна використовувати для сільськогосподарських цілей [3].

Недоліками використання вітрової енергетики є:

- розташування станцій на далекій відстані від населених пунктів, таким чином, необхідно додатково встановлювати лінії електропередач поблизу станцій, що несе за собою додаткові витрати;
- шум, що створюється як під час руху лопатей турбіни, так і через вітровий вихор;
- непостійність видобутку електроенергії, що супроводжується зміною погодних умов та клімату;
- нанесення шкоди місцевій фауні, а саме птахам, які часто потрапляють під леза лопатей [4].

Четвертим за величиною видобутку альтернативної енергетики відновлюваним джерелом енергії є біоенергетика. Світова потужність видобутку енергії з біомаси, станом на 2018 рік, становить понад 117 ГВт. Для видобутку енергії найчастіше використовується деревні гранули та біомаса поряд із традиційними джерелами біомаси, такими як побічні продукти сільського господарства [5].

Серед основних переваг використання біоенергетики у порівнянні з іншими видами джерел є:

- малі викиди вуглецю в атмосферу, що є головним фактором у зміні клімату;
- різноманітність створюваної енергії, серед яких є створення біодизеля, метану та низки інших видів біопалива;
- дешевизна перероблювання біомас та висока доступність;
- колосальне зменшення відходів, що значно впливає на навколишнє середовище.

Проте є і ряд недоліків при використанні даного типу енергетики, через які він не є найпопулярнішим типом:

- частково спричиняє вирубку лісів для вироблення пари, що приводять турбіни в рух;

- спалювання деревини супроводжується додатковими викидами газів у атмосферу;
- необхідність використання прісної води у виробництві.

П'ятим найбільш популярним альтернативним джерелом видобутку електроенергії вважаються геотермальні установки, світова потужність яких становить 85 ГВт , з яких 15% припадають на вироблення тепла [6]. Даний спосіб видобутку базується на отриманні тепла Землі шляхом буріння свердловин та використанні даної енергії для нагріву води або будь-якої іншої рідини [7]. Існують три способи перетворення геотермальної енергетики в електроенергію:

- з безпосереднім використанням природної пари. Даний спосіб передбачає використання паротурбінної установки з тиском, під час роботи якої природна пара із свердловини подається на турбіну, а з неї – в установку, що здійснює вловлювання цінних хімічних речовин.
- з використанням природної пари з конденсаційною трубою. Пара зі свердловини подається в турбіну, після чого потрапляє у змішуючий конденсатор. Відпрацьована вода та конденсат потрапляють у підземний бак для подальшого охолодження в градирні (пристрій охолодження великої кількості води направленим потоком повітря).
- з пароперетворювачем. Даний спосіб є найбільш вживаним у випадках, в яких природна пара містить великий вміст газів та має високу температуру. Пара зі свердловини потрапляє у пароперетворювач, після чого, відпрацьована пара потрапляє у конденсатор, а чиста вторинна пара потрапляє у конденсаційну турбіну.

Використання геотермальних установок для видобутку електроенергії містить великий ряд переваг:

- низька забруднюваність атмосферного повітря та мала кількість викиду парникових газів;
- вироблення великої кількості електроенергії за рахунок великих запасів відновлюваних джерел тепла;
- низькі експлуатаційні витрати та відсутність необхідності постійного обслуговування;

- високий рівень відновлюваності та вироблення тепла за рахунок обертання ядра Землі;
- постійність у виробленні електроенергії. На відміну від сонячних панелей або вітрових станцій, які здатні працювати лише при наявності сонячних променів або вітру, геотермальна енергетика здатна забезпечувати постійне електропостачання.

Проте, є ряд недоліків, через які даний вид видобутку електроенергії не вважається лідером серед альтернативних джерел видобутку електроенергії:

- залежність від географічного розташування, оскільки, геотермальна активність найбільш висока уздовж тектонічних розломів Земної кори;
- велика ймовірність руйнацій частин станцій через близьке розташування до тектонічних розломів;
- висока вартість будівництва геотермальних станцій;
- необхідність ретельного управління геотермальними резервуарами, оскільки їм властиве швидке вичерпання запасів, і як результат, необхідність довготривалого очікування відновлення запасів резервуарів.

1.2. Новітні рішення автоматизації видобутку альтернативної енергетики

Видобуток альтернативної енергетики супроводжується використанням програмно-апаратних рішень, за допомогою яких відбувається накопичення електроенергії та контроль за якістю її видобутку. Основна відмінність програмних систем полягає у якості автоматизації контролю системи та у простоті контролю за якістю роботи системи інженерами.

Велика кількість компаній зосереджується видобутку “зеленої” електроенергетики використовуючи відновлювані джерела енергії та відрізняються між собою якістю, кількістю та екологічністю отримуваної енергетики. Лідерами ринку видобутку “чистої” енергетики станом на 1 серпня 2022 року є: “*NextEra Energy*” (капітал становить 167.7 млрд. доларів), “*Brookfield Renewable*” (капітал становить 6.7 млрд. доларів), “*Clearway Energy*” (капітал становить 4.4 млрд.

доларів), “*First Solar*” (капітал становить 10.6 млрд. доларів), “*SolarEdge Technologies*” (капітал становить 19.9 млрд. доларів).

Гідроелектростанції можуть відрізнятись одна від одної в залежності від розташування, з урахуванням сили потоку води, розмірів та іншим. Проте кожна гідроелектростанція містить у собі:

- водосховище;
- затвор, який регулює силу струменю води, що потрапляє на турбіну;
- гідротурбіну, яка приводить в рух генератори;
- генератор, за допомогою якого відбувається вироблення електроенергії.

Принцип побудови гідроелектростанцій полягає у побудові гідротехнічної установки, що забезпечує постійний рух води в напрямку лопатей турбіни, у результаті чого лопаті приводяться в рух і забезпечують вироблення електроенергії генераторами.

Новітнє рішення видобутку енергії завдяки водяним масам під назвою *Deep Green* було представлено шведською компанією *Minesto*. Інноваційність даної технології полягає у використанні спеціально розроблених планерів, що візуально подібні на безпілотні літальні апарати. Вони призначені для видобутку електроенергії завдяки підводним течіям. Відмінність даної технології від її конкурентів у сфері гідроенергетики є крило установки, розміри турбіни і той факт, що вся установка знаходиться під водою. Крило штовхає турбіну через воду по восьмикутній траєкторії, охоплюючи велику площу з відносною швидкістю, яка в декілька разів перевищує фактичну швидкість підводної течії. Турбіна передає енергію генератору, а генератор пропускає її через силовий кабель. Шланг на морському дні передає електроенергію на берег. Важливою перевагою даної технології, що силу припливів, які утворюються за рахунок обертання Землі, Сонця та Місяця, можливо доволі точно визначити, що дозволяє передбачити поведінку даної технології в конкретних умовах.

Американська компанія *Northwest Energy Innovations (NWEI)* розробила водяну електростанцію *Azura*, що працює за рахунок хвиль, та представляє собою маятник, нижня частина якого прикріплена до рельєфу дна океану. Дана технологія

здатна виробляти електроенергію завдяки руху як горизонтальних, так і вертикальних хвиль, шляхом відносного обертального руху поплавка. Поплавок, що прикріплений до ротора з генератором, здатний безперервно обертатись на 360 градусів або коливатись вперед і назад, що дозволяє даній станції виробляти електроенергію в середовищах з бурхливими течіями, що значно підвищує загальну ефективність системи. Рух генератора відбувається за рахунок гідравлічної системи з високим тиском. Кругові оберти поплавка перетворюються в електроенергію завдяки роботі генератора, та передається до станції через підводний кабель. Даний пристрій здатний виробляти понад 20 кВт електроенергії.

Шотландські компанії *Equinor* та *Masdar* сумісно розробили першу в світі комерційну вітрову електростанцію *Huwind Scotland* у поєднанні із плавучими турбінами потужністю 6 МВт кожна. Дана станція розміщується приблизно в 25 кілометрах від берега за допомогою спеціальних якорів, що утримують дані станції на глибині до 800 метрів. До складу електростанції входить до п'яти вітряків, висота мачти яких над поверхнею оди складає 176 метрів, а під водою – 78 метрів. Особливістю та перевагою даної технології є використання спеціально розробленого програмного забезпечення, яке здатне змінювати кут повороту лопатей вітрового генератора в залежності від сили вітру та зменшувати негативний вплив вертикальних коливань хвиль на роботу станції. Від кожного вітрового генератора відходять кабелі, які підключається до електромережі міст.

Вітрові електростанції значущо відрізняються між собою і в більшості випадках розробляються індивідуально для споживача. В залежності від масштабів видобутку електроенергії, вітрові станції відрізняються розмірами, потужністю, бюджетом, працездатністю в залежності від погодних умов, тощо.

Основний принцип побудови вітрових електростанцій полягає у використанні наступних компонентів:

- утримуючої підставки та ніжки;
- валу лопатей;
- генератора;
- поворотного механізму;

- програмного модуля;
- сенсорів реагування на вітер.

Початковий рух лопатей може здійснюватись за допомогою генератора, що подає напругу на вал лопатей, оскільки початковий рух лопатей потребує прикладення великої кількості сили, чого неможливо досягнути при малій силі вітру. За допомогою сенсорів реагування на вітер, програмний модуль здатний визначити напрямок руху вітру і у разі необхідності привести в рух поворотний механізм для зміни напрямку лопатей.

Однією із найбільш вживаних вітрових електростанцій домашнього користування є вітрогенератор “*Tumo-Int*” 1000 *Вт*. Серед основних переваг даної системи є надійність конструкції, автоматичне регулювання напрямку повороту лопатей та низький рівень шуму та вібрації, що є однією із найбільших переваг в домашньому користуванні. Проте даний вітрогенератор має високу ціну, але оскільки довготривалість користування даною станцією розрахована на 15 років роботи без обслуговування, дана система окуповує свою цінність.

Серед найкращих вітрових електростанцій, що знаходяться поза містом, є вітрогенератор *Ramsond Atlas LM3500* компанії *Ramsond*. Завдяки своїй великій потужності та довговічності *Atlas LM3500* забезпечує необхідну продуктивність і надійність. Основними перевагами користування даною електростанцією є автономність, висока номінальна потужність понад 3000 *Вт*, низька швидкість вітру, при якій можлива робота вітрогенератора, та висока номінальна швидкість вітру, при якій система здатна стабільно працювати.

Новітня технологія норвезької компанії *Equinor* розробляє вітрові станції, які не використовують рухомі лопаті для вироблення електроенергії. Натомість, дана технологія представляє собою витягнутий циліндр висотою 3 метра на рухомій платформі, який здатний коливатись вперед-назад під дією сили вітру. Верхня частина системи складається із вуглецевого волокна термін придатності якого оцінюється в 25 років. Через відсутність рухомих лопатей, дана технологія є набагато тихішою, компактнішою та дешевшою в обслуговуванні та здатна легше адаптуватись до зміни вітру в порівнянні із вітровими станціями із лопатями.

Відсутність рухомого генератора унеможливорює ризик замерзання генератора у зоні низьких температур, що дозволяє використовувати дані станції в країнах з довготривалими морозами. Основною перевагою даної технології є її компактність, що дозволяє розміщувати велику кількість станцій на малій території, та безпечність, оскільки відсутність гострих лопатей не несе небезпеки для перелітних птахів та інших тварин.

Вироблення біоенергетики відбувається за допомогою установки, принцип роботи якої залежить від перероблюваних біомас. Найчастіше використовуваною установкою є біогазова установка. Вона містить у собі:

- збірник сировини;
- змішувач;
- теплообмінник-утилізатор;
- теплообмінник-підігрівач;
- водонагрівальний котел;
- збірник залишків.

Принцип роботи біогазової установки полягає у розкладанні відходів у закритих реакторах під дією бактерій, утворюючи метан, який в подальшому використовується у газових установках.

Серед провідних компаній видобутку енергії з біопалива вважається компанія *EnviTec Biogas AG*, яка пропонує широку колекцію для всіх аспектів енергії, яка виробляється з біомаси. Компанія пропонує спеціально адаптовані концепції установок, які забезпечують комплексне обслуговування, починаючи від екологічних концепцій для біометану до маркетингу електроенергії, а також концепцій опалення, що є однозначною перевагою серед інших компаній. На додаток до всього цього компанія також керує власними біогазовими установками за допомогою місцевих партнерів у сфері сільського господарства та енергетики.

Компанія *Drax Group* є однією із небагатьох, що створює недорогу енергію з нульовим викидом вуглецю, яка використовує пресовані дерев'яні гранули, які виробляються з екологічно чистих лісів. Компанія *Drax Group* постачає близько 20% загальної біомаси, яка використовується *Drax Power Station*. Даний вид

біоенергетики використовується для генерації гнучкої та відновлюваної енергії для будинків і підприємств.

Видобуток електроенергії за допомогою пристроїв геотермальних електростанцій може здійснюватись різними способами. Найбільш популярний спосіб побудови геотермальної установки полягає у використанні:

- турбогенератора;
- електромережі;
- пункту теплопостачання з градирнею.

Гаряча вода або пар поступають із порожнин із гарячою водою в турбогенератор, який під дією пари або води приводить в рух генератор, який виробляє електроенергію. Після цього, залишкова вода потрапляє у пункт теплопостачання з градирнею та повертається у порожнини.

Новітнє рішення компанії “*Exergy LLC*”, заснованої українським інженером Олександром Калиною, базується на використанні термодинамічного циклу на двоконтурному (бінарному) принципі, під час роботи якого, вода передає свою енергію водо-аміачній суміші, що підвищує коефіцієнт корисної дії геотермальної електростанції на 25-50%. Станом на 2021 рік, геотермальні електростанції побудовані з використанням даної системи розташовані в США, Ісландії, Японії та Німеччині. Також дане рішення застосовується у металургійних та нафтопереробних заводах.

Проте рішення компанії “*Exergy LLC*” має великий недолік, що полягає у додатковому викиді парів аміаку у атмосферу, що спричиняє підвищення рівня парникового ефекту та більш негативно впливає на навколишнє середовище. Проте даний спосіб більш екологічний у порівнянні з традиційними способами видобутку електроенергії.

Завдяки новітнім технологіям видобутку електроенергії геотермальними електростанціями, компанія-лідер “*Raser Technologies*” здатна забезпечувати електроенергією близько 15 тисяч будинків. Принцип роботи електростанції полягає у використанні гарячих підземних вод, що подаються у спеціальний пристрій, який за допомогою принципів теплообміну виробляє пару, яка, в свою чергу, приводу у

рух турбіну, що виробляє електроенергію. Особливість даної технології полягає у тому, що робота геотермальної станції не потребує вилучення водних ресурсів із землі. Вода піднімається у систему, проходить процес виділення пари та закачується в землю. Даний спосіб отримав широке застосування, оскільки при його використанні не відбувається осушування навколишніх земель, що значно позитивно впливає на збереження навколишньої екологічної системи.

1.3. Геліоенергетика

Третім найбільш популярним способом видобутку відновлюваної енергетики є геліоенергетика. Станом на 2018 рік, всесвітня потужність видобутку сонячної енергетики становить понад 486 *ГВт*. Використання технології концентрації сонячної енергії (*Concentrated solar power, CSP*) динамічно зростає, що вказує на значний приріст використання такого типу електроенергії в майбутньому [8].

Серед основних переваг використання сонячної енергетики є:

- різноманітність у використанні. Дана енергетика використовується для живлення супутників у космосі, для живлення домівок, під час походів та багато іншого;
- дешевизна в обслуговуванні;
- можливість легкого вдосконалення. Вдосконалення може полягати як у підвищенні ефективності сонячних панелей (за допомогою квантових нанотехнологій), так і у розробці програмно-апаратних систем.

Недоліками використання геліоенергетики є:

- дороговизна усієї сонячної системи, що включає в себе сонячні панелі, акумулятори, інвертори, проведення електропроводки та монтажу усієї системи;
- метеозалежність;
- використання великої кількості місця для отримання значної кількості електроенергії;
- необхідність регулярного догляду за сонячними панелями для очищення від бруду та пилу.

Одним із найбільш ефективних способів вдосконалення видобутку сонячної енергії є розробка програмно-апаратних систем (сонячних трекерів), які приводять в рух сонячні панелі, завдяки чому можуть виробляти більше сонячної енергії [9]. Рух сонячних панелей залежить від виду установки. Існує три види апаратних систем стеження за сонцем:

- ручні сонячні системи. Даний вид систем вимагає ручної регуляції сонячних панелей, що є непрактичним, оскільки потрібно не стільки фізично рухати панелі, а постійно стежити за їх положенням;
- пасивні сонячні системи. Даний вид систем містить рідину з низькою температурою кипіння, яка під впливом сонячного випромінювання випаровується і система повороту панелей приводиться в рух;
- активні сонячні системи. Даний вид систем містить двигуни або гідравлічні циліндри, які приводять панелі в рух відносно положення сонця.

Одним з лідерів ринку розробки систем керування рухом сонячних панелей є компанія *AllEarth Renewables*. Дана компанія розробляє сонячні трекери, що має багато переваг, серед яких:

- збільшення показників вироблюваної енергії сонячних панелей на 40%;
- наявність системи, що здатна витримувати суворі погодні умови (сніг, дощ, град, високу температуру сонця та максимальна допустима швидкість вітру, при якій трекер здатний стабільно працювати, становить 190 км/год);
- міцна гідравлічна система.

Проте трекери компанії *AllEarth Renewables* мають ряд недоліків, серед яких:

- неможливість установки на ділянках через велику вагу системи в цілому;
- великогабаритність;
- неможливість використання системи з усіма видами сонячних панелей.

Компанія *FirstSunergy* розробляє системи стеження сонячних панелей за сонцем, які, так само як і трекери компанії *AllEarth Renewables*, можуть бути розташовані лише на земельній ділянці. Серед основних відмінностей даних трекерів є:

- індивідуальна розробка трекерів, що дозволяє максимально компактно розмістити сонячні панелі на малій ділянці землі;
- розробка об'єднаних модулів для сонячних панелей та вітрових станцій, що не лише дозволяє зменшити витрати на покупку кожної системи окремо, а і дозволяє заощаджувати земельні угіддя, на яких будуть встановлені дані системи.

Найбільш популярним видом програмно-апаратних систем стеження за сонцем є активні сонячні системи, оскільки для їхньої роботи не потрібне безпосереднє втручання людини [10]. При побудові апаратного модуля використовується наступне обладнання, основним серед якого є:

- мікроконтролер;
- один рухомий двигун (у випадку, якщо сонячну панель необхідно рухати лише в одній вісі) або два рухомих двигуна (у випадку, якщо сонячну панель необхідно рухати у двох вісях);
- тримачі для кріплення комплектуючих апаратного модуля;
- сонячна панель (одна або декілька, враховуючи потужність двигунів);
- акумулятор для накопичення сонячної енергії;
- модуль заряджання акумулятора.

Окрім основних компонентів апаратний модуль може містити додаткові модулі, серед яких:

- голосовий модуль;
- модуль визначення поточного положення системи;
- дисплей для виведення повідомлення.

Керування роботою усієї системи повинен здійснювати контролер. Одним із найбільш поширених контролерів для аматорського користування є контролери *Arduino*. Дані контролери вирізняються своєю компактністю (в залежності від моделі), наявністю багатьох аналогових та цифрових входів та виходів, а також простотою у користуванні. Серед найпоширеніших і універсальних контролерів *Arduino* є *Arduino UNO*, який і було обрано для створення апаратного модуля системи. Даний мікроконтролер має напругу живлення 5 В, що дозволяє одночасно приводити в рух двигуни та підтримувати роботу інших частин системи [11].

Одним із найголовніших комплектуючих системи є двигун. Його вибір проводиться дуже ретельно, опираючись на такі фактори: вага та розміри сонячної панелі, вага та розміри двигуна, відстань між двигуном та сонячною панеллю, кут повороту плеча двигуна. Проте, значення відстані між двигуном та сонячною панеллю може не враховуватись, якщо двигун міцно зафіксований до поверхні. Серед малопотужних двигунів, що здатні утримувати невелику вагу та є дешевими у виробництві, найбільш використовуваними є серводвигуни (сервоприводи). Найчастіше використовуваною моделлю сервоприводів є *SG90*, оскільки вони здатні утримувати заданий кут і підтримувати рівномірну швидкість обертання. Також до переваг даного двигуна відносяться простота підключення до мікроконтролера та простота програмування його роботи [12].

Одними із не менш важливих компонентів є тримачі (фіксатори). Вони використовуються як для утримання сонячних панелей, так і для двигунів та акумуляторів. Ретельний підбір тримачів не лише покращить роботу системи шляхом уникнення додаткового навантаження на двигуни, а й зможе запобігти випадковій поломці апаратної складової системи в результаті сильного вітру або під дією високої температури в сонячні дні [13]. Для фіксації сервоприводів було обрано сервоплатформу *FPV Bracket Kit*. Даний тримач зданий обертається в трьох площинах, містить просте підключення до мікроконтролера та управління, а також основною його перевагою є повна сумісність використання разом із двигунами *SG90*.

Сонячна панель обирається в залежності від необхідної потужності та масштабів використання. Для живлення літій-іонного акумулятора типу 18650, що здійснює накопичення видобутої сонячною панеллю електроенергії, достатньо використовувати сонячну панель потужністю 6 *Вт*, максимальною вихідною напругою 3 *В* та максимальним вихідним струмом 520 *мА*.

Накопичення електроенергії видобутої з сонячної панелі в акумуляторі відбувається завдяки модулю заряджання акумулятора. Існує велика кількість модулів заряджання, проте найбільш використовуваним серед них є модуль *TP4056* виконаний в корпусі *SOP-8*. Він містить металевий термоносій, що не з'єднаний із

контактами для уникнення некоректної його роботи та надає можливість заряджання акумуляторів із струмом до 1000 мА. TP4056 автоматично завершує процес заряджання при досягненні на ньому напруги 4,2 В і зниження рівня струму до 0,1 від запрограмованої величини. Для повідомлення про готовність акумулятора до використання, даний модуль містить світлодіод, який світиться синім кольором.

В наш час, одним із найпоширеніших пристроїв полегшення керування роботою системи є голосове керування. В основу даного принципу вкладено використання апаратних модулів, які здатні приймати звукові команди, які надає людина, оброблювати дані команди в цифрове відображення і, на основі отриманого результату, виконувати ті чи інші завдання. Вибір голосового модуля складається з двох факторів: бюджету системи та часу на розробку. У разі, якщо поріг бюджету є високим, доцільно використовувати модуль *Arduino 33 BLE Sense*, що може використовуватись разом з контролером *Arduino UNO*, або замість нього, та який містить вбудований мікрофон та систему розпізнавання голосу і виконання декількох голосових команд. У іншому випадку, якщо бюджет не є високим, проте є достатньо часу для розробки системи, доцільно використовувати аналоговий *MEMS* модуль *Breakout – SPH8878LR5H-1*. Даний модуль має простий у використанні вбудований малопотужний всепрямований мікрофон з аналоговим виходом, який використовується для розпізнавання звуків. Модуль здатний працювати як на малій, так і на великій відстані, має низьке енергоспоживання та особливо зручний у використанні разом із рухомими об'єктами.

Визначення координат поточного місцезнаходження системи може знадобитись для проведення розрахунків, що потребують значення поточних координат системи [14]. Визначення координат системи здійснюється за допомогою модуля визначення поточного положення системи, (*GPS*-модуль, *Global System for Mobile Communications*). *GPS*-модуль – це пристрій, призначений для визначення положення та швидкості руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері. *GPS*-приймач, розташований всередині модуля, приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту *GPS*-системи глобального позиціонування.

Виведення інформації, що була отримана шляхом голосового керування та оброблення введеної команди, здійснюється за допомогою дисплею. Одним із найпопулярніших типів дисплеїв, що використовуються сумісно із контролерами сімейства *Arduino*, є *LCD QC1602A* дисплей [15]. Даний дисплей містить два рядки по 16 символів кожний, чого є достатнім для виведення інформації про поточний заряд акумуляторів, що під'єднані до сонячної панелі, містить малі розміри та є зручним у підключенні до контролера. Його малі розміри та низька ціна надають йому перевагу серед інших систем виведення інформації, проте вхідна робоча напруга для даного контролера становить 5 В, що є напругою виходу в мікроконтролера *Arduino UNO*, отже довготривале його ввімкнення може здійснювати негативний вплив на роботу інших комплектуючих системи. Проте даний недолік не суттєвий, оскільки виведення інформації здійснюватиметься одноразово протягом 5 секунд після отримання звукової команди, яка сигналізує про необхідність виведення інформації.

Визначення кута повороту панелі може здійснюватись за двома принципами: опираючись на показники фоторезисторів або за допомогою математичних формул визначення місцезрештування сонця.

Використання фоторезисторів може негативно вплинути на роботу програмно-апаратної системи трекінгу руху сонця, оскільки таким елементам властиве швидке зношення, що потребує регулярної заміни. А також, використання фоторезисторів може вплинути на зменшення продуктивності роботи сонячних панелей, оскільки дані пристрої не є абсолютно точними і для отримання максимально продуктивних показників, необхідно використовувати дорогі фоторезистори, які не виділяються довготривалістю роботи.

Застосування математичних формул для визначення положення сонця враховуючи нахил Землі відносно своєї осі, координати місцезрештування сонячної панелі та пору доби, приводить до отримання точних розрахунків положення сонця, при цьому змінним параметром є лише місцезрештування системи, а отже, даний принцип можна з легкістю використовувати в будь-якій точці Землі.

Проте, використання не лише системи слідкування за рухом сонця, а і додаткових систем управління, створює можливість автоматизації керування роботи системи.

1.4. Висновки до розділу

У даному розділі було розглянуто п'ять найбільш використовуваних альтернативних джерел видобутку відновлюваної електроенергії, новітні рішення автоматизації видобутку альтернативної енергетики та принципи побудови джерел видобутку альтернативної енергії. Розглянуто компанії-лідери у сфері виробництва програмних та апаратних систем автоматизації видобутку відновлюваної електроенергії.

Серед основних альтернативних джерел видобутку електроенергії є:

- сонячні панелі;
- гідроелектростанції;
- вітрові електростанції;
- біопаливо;
- геотермальні установки.

Найбільш розвинена галузь видобутку енергетики за допомогою альтернативних джерел спостерігається у країнах: Сполучені Штати Америки, Іспанія, Німеччина, Японія та Канада. Лідерами у розробці програмних та апаратних систем для автоматизації видобутку відновлюваної електроенергії є: “*NextEra Energy*” (капітал становить 167.7 млрд. доларів), “*Brookfield Renewable*” (капітал становить 6.7 млрд. доларів), “*Clearway Energy*” (капітал становить 4.4 млрд. доларів), “*First Solar*” (капітал становить 10.6 млрд. доларів), “*SolarEdge Technologies*” (капітал становить 19.9 млрд. доларів), “*Schneider Electronics*”.

Перехід на використання альтернативної енергетики у промислових масштабах здатних значущо позитивно вплинути на навколишнє середовище, при цьому забезпечувати достатньою кількістю електроенергії сучасні потреба людства.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1. Апаратні технології автоматизації видобутку альтернативної енергії

Автоматизація процесу видобутку електроенергії із відновлюваних джерел передбачає використання додаткових спеціальних конструкцій, які здатні пристосовуватись до змін в атмосфері, воді та погодних умов задля збільшення об'єму отримуваної енергії.

Сонячні трекери представляють собою конструкцію, що періодично змінює поворот фотоелектричних панелей або дзеркал відносно Сонця [15]. Кут нахилу робочих поверхонь регулюється автоматично, без необхідності втручання в її роботу. Основною задачею сонячних трекерів є забезпечення максимально приближеного до перпендикуляру 90° кута падіння променів Сонця на сонячні панелі.

До комплексу стандартного трекера для сонячних панелей входять наступні елементи:

- утримуюча конструкція;
- системи керування:
- система механічного позиціонування;
- навігаційна система;
- комплексна система безпеки.

Утримуюча конструкція складається із нерухокої опори та обертального пристрою, що забезпечує рух панелей в одній або двох площинах.

Системи керування призначена для зручного керування сонячним трекером, як програмно, так і фізично змінюючи роботу системи.

Система механічного позиціонування є складовою утримуючої конструкції та здійснює керування рухомої частини за допомогою двигунів.

Навігаційна система необхідна для визначення положення Сонця в конкретний момент часу задля обчислення напрямного вектора сонячних панелей.

Комплексна система безпеки призначена для забезпечення різних видів захисту: попадання блискавиць, скачків напруги в мережі, механічних перевантажень та іншого.

Найбільшу небезпеку для конструкцій сонячних панелей несуть сильні вітри, що здатні зміщувати опорні елементи конструкції, тому для всіх видів трекерів існують базові принципи моделювання та побудови: висока стійкість та надійність.

Серед основних видів сонячних трекерів виділяють:

- сонячні трекери з однією віссю обертання (одновісні);
- сонячні трекери з двома осями обертання (*DAT – Dual Axis Trackers*).

Сонячні трекери з однією віссю, в залежності від вибору пріоритетного координатного напрямку, можуть обертатися навколо таких осей:

- вертикальної (*VSAT – Vertical Single Axis Tracker*);
- горизонтальної (*HSAT – Horizontal Single Axis Tracker*);
- похилої вісі Землі (*TSAT – Titled Single Axis Tracker*);
- з орієнтацією на сторону світла (*PASAT – Polar Aligned Single Axis Trackers*).

Група трекерів, що обертаються навколо вертикальної вісі є найбільш вживаною переважно у високих широтах Землі, та обертання панелі відбувається із заходу на схід. Через необхідність дотримування достатніх інтервалів між панелями для уникнення затінення сусідніх панелей, даний принцип не часто використовується у промислових масштабах.

Група трекерів, що обертаються навколо горизонтальної вісі найчастіше використовується у низьких широтах та здійснює обертання сонячних панелей із півночі на південь. Як і у випадку з вертикальними трекерами, даний спосіб установки сонячних панелей є маловживаним у промислових масштабах.

Група трекерів, що обертаються навколо похилої вісі здатні обертати сонячні панелі по діагоналі відносно вертикальної та горизонтальної осей.

Орієнтиром для групи трекерів з орієнтацією на сторону світла є полярна зірка. Кут нахилу сонячних панелей завжди є рівним географічній широті.

Сонячні трекери з двома осями обертання здатні підтримувати оптимальне положення сонячних панелей відносно сонця. За допомогою даних трекерів можна використовувати сонячні панелі не лише в конкретних широтах, а в будь-якій точці Землі та максимізувати видобуток сонячної енергії [16]. Даний тип трекерів є найбільш використовуваним у промислових масштабах. Двоосьові сонячні трекери поділяються на два види модифікацій:

- модифікація *Tip-Tilt Dual Axis Tracker (TTDAT)*.
- модифікація *Azimuth-Altitude Dual Axis Tracker (AADAT)*.

Основою обертальної системи з модифікацією *TTDAT* є довга опора з шароподібним підшипником. Горизонтальна вісь обертання є головною, натомість вертикальна вісь – вторинна.

Сонячні трекери з модифікацією *AADAT* використовують не один великий підшипник на опорі, а кільце з платформою. Перевагою даного рішення є підвищення стійкості модуля та можливість розміщення більшої кількості сонячних панелей на одному трекері.

Використання систем управління обертанням сонячних панелей є корисним не лише для масштабного вироблення електроенергії для забезпечення будівель та промислових установ, а і для забезпечення електроенергією космічних супутників та станцій, літаків та морських суден.

Спеціалісти з китайської компанії *JAXA* розробляють сонячну електростанцію, яка буде розташовуватись в космосі до 35000 км від поверхні Землі та які здатні виробляти до 100 МВт (рис. 2.1). Найбільшою перевагою даної технології є її ефективність, оскільки, в порівнянні із наземними аналогами, на об'єм виробленої електроенергії не впливатиме погода та час доби та пора року, а також інші зовнішні фактори. За різними оцінками, дана технологія здатна виробляти в 8-10 разів більше електроенергії, аніж фотоелементи, що розташовані на поверхні Землі.

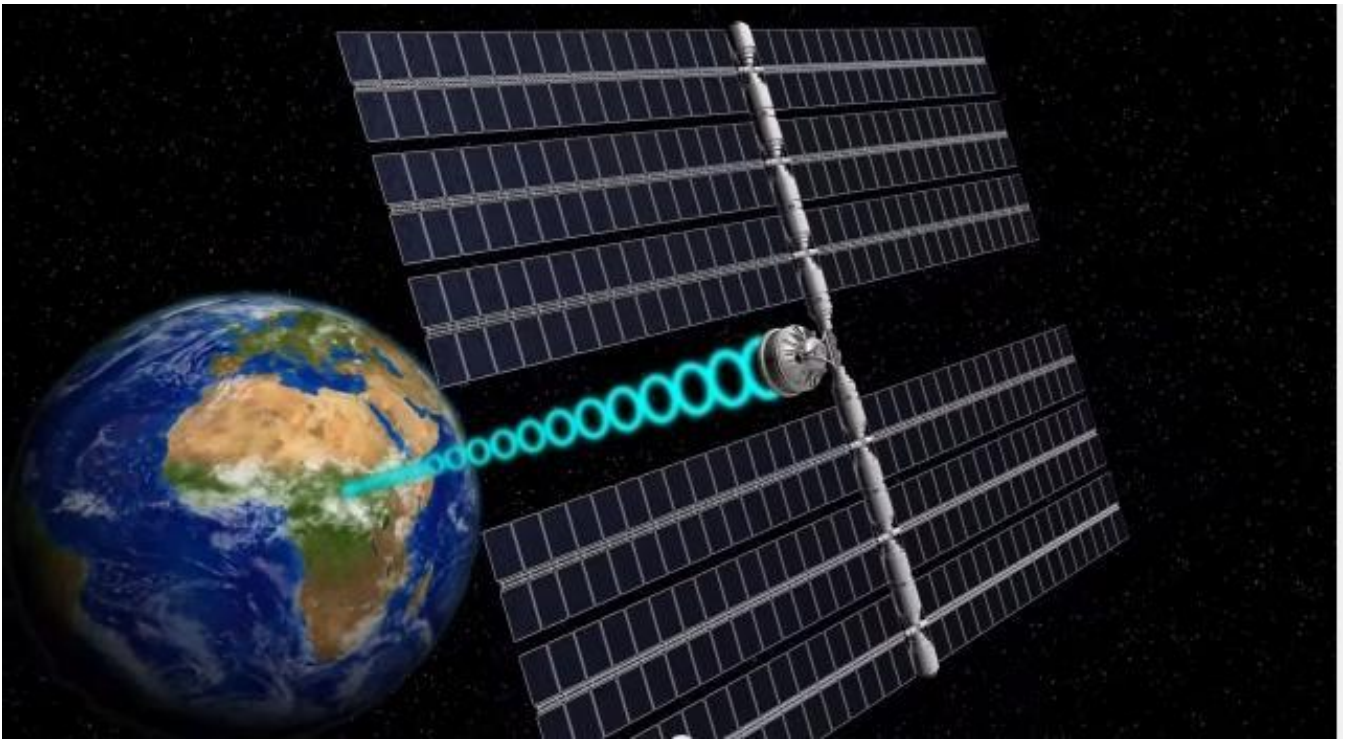


Рис. 2.1. Космічна сонячна електростанція

Конструкція космічної електростанції містить:

- сонячні панелі;
- об'єднуючі стовпи, які утримують сонячні панелі, здійснюють їхнє обертання, а також здійснюють перенесення електроенергії до передавача;
- передавач, який з'єднується із наземними приймачами та передає електроенергію.

Передача електроенергії із космічної електростанції здійснюватиметься за системою китайської компанії *Omega*. Передача електроенергії на Землю із найменшими втратами відбуватиметься шляхом перетворення електроенергії отриманої від сонячних елементів в електромагнітні хвилі та передачі їх до приймаючих антен на поверхні Землі, де відбуватиметься зворотній процес перетворення електромагнітних хвиль в електроенергію. Дана система дозволяє підвищити максимально можливий переданий об'єм електроенергії до 2 ГВт з найменшими втратами.

Витрати палива для забезпечення одного польоту літаком можуть сягати 24000 літрів. Для вирішення проблеми великого споживання палива літаком,

компанія *SolarStratos*, розробила унікальний 8,5-метровий літак (рис. 2.2) з розмахом крил 24,9 м, вагою 450 кг, повністю покритий сонячними панелями площею 22 кв. м. Це перший пілотований літак з використанням сонячних панелей, який здатний піднятися у стратосферу. Даний літальний апарат здатний літати більше 24 годин та здатний перевозити 2 пілотів. Дана технологія здатна значно розширити сферу застосування сонячних панелей та зменшити видобуток корисних копалин задля отримання палива.

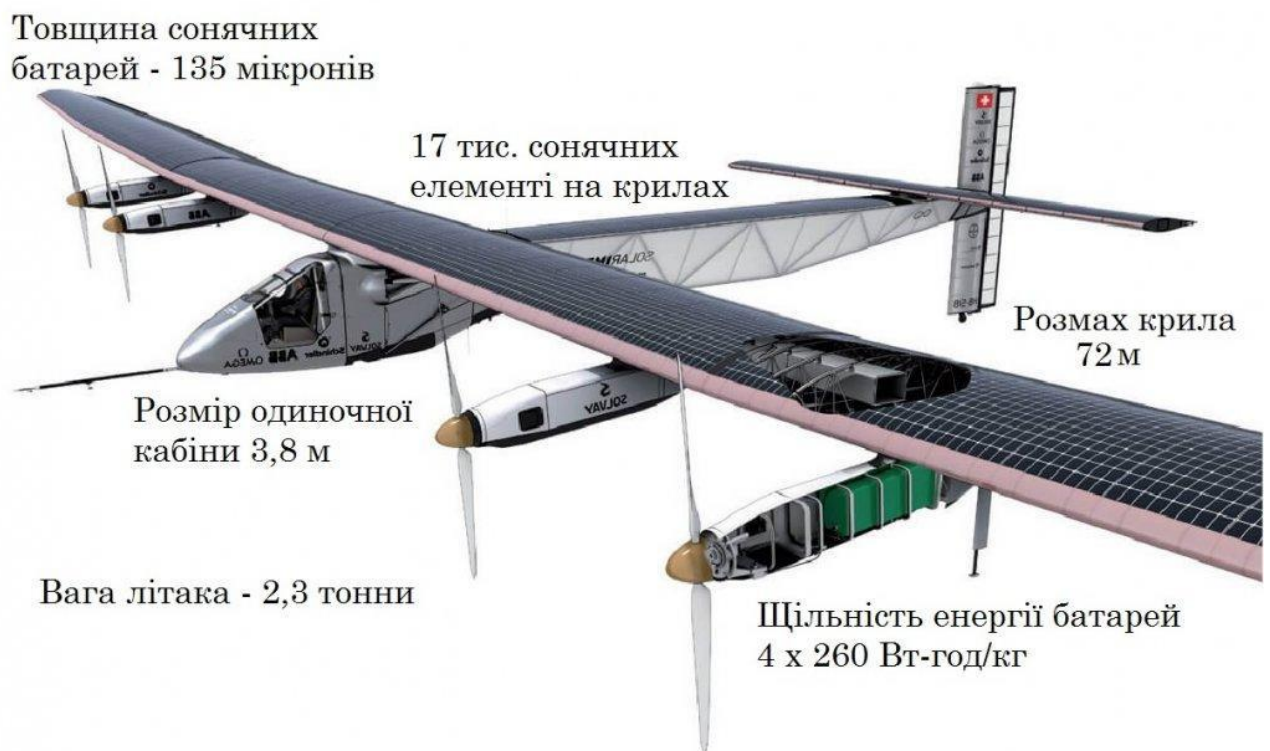


Рис. 2.2. Літальний апаратний з використанням сонячних панелей

Широкого розповсюдження набуває використання сонячних панелей при автомобілебудуванні. Для забезпечення пересування автомобіля в будь-який час доби, енергія повинна накопичуватись в акумуляторні пристрої протягом, отже автомобіль повинен знаходитись на вулиці протягом дня. Сонячні панелі здатні забезпечувати електроенергією не лише двигун, а й інші прилади, необхідні для безпечного руху (наприклад, фари, двірники) та для комфорту (наприклад, кондиціонер, підігрів сидіння та салону). Дана технологія вимагає ретельного обирання комплектуючих автомобіля для зменшення витрат електроенергії.

Найбільш придатними двигунами для автомобілів із сонячними панелями є безколекторні моделі двигунів. Даний тип двигунів використовує особливі магнітні елементи, які зменшують опір кочення, а також підвищують потужність силової установки. Також, частко використовуваними двигунами є мотор-колеса. Дана силова установка не здійснює витрати енергії на подолання опору від різних елементів трансмісії.

Найбільш популярною моделлю автомобіля з використанням сонячних панелей на теперішній час є модель *Sion* німецької компанії *Sono Motors*, яка вже масово використовується. Даний автомобіль здатний досягати максимальної швидкості 140 км/год. Батарея містить ємність 35 кВт/год, а запас ходу складає 255 км. Сонячні панелі забезпечують повну підзарядку автомобіля при умові цілоденного перебування під впливом сонячних променів або інших джерел світла. Попри те, що даний спосіб заряджання є малоефективним для подолання великих відстаней, дана технологія є надзвичайно ефективною для переміщення в межах міста та має великий попит використання у високорозвинутих країнах.

2.2. Програмні засоби автоматизації видобутку альтернативної енергії

Програмні засоби автоматизації видобутку альтернативної енергетики представляють собою систему, яка здатна виконувати різнопланові задачі або бути націленою на виконання конкретних задач. Серед основних програмних засобів автоматизації видобутку альтернативної енергії можна виділити наступні групи:

- системи моделювання сонячної електростанції;
- системи моніторингу (відслідковування) роботи сонячних станцій та оповіщення користувача;
- системи керування рухом сонячних панелей.

Програмні засоби призначені для підвищення показників ефективності сонячних панелей та збільшення об'єму виробленої електроенергії.

Для визначення доцільності використання сонячних панелей в залежності від місцезнаходження системи, кліматичних умов та інших показників, необхідно

спроєктувати сонячну електростанцію. Найчастіше використовуються наступні програмні засоби:

- “PVSOL”;
- “HelioScope”.

Програмне забезпечення для моделювання сонячних електростанцій “PVSOL” (рис. 2.3) було розроблене німецькою компанією *Valentin Software*. Дане програмне забезпечення дозволяє проводити розрахунки та проектувати сонячні електростанції, геліотермічні установки та системи теплових насосів. Також, основною перевагою даного програмного продукту є можливість проведення фінансових розрахунків в сфері електро- та теплопостачання будівель. Ще однією перевагою даної системи є можливість проектування з 3D візуалізацією, що надає можливість проведення точного аналізу затінення фотоелектричних систем. За допомогою вбудованих програмних засобів, можна відтворити місцевість, на якій буде розміщена сонячна електростанція, що надає можливість передбачення можливих факторів негативного або позитивного впливу на роботу сонячної електростанції.



Рис. 2.3. Вікно програмного засобу моделювання сонячних електростанцій PVSOL

Найбільш сучасним програмним забезпеченням проектування сонячних електростанцій є “*HelioScope*” (рис. 2.4). “*HelioScope*” надає можливість проведення розрахунків як для дахових, так і наземних конструкцій сонячних панелей, а також дана система призначена для моделювання як для житлових масивів, так і для комерційного використання. “*HelioScope*” має простий, зручний та зрозумілий інтерфейс користувача. Серед основних переваг використання даної системи є:

- наявність великої кількості додаткових програмних засобів, які можуть визначати доцільність та перспективи використання сонячної електростанції у вказаних умовах. Одним із таких програмних засобів є визначення затінення сонячних панелей в різних час доби та року.
- можливість моделювання фізичного розташування сонячних панелей на поверхні Землі з використанням застосунку *Google Earth*;
- можливість здійснення автоматизованого моделювання, що дозволяє суттєво прискорити процес створення плану будівництва.

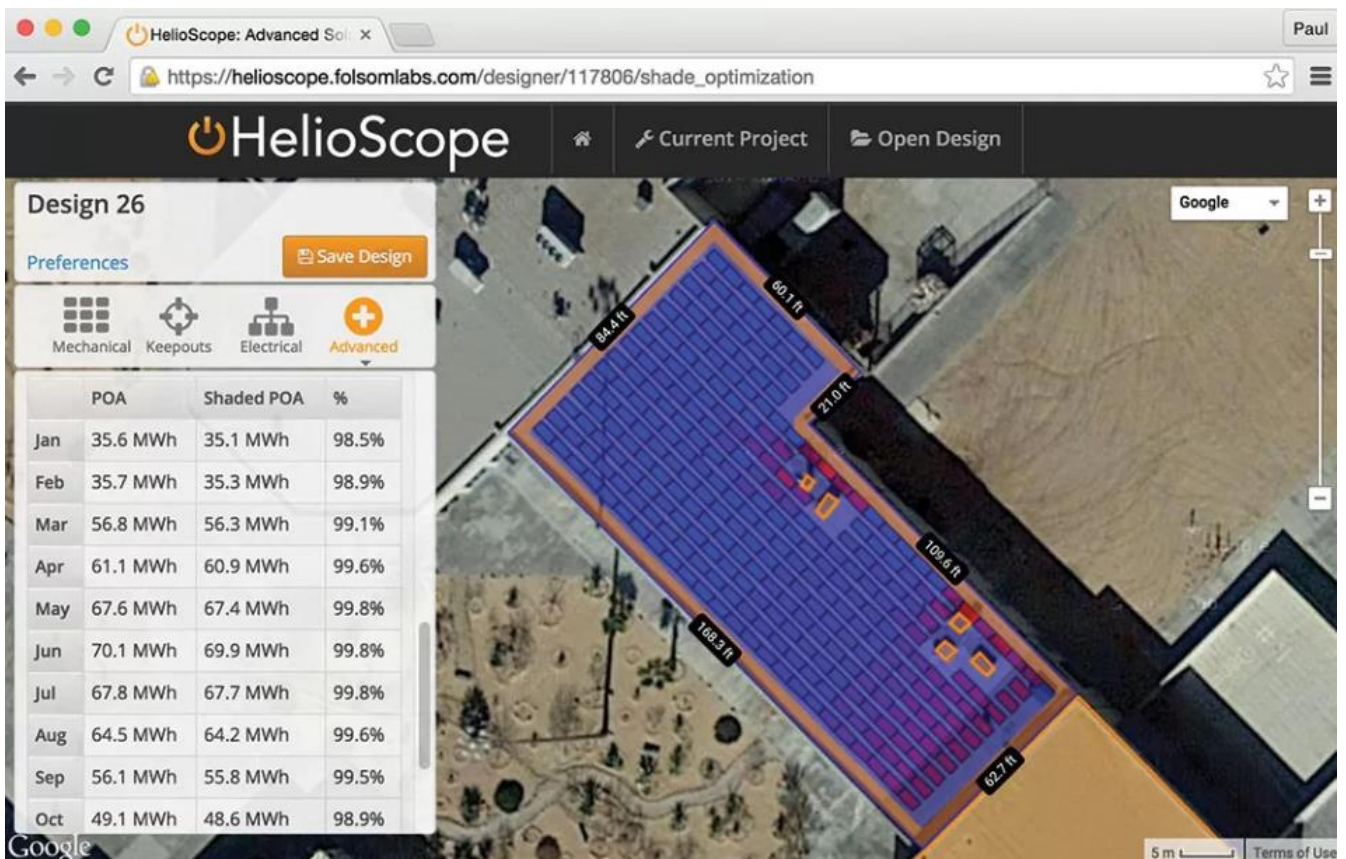


Рис. 2.4. Інтерфейс застосунку “*HelioScope*”

Системи відслідковування роботи сонячних станцій та оповіщення користувача призначені для своєчасного визначення несправності у роботі електростанції та оповіщення користувача та визначення способів збільшення об'єму видобутку електроенергії шляхом аналізу показників компонентів системи.

Німецька компанія *DHybrid*, що спеціалізується на мікромережах, розробила новітню технологію, яка надає можливість значного збільшення кількості виробленої електроенергії сонячними панелями за допомогою системи відковування максимальної потужності інвертора (*Maximum Inverter Power Tracking, MIPT*). Дана система здатна збільшити об'єм отриманої електроенергії завдяки зменшенню використання електроенергії компонентами, що входять в сонячну установку. Принцип роботи *MIPT* полягає у постійному регулюванні вихідної потужності окремих інверторів сонячної установки. Головна відмінність даної програмної системи від інших полягає у постійному контролі характеристик усіх компонентів сонячної електростанції та забезпеченні динамічного розподілу максимальної вихідної напруги по всіх інверторах, змінюючи їхні показники по декілька разів на секунду. Натомість, звичайні системи керування сонячними панелями встановлюють однакову вихідну потужність кожного підключеного інвертора, що, як правило, визначається як фіксована частина від максимально можливого показника потужності. І в такому випадку, компоненти енергосистеми, які здатні створювати більшу кількість електроенергії, працюють так само, як і компоненти, що здатні виробляти меншу кількість енергії, наприклад, у результаті затінення.

Керування сонячною установкою виконується за допомогою програмних систем, задача яких полягає у визначенні положення Сонця та в залежності від зовнішніх чинників приводити в рух сонячні панелі.

Компанія *SMA*, що спеціалізується на розробці програмного забезпечення для сонячних електростанцій, розробила програмний продукт *Smart Connected*. *SMA Smart Connected* представляє собою безкоштовну програмну систему автоматизації моніторингу роботи сонячних панелей. За допомогою даної системи можливий контроль та діагностика сонячних панелей, серед основних переваг якої є:

- надсилання повідомлення електронною поштою в разі несправності в роботі системи;
- робота системи відбувається не залежно від комп'ютера на якому вона встановлена, що свідчить про те, що у разі вимкнення комп'ютера система зможе безперебійно сповіщати користувача про несправності.

Програмна система віддаленого моніторингу сонячних електростанцій *Victron*, за допомогою панелі керування *Victron Color Control GX (CCGX)* або *Venus GX* підключеної до системи Інтернет, здатна здійснювати віддалене контролювання роботи сонячних панелей з комп'ютера або мобільного телефону. Також, дана система надає можливість самостійного встановлення оповіщення системою про несправності в роботі системи через телефон або електронну пошту. За допомогою панелі *CCGX* або *Venus GX* сонячна електростанція здатна під'єднуватись до безкоштовного сайту *Victron VRM*. Таким чином, користувач отримує ряд можливостей контролю над системою, серед яких:

- можливість віддаленого спостереження за системою в режимі реального часу;
- можливість віддаленого налаштування системи;
- можливість перегляду архіву даних з усіма параметрами роботи за останні 5 років;
- можливість налаштування отримання різних типів сповіщень електронною поштою;
- можливість надання повного доступу до системи для отримання віддаленої технічної підтримки;
- можливість надання обмеженого публічного доступу для спостереження за системою.

Серед програмних систем автоматизації керування рухом сонячних панелей вирізняють програмні продукти компанії *Siemens*. Програмні системи компанії *Siemens* вирізняють своєю точністю роботи, високому рівню захищеності персональних даних користувача та даних про систему та гнучкістю оптимізації. Однією із переваг використання програмних систем компанії *Siemens* є щоденна

перевірка роботи сонячних панелей на кількість отриманої енергії, що дозволяє вчасно визначити неприбуткове використання сонячної панелі.

2.3. Висновки до розділу

У даному розділі було детально описано існуючі види апаратних та програмних систем автоматизації видобутку альтернативної енергетики, переваги використання апаратних систем в залежності від кліматичних умов та навколишнього середовища, та переваги програмних систем в залежності від типу системи та призначення її застосування.

Автоматизація процесу видобутку електроенергії із відновлюваних джерел передбачає використання додаткових спеціальних конструкцій, які здатні пристосовуватись до змін в атмосфері, воді та погодних умов задля збільшення об'єму отримуваної енергії.

Системи автоматизації видобутку сонячної енергетики представляють собою конструкцію, що періодично змінює поворот фотоелектричних панелей або дзеркал відносно Сонця. Кут нахилу робочих поверхонь регулюється автоматично, без необхідності втручання в її роботу. Основною задачею сонячних трекерів є забезпечення максимально приближеного до перпендикуляру 90° кута падіння променів Сонця на сонячні панелі.

До комплексу стандартного трекера для сонячних панелей входять наступні елементи:

- утримуюча конструкція;
- системи керування;
- система механічного позиціонування;
- навігаційна система;
- комплексна система безпеки.

Програмні системи здатні виконувати різнопланові задачі або бути націленими на виконання конкретних задач. Серед основних програмних засобів автоматизації видобутку альтернативної енергії можна виділити наступні групи:

- системи проектування сонячної електростанції;
- системи моніторингу роботи сонячних станцій та оповіщення користувача;
- системи керування рухом сонячних панелей.

У результаті використання апаратних та програмних систем можна збільшити кількість отриманої енергії без необхідності безпосереднього впливу користувача у роботу системи.

РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

3.1. Алгоритми для визначення напрямку повороту сонячної панелі

Визначення напрямку повороту відбувається за допомогою поточних координат розташування системи та обчислення положення Сонця завдяки наступним показникам:

- схилення Сонця;
- висота координати Сонця;
- азимут координати Сонця;
- часового кута Сонця;
- середнього сонячного часу;
- сонячного азимутального кута.

Схилення Сонця (δ) – це кут між променями Сонця та площиною екватора Землі. Нахил осі Землі (нахил екліптики) – це кут між віссю Землі і лінією, перпендикулярній орбіті Землі. Кут схилення Сонця повільно нерівномірно змінюється протягом року приблизно на $-23^{\circ}26' \dots +23^{\circ}26'$. Дана зміна кута схилення обумовлена орбітальним рухом Землі навколо Сонця та не залежить від добового обертання Землі. Найпростішим та зручним способом визначення кута схилення Сонця для будь-якого дня року є використання таблиці схилення Сонця протягом року опираючись на обчислені значення кута схилення за 4-річний цикл (рис. 3.1).

Число	Перше півріччя						Друге півріччя					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-23°7'	-17°29'	-7°44'	+4°24'	+14°57'	+22°0'	+23°09'	+18°08'	+8°26'	-3°02'	-14°18'	-21°45'
2	-23°2'	-17°12'	-7°21'	+4°47'	+15°16'	+22°8'	+23°05'	+17°53'	+8°04'	-3°25'	-14°38'	-21°54'
3	-22°57'	-16°55'	-6°58'	+5°10'	+15°33'	+22°23'	+23°0'	+17°27'	+7°43'	-3°48'	-14°57'	-22°03'
4	-22°52'	-16°38'	-6°35'	+5°33'	+15°51'	+22°30'	+22°55'	+17°22'	+7°21'	-4°11'	-15°15'	-22°12'
5	-22°46'	-16°20'	-6°12'	+5°56'	+16°8'	+22°37'	+22°50'	+17°06'	+6°58'	-4°35'	-15°34'	-22°20'
6	-22°40'	-16°02'	-5°49'	+6°18'	+16°26'	+22°43'	+22°44'	+16°49'	+6°36'	-4°55'	-15°52'	-22°27'
7	-22°33'	-15°44'	-5°25'	+6°41'	+16°42'	+22°49'	+22°38'	+16°43'	+6°14'	-5°21'	-16°10'	-22°34'
8	-22°25'	-15°25'	-5°02''	+7°03'	+16°59'	+22°25'	+22°32'	+16°16'	+5°51'	-5°44'	-16°28'	-22°41'
9	-22°18'	-15°07'	-4°39'	+7°26'	+17°15'	+22°54'	+22°25'	+15°59'	+5°29'	-6°07'	-16°45'	-22°47'
10	-22°10'	-14°48'	-4°15'	+7°49'	+17°31'	+22°59'	+22°18'	+15°42'	+5°06'	-6°29'	-17°02'	-22°53'
11	-22°01'	-14°28'	-3°52'	+8°10'	+17°47'	+23°04'	+22°10'	+15°25'	+4°43'	-6°52'	-17°19'	-22°38'
12	-21°52'	-14°09'	-3°28'	+8°32'	+18°02'	+23°08'	+22°02'	+15°06'	+4°20'	-7°15'	-17°36'	-22°03'
13	-21°43'	-13°49'	-3°05'	+8°54'	+18°17'	+23°12'	+21°54'	+14°48'	+3°58'	-7°37'	-17°52'	-23°08'
14	-21°33'	-13°29'	-2°41'	+9°16'	+18°32'	+23°15'	+21°45'	+14°30'	+3°34'	-8°0'	-18°08''	-23°12'
15	-21°22'	-13°09'	-2°17'	+9°38'	+18°36'	+23°18'	+21°36'	+14°11'	+3°11'	-8°22'	-18°23'	-23°15'
16	-21°12'	-12°48'	-1°54'	+9°59'	+19°01'	+23°20'	+21°26'	+13°53'	+2°48'	-8°44'	-18°39'	-23°18'
17	-20°01'	-12°28'	-1°30'	+10°20'	+19°14'	+23°22'	+21°17'	+13°34'	+2°25'	-9°06'	-18°54'	-23°21'
18	-20°49'	-12°07'	-1°06''	+10°41'	+19°28'	+23°24'	+21°06'	+13°14'	+2°02'	-9°28'	-19°08'	-23°23'
19	-20°37'	-11°46'	-0°24'	+11°02'	+19°41'	+23°25'	+20°56'	+12°55'	+1°39'	-9°50'	-19°23'	-23°25'
20	-20°25'	-11°25'	-0°19'	+11°23'	+19°54'	+23°26'	+20°45'	+12°35'	+1°15'	-10°12'	-19°36'	-23°26'
21	-20°12'	-11°03''	-0°05''	+11°44'	+20°06'	+23°27'	+20°33'	+12°16'	+0°52'	-10°33'	-19°50'	-23°27'
22	-19°59'	-10°42'	+0°29'	+12°04'	+20°18'	+23°27'	+20°22'	+11°56'	+0°29'	-10°55'	-20°03'	-23°27'
23	-19°46'	-10°20'	+0°52'	+12°24'	+20°30'	+23°26'	+20°10'	+11°35'	+0°05''	-11°16'	-20°16'	-23°27'
24	-19°32'	-9°58'	+1°16'	+12°44'	+20°42'	+23°26'	+19°58'	+11°15'	-0°18'	-11°37'	-20°29'	-23°26'
25	-19°18'	-9°36'	+1°40'	+13°04'	+20°53'	+23°25'	+19°45'	+10°55'	-0°41'	-11°58'	-20°41'	-23°25'
26	-19°03'	-9°14'	+2°03'	+13°23'	+21°04'	+23°23'	+19°32'	+10°34'	-1°05'	-12°19'	-20°52'	-23°23'
27	-18°48'	-8°51'	+2°27'	+13°43'	+21°14'	+23°21'	+19°19'	+10°13'	-1°28'	-12°39'	-21°04'	-23°21'
28	-18°33'	-8°29'	+2°50'	+14°02'	+21°24'	+23°18'	+19°05'	+9°52'	-1°52'	-12°59'	-21°15'	-23°18'
29	-18°18'	-8°06'	+3°14'	+14°20'	+21°34'	+23°16'	+18°51'	+9°31'	-2°15'	-13°19'	-21°21''	-23°15'
30	-18°02'		+3°37'	+14°39'	+21°43'	+23°12'	+18°37'	+9°09'	-2°38'	-13°39'	-21°35'	-23°12'
31	-17°46'		+4°00'		+21°52'		+18°23'	+8°48'		-13°59'		-23°08'

Рис. 3.1. Таблиця значень схилення Сонця протягом року (закінчення)

Схилення Сонця в будь-який момент обчислюється за формулою:

$$\delta = \sin^{-1}[\sin(-23^{\circ}44') * \sin(EL)], \quad (3.1)$$

де EL – довгота екліптики (положення Землі на її орбіті).

Схилення Сонця можна більш точно визначити при використанні параметрів орбіти Землі для більш точної оцінки довготи екліптики:

$$\delta = \sin^{-1}[\sin(-23^{\circ}44') * \cos((360^{\circ})/365.24 * (N + 10) + (360^{\circ})/\pi * 0.0167 * \sin((360^{\circ})/365.24 * (N - 2)))]. \quad (3.2)$$

Скоротивши всі відомі показники, рівняння можна спростити до наступного вигляду:

$$\delta = -\sin^{-1}[0.39779 * \cos(0.98565^\circ * (N + 10) + 1.914^\circ * \sin(0.98565^\circ * (N - 2)))]. \quad (3.3)$$

де N – кількість днів після опівночі за всесвітнім часом;

0.0167 – значення ексцентриситету орбіти Землі.

Описані розрахунки схилення Сонця не враховують ефект заломлення світла в земній атмосфері внаслідок якого, видимий кут піднесення Сонця стає вищим фактичного кута піднесення, особливо при невеликому підвищенні Сонця.

Висота координати Сонця (h) – це кут між площиною горизонту Землі та напрямком Сонця і вимірюється від 0° до $\pm 90^\circ$.

Азимут координати Сонця (A) – це кут між сонячними променями та нормаллю до поверхні Землі.

$$\text{Висота координати Сонця} = h = a \sin(\sin \delta * \sin \varphi + \cos \delta * \cos \varphi * \cos t) \quad (3.4)$$

$$\text{Азимут координати Сонця} = A = 2 * (\cos \delta * \sin t, \cos \delta * \sin \varphi * \cos t - \sin \delta * \cos \varphi), \quad (3.5)$$

де δ – кут схилення Сонця;

t – часовий кут Сонця.

Часовий кут Сонця, на противагу куту схилення Сонця, залежить від обертання Землі та змінюється протягом доби. Для його обчислення необхідно визначити істинний сонячний час. Істинний сонячний час можна визначити за допомогою середнього сонячного часу з урахуванням похибки, яка обчислюється з рівняння часу. Рівняння часу показує різницю між середнім та істинним сонячним часом. Ця різниця виникає через еліптичну орбіту Землі, а також через нахил Землі до площини екліптики.

$$\text{Часовий кут Сонця} = t = T_{\text{с.іст.}} - 12:00 \text{ годин} \quad (3.6)$$

$$T_{\text{с.іст.}} = T_{\text{с.ср}} + \text{ЕОТ} \quad (3.7)$$

$$\text{ЕОТ} = 9,87 * \sin 2B - 7,53 * \cos B - 1,5 * \sin B, \quad (3.8)$$

$T_{\text{с.ср}}$ – середній сонячний час, $B = (360^\circ * (N - 81))/365$,

N – порядковий номер дня в році.

Середній сонячний час (ε) – це проміжок часу, що вимірюється часовим кутом середнього Сонця. Значення середнього сонячного часу змінюється протягом року приблизно від -14 до +16 хвилин, що представлено на рис. 3.2. В свою чергу, середній сонячний час залежить від місцезнаходження Сонця (географічної довготи). Географічна довгота визначення за допомогою додавання всесвітнього координованого часу та довготи місцезнаходження системи в часових одиницях. Всесвітній координований час можна визначити за допомогою місцевого часу та часового поясу регіону, на території якого знаходиться система.

$$\text{Середній сонячний час} = UTC + \lambda \quad (3.9)$$

$$UTC = T_M - N_{\Pi}, \quad (3.10)$$

де UTC – всесвітній координований час;

λ – довгота місцезнаходження системи в часових одиницях;

T_M – місцевий час;

N_{Π} – часовий пояс регіону.

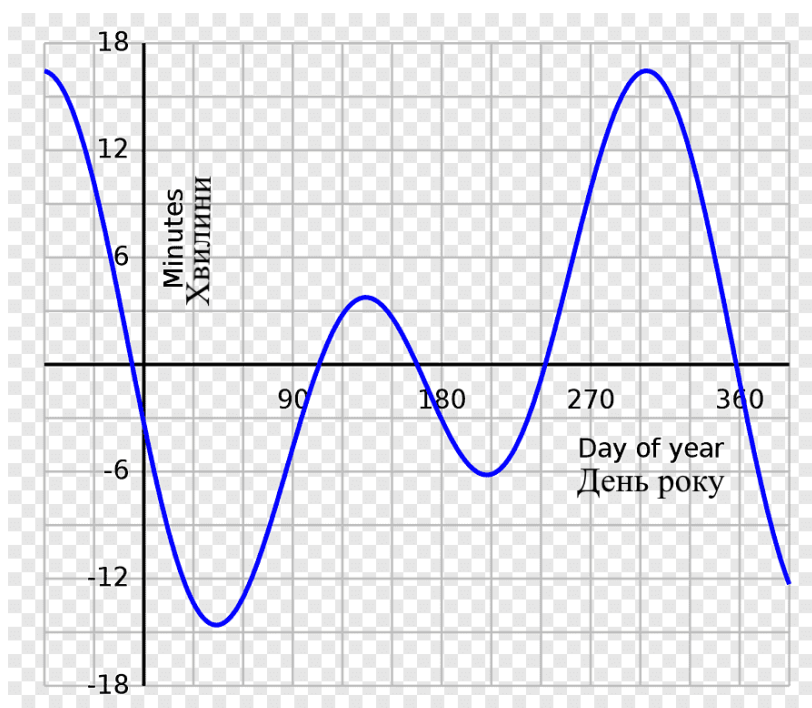


Рис. 3.2. Зміна значення рівняння часу протягом року

Сонячний азимутальний кут (Z) – це кут між проекцією напрямку сонячних променів на горизонтальну площину Землі та напрямком південь (для північної півкулі) (рис. 3.3). Значення даного кута обчислюється за допомогою:

- значення кута між сонячними променями в точку спостереження і горизонтальною площиною – висотою підйому Сонця (α);
- значення часового кута Сонця;
- значення кута схилення Сонця;
- значенням локальної широти, що визначається як кут між лінією з центру Землі до точки спостереження та екваторіальною площиною (L).

$$\sin Z = (\cos \delta * \sin h) / \cos \alpha. \quad (3.11)$$

$$\cos Z = (\sin \alpha * \sin L - \sin \delta) / (\cos \alpha * \cos L). \quad (3.12)$$

Під час сонячного полудня Сонце знаходиться точно на меридіані (через який проходить вісь північ-південь), а отже, сонячний азимутальний кут дорівнює 0° .

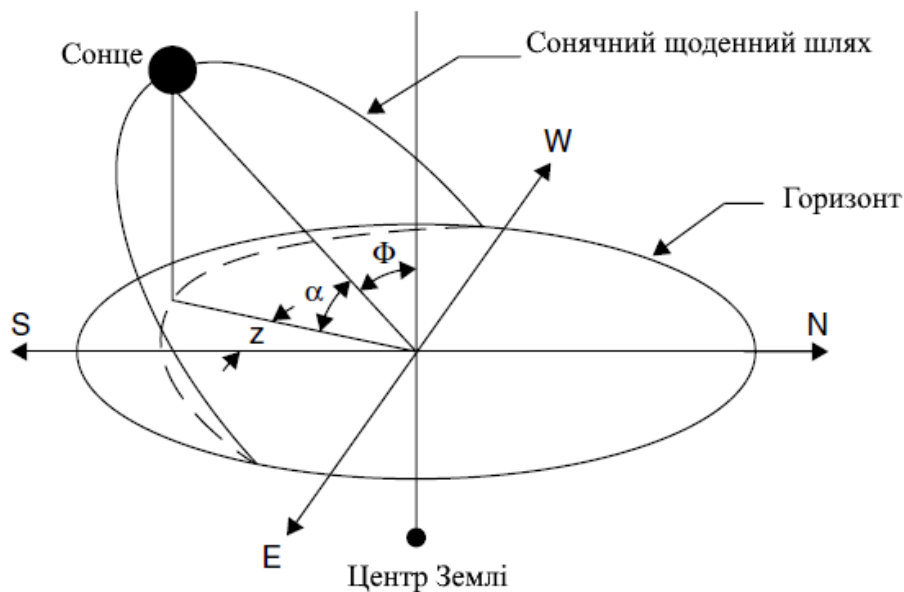


Рис. 3.3. Видима траєкторія Сонця від сходу до заходу

Оскільки орбіта Землі має овальну форму, похибка обчислень може сягати пікового значення в 1° . Додаткова похибка 0.5° може виникнути у всіх рівняннях у дні рівнодення, якщо не використовувати десятковий розряд під час вибору дня

року для корегування часу після півночі по всесвітньому часу для початку цього дня.

Алгоритм обчислення положення Сонця для обертання сонячної панелі в його напрямку полягає у:

- визначені координат системи за допомогою *GPS*-модуля;
- визначені кута схилення Сонця;
- визначені висоти координати Сонця;
- визначені азимуту координати Сонця;
- визначені часового кута Сонця;
- визначені середнього сонячного часу;
- визначені сонячного азимутального кута.

За допомогою даних формул можна визначити положення Сонця в будь-який момент часу в будь-якій точці Землі.

3.2. Проектування апаратної системи

Проектування апаратної частини системи здійснюється за допомогою використання наступних компонентів:

- мікроконтролер *Arduino UNO R3*;
- сонячна панель;
- голосовий модуль;
- *GPS*-модуль;
- пристрій заряджання;
- двигун (сервоприводи);
- утримувачі для сервоприводів;
- стабілізуючі важелі;
- об'єднуючі провода;
- резистори;
- акумулятор;
- тримач акумулятора;

- дисплей для виведення повідомлень;
- макетна об'єднуюча плата.

Керування роботою програмної системи підключення альтернативного джерела енергії здійснюється за допомогою мікроконтролера [17]. Існує велика кількість апаратних обчислювальних платформ, найчастіше використовуваними серед яких є сімейство *Arduino*, *Raspberry Pi* та *STM32*. Усі вони відрізняються між собою, проте мікроконтролери сімейства *Arduino* є найчастіше використовуваними через свою простоту, можливість під'єднання великої кількості додаткових апаратних модулів та вартість. Основними перевагами використання мікроконтролерів *Arduino* є:

- гнучкість модернізації. Більшість апаратних модулів, таких як *GPS*-модуль, модуль стільникового зв'язку, модуль розпізнавання голосу та інші, є сумісними з мікроконтролерами сімейства *Arduino*. Також, є можливим створення власного модуля на базі контролера *Arduino*, що дозволяє зменшити або збільшувати розміри контролера.
- низька вартість. Мікроконтролери *Arduino* є відносно дешевими у порівнянні з іншими платформами. Архітектурна простота мікроконтролера надає можливість побудови особистої версії модуля для виконання конкретних операцій, при цьому ціна такого модуля може бути значущо вирізнятися від існуючих моделей мікроконтролерів *Arduino*.
- крос-платформенність. Програмне забезпечення *Arduino* може працювати на різних операційних системах: *OS Windows*, *Linux*, *OSX* та *Macintosh*.
- наявність власного середовища програмування. Програмна система може бути розроблена із використанням середовища *Arduino IDE*, яке містить простий інтерфейс, який є зрозумілим для початківців.
- споживання електроенергії. Простота мікроконтролера та відсутність численних додаткових модулів значно збільшує тривалість роботи мікроконтролера. Більшість моделей *Arduino* споживають 5 В, проте задля більшої економії витрат енергії, дані модулі можна перевести в режим споживання 3,3 В.

Найпопулярнішими моделями плат *Arduino* є: *Uno (R3)*, *Nano*, *Micro*, *Due*, *LilyPad Arduino Board*, *Bluetooth*, *Diecimila*, *RedBoar Arduino Board*, *Mega (R3) Board*, *Leonardo Board*, *Robot*, *Esplora*, *Pro Mic*, *Ethernet*, *Zero*, *Arduino Board* та інші. Всі вони відрізняються між собою кількістю вхідних та вихідних роз'ємів, кількістю цифрових та аналогових входів, наявністю вбудованих апаратних модулів, вартістю та іншим. Розробка апаратного модуля підключення альтернативного джерела енергії відбувається на базі мікроконтролера *Arduino Uno R3*, оскільки він є найбільш збалансованим по вартості, кількості аналогових та цифрових входів та зручності користування.

Визначення координат місцезнаходження системи, а також визначення поточного часу необхідні для коректного обчислення поточного положення Сонця. Визначення координат та часу можуть здійснювати двома способами:

- введенням даних користувачем безпосередньо у систему;
- з використанням додаткових апаратних модулів для визначення координат та часу.

Перший спосіб визначення даних, необхідних для коректної роботи системи, є зручним для розробника, натомість, незручним для користувача. Даний спосіб може використовуватись виключно задля визначення користувачем поточної дати в регіоні, де знаходитиметься система, оскільки модулі для визначення поточного часу є дорогими, що значно підвищить вартість усієї системи. Визначення координат місцезнаходження системи повинне обчислюватись програмно без втручання користувача у роботу системи, оскільки при зміні локації системи необхідно буде визначати нові її координати, що є незручним для користувача.

Другий спосіб є найбільш популярним, оскільки виключає можливість користувача втручання в роботу системи, що часто спричиняє некоректну роботу систему. Проте даний спосіб вимагає додаткових витрат як для закупівлі комплектуючих, так і для оплати робочого часу інженерів, що займаються налаштуванням апаратної та програмної складових модулів.

Визначення координат поточного місцезнаходження системи здійснюється за допомогою використання *GPS*-модуля. *GPS*-модуль – це пристрій, призначений для

визначення положення та швидкості руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері. *GPS*-приймач, розташований всередині модуля, приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту *GPS*-системи глобального позиціонування.

Принцип роботи *GPS*-модуля полягає в обчисленні приймачем сигналу затримки розповсюдження сигналу від супутника до приймача. На основі цих даних приймач отримує інформацію про місцезнаходження супутника. Для обчислення відстані від супутника до приймача час затримки множиться на швидкість світла.

Одним із найбільш популярних *GPS*-модулів є *GPS NEO-6M*. Даний модуль можна використовувати разом із мікроконтролерами сімейства *Arduino*, а також багатьма іншими. Обмін даними здійснюється через універсальний асинхронний приймач/передавач (*UART*). Для збереження останніх визначених координат після вимкнення, модуль містить вбудовану пам'ять *EEPROM*. Основною перевагою даного модуля серед інших є наявність детально описаної технічної документації, низька ціна та невеликі розміри, що дозволяє використання його навіть у маленьких апаратних модулях. Серед основних характеристик *GPS NEO-6M* є:

- підтримка *SBAS* (*WAAS*, *EGNOS*, *MSAS*, *GAGAN*);
- швидкість оновлення розташування 5 Гц ;
- оснащений активною керамічною антеною;
- індикатор: не мигає – пошук супутників; мигає кожні 1 с – місцезнаходження визначено;
- розміри модуля: $26.1 \times 35.9 \times 5 \text{ мм}$;
- розміри антени: $25.5 \times 25.2 \times 6 \text{ мм}$.

Даний модуль містить 4 контакти:

- *GND* – вихідний контакт заземлення;
- *TxD* – вихідний контакт для передачі даних;
- *RxD* – вихідний контакт для отримання даних;
- *VCC* – вихідний контакт живлення 5 В .

Розпізнавання голосових команд користувача здійснюється за допомогою модуля розпізнавання голосу *Voice Recognition Module V3.1*. Даний модуль є компактним та простим у керуванні процесом розпізнавання голосу. Перевагою

даного модуля серед інших є наявність вбудованого мікрофона, компактність та сумісність з великою кількістю мікроконтролерів.

Для роботи модуля його необхідно попередньо налаштувати на розпізнавання конкретних голосових команд, відтворивши їх декілька разів зрізною інтонацією для більш точної роботи модуля. Даний модуль здатний записувати до 80 голосових команд (тривалість кожної команди не повинна перевищувати 1.5 с та містити одне або два слова) і всі вони можуть зберігатись у пам'яті навіть після відключення модуля від джерела енергії.

Голосовий модуль містить два типи пам'яті:

- пам'ять сховища, в якій голосові команди лише зберігаються;
- пам'ять розпізнавача, в якій голосові команди зберігаються та порівнюються із вхідною командою через мікрофон.

Розпізнавання голосових команд здійснюється шляхом завантаження їх з пам'яті сховища у пам'ять розпізнавача. Пам'ять розпізнавача розрахована на зберігання 7 голосових команд, тому даний модуль здатний одночасно порівнювати до 7 голосових команд з вхідною командою. Даний спосіб організації пам'яті надає можливість розподілу довгих голосових команд (довжина яких перевищує 1.5 с) на дві та більше голосові команди, які будуть завантажуватись із пам'яті сховища в пам'ять розпізнавача відповідно до розпізнавання модулем попередніх частин довгої голосової команди.

Керування голосовим модулем *Voice Recognition Module V3.1* може здійснюватись двома способами:

- через послідовний *UART* порт (керування здійснюється командами протоколу *VR3* або методами бібліотеки *VoiceRecognitionV3*);
- через виходи модуля *IN* та *OUT*. Входи *IN* використовуються для завантаження необхідних груп голосових команд із пам'яті сховища в пам'ять розпізнавача. Виходи *OUT* використовуються для визначення номеру вхідної голосової команди та керування пристроями.

Основними перевагами та характеристиками голосового модуля *Voice Recognition Module V3.1* є:

- одночасне розпізнавання: до 7 голосових команд;
- об'єм сховища: до 80 голосових команд тривалістю не більше 1.5 с;
- точність розпізнавання мови: 99% (в умовах відсутності зовнішніх джерел звуку);
- вхідна напруга: 4.5–5.5 В;
- цифровий інтерфейс: *UART* та *GRIP* рівень *TTL 5 В*;
- аналоговий інтерфейс: багатоканальний роз'єм мікрофона jack 3.5 мм;
- розміри плати: 31 × 50 мм.

Для підключення голосового модуля до апаратної та програмної шини *UART Arduino* використовуються 4 входи: *GND*, *VCC*, *RxD*, *TxD*. Для коректної роботи модуля необхідно підключати вихід *RxD* до третього виходу модуля мікроконтролера *Arduino UNO*, а вихід модуля *TxD* до другого виходу мікроконтролера (попередньо програмно налаштувавши мікроконтролер).

Керування обертанням сонячної панелі здійснюється за допомогою серводвигунів. Оскільки рух панелі здійснюється в горизонтальній та вертикальній площинах, а також вага сонячної панелі не є великою, було використано два серводвигуни моделі *SG90*, конструкція яких складається лише із двигуна, датчика позиціонування та керуючої системи. Для коректної безперебійної роботи двигуна необхідне джерело живлення з напругою 5 В. Серводвигун містить 3 контакти та має невеликі розміри. Підключення до мікроконтролера здійснюється за допомогою оранжевого сигнального проводу до цифрового виходу мікроконтролера. Модель серводвигуна *SG90* вирізняється серед інших своєю низькою ціною та простотою у керуванні та підключенні. Натомість, через невисоку вагу, положення серводвигун може змінюватись під тиском ваги сонячної панелі. Фіксація положення двигуна здійснюється за допомогою стабілізуючих важелів та утримувачів.

Утримування сонячної панелі здійснюється за допомогою укріплюючих елементів на невеликій відстані від серводвигунів для забезпечення вільного обертання панелі навколо власної осі без ризику зіткнення з іншими елементами системи. Проте, розташування сонячної панелі на невеликій відстані, суттєво збільшує навантаження на двигун. Для уникнення пошкодження серводвигунів або

їхньої несправної роботи, використовуються стабілізуючі важелі на деякій відстані від двигунів на протилежній до сонячної панелі стороні двигуна. Визначення ваги важелів та відстані на якій вони розташовуються відносно двигунів здійснюється за допомогою формулу рівноваги важеля або правила важеля:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1},$$

де F_1 – сила сонячної панелі, що діє на двигун,

F_2 – сила важелів, що діють на двигун,

d_1 – відстань на якій розташовується сонячна панель відносно двигуна,

d_2 – відстань на якій розташовуються важелі відносно двигуна.

Значення сил сонячної панелі та важелів обчислюються за допомогою формули сили тяжіння:

$$F = m * g,$$

де m – маса сонячної панелі або важелів;

g – прискорення вільного падіння (дана величина є сталою та дорівнює 9,8 Н/кг).

Кріплення серводвигунів здійснюється за допомогою кронштейнів, які унеможливають самовільний рух серводвигунів. Утримуючі кронштейни додатково зменшують навантаження на вал серводвигуна, що також враховується при обчисленні відстані на якій повинні кріпитись сонячна панель на важелі.

Видобуток електроенергії відбувається за допомогою сонячної панелі. Вона використовується для заряджання акумулятора, що живить систему та для накопичення заряду. Сонячна панель містить розміри 145 × 145 × 3 мм, вагу 85 г, вихідну напругу 6 В та потужність 3 Вт. Завдяки невеликій вазі та габаритів, зменшується навантаження на двигуни, а отже зменшується споживання енергії для стабілізації положення валу серводвигунів.

Заряджання акумулятора неможливе без використання окремого модуля, що здійснює контроль заряджання *Li-Ion* та *Li-Po* акумуляторів та містить датчик контролю температури. Найчастіше використовуваним модулем такого типу є *TP4056* [18]. *TP4056* виконаний в корпусі *SOP-8*, містить металевий термоносій, що не з'єднаний із контактами для уникнення некоректної його роботи та надає

можливість заряджання акумуляторів із струмом до 1000 мА. TP4056 автоматично завершує процес заряджання при досягненні на ньому напруги 4,2 В і зниження рівня струму до 0,1 від запрограмованої величини. Для повідомлення про готовність акумулятора до використання, даний модуль містить світлодіод, який світиться синім кольором [19].

Виведення результату обробленої голосової команди здійснюється за допомогою графічного дисплею (екрану). Існує велика кількість видів графічних дисплеїв, основними серед яких є:

- *TFT LCD (Thin-Film Transistor Liquid Crystal Display)*. Рідкокристалічний дисплей містить світлодіод, який є джерелом підсвічування дисплею. Перевагами такого дисплею є низька вартість, довгий термін працездатності, відсутність миготіння символів на екрані та висока щільність пікселів.
- *OLED (Organic Light-Emitting Diode)*. Органічний світло-випромінюваний діод містить ряд переваг, серед яких: кожний піксель екрана є окремим діодом, низьке енергоспоживання, гнучкість, високий коефіцієнт контрастності, висока яскравість, більш яскраві кольори зображення.
- *E-Ink (Electronic Ink)*. Дисплеї, принцип роботи яких полягає у створенні зображення на основі мікроскопічних частинок пігментів, містять ряд переваг, серед яких: відсутність відблиску при попаданні сонячних променів, низький рівень споживання електроенергії та відсутність миготіння [20].

Враховуючи вищеописані переваги кожного із видів дисплеїв та з урахуванням простоти та зручності керування дисплеєм за допомогою мікроконтролера, було обрано графічний дисплей типу *TFT LCD*.

Принципова схема спроектованого апаратного модуля під'єднання додаткового джерела енергії зображена на рис. 3.4:

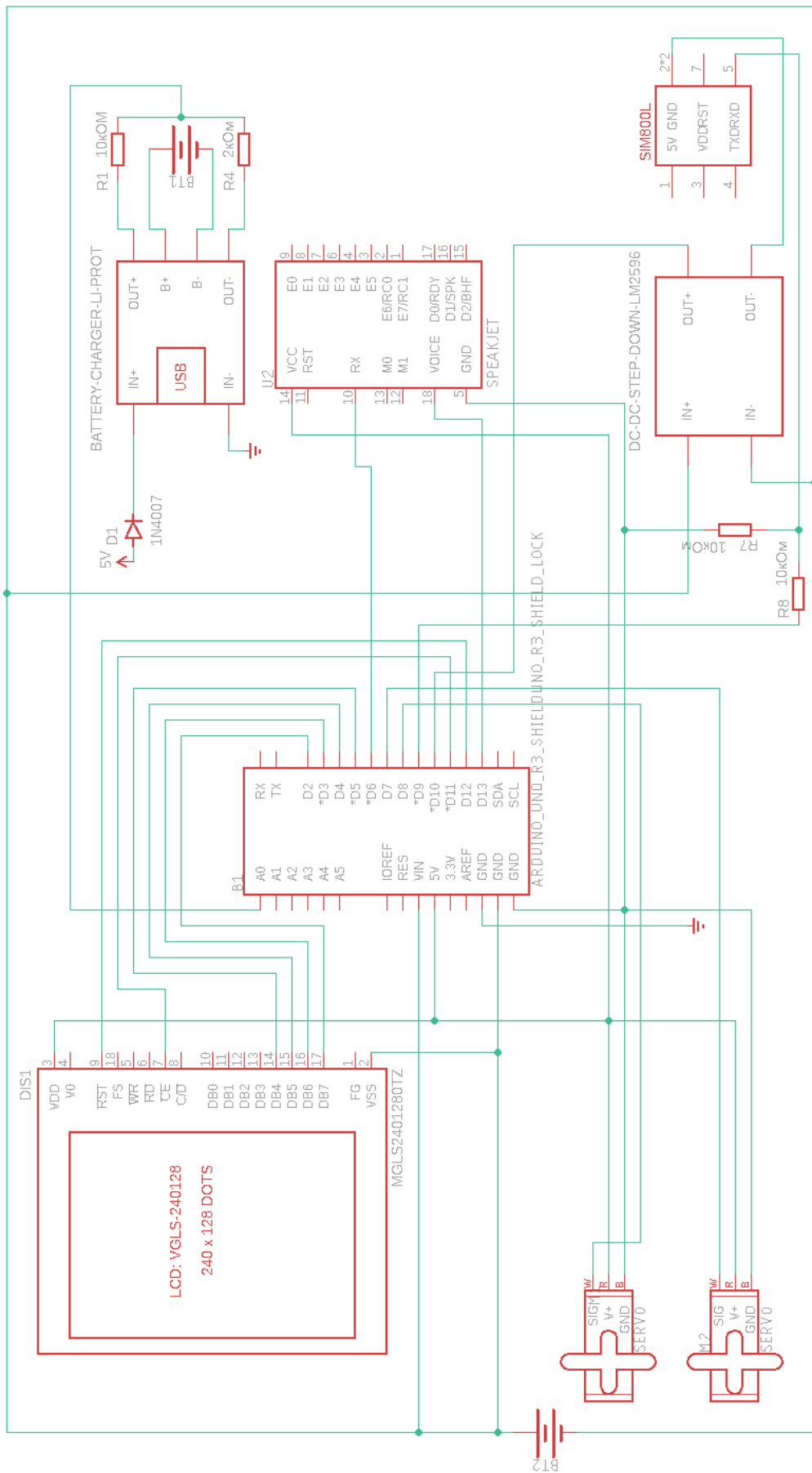


Рис. 3.4. Принципова схема апаратного модуля підключення альтернативного джерела енергії

3.3. Проектування програмної системи

Програмна система керування альтернативним джерелом енергії спроектована в середовищі *Arduino IDE (Integrated Development Environment)*. Дане середовище розробки використовує власну мову програмування *Processing/Wiring*, яка має схожість із мовами програмування *C* та *C++*, та призначене для програмування всіх плат сімейства *Arduino*. *Arduino IDE* надає можливість створювати програми в зручному текстовому редакторі, компілювати їх в машинний код та завантажувати на мікроконтролер [21]. Компілятор *Arduino IDE* має назву *AVR-GCC* та значно спрощує написання програм для мікроконтролера *Arduino*.

Мова програмування *Wiring* спроектована на базі мов програмування *Processing*, *C* та *Java*. *Wiring* є низькорівневою мовою програмування, призначеною для створення програм для процесорів, проте вона також надає можливість створення програм з використанням графічних бібліотек, таких як *OpenGL* [22].

Завантаження програмного коду в мікроконтролер відбувається в декілька етапів:

- *Arduino IDE* виконує перевірку коду на наявність помилок в синтаксисі та його відповідності стандартам *C* та *C++*;
- перевірений код потрапляє у компілятор *AVR-GCC*, який перетворює код в машинний код;
- машинний код комбінується (лінкується) із стандартними бібліотеками *Arduino*, які забезпечують базові функції, такі як *digitalWrite()* або *Serial.print()*. В результаті створюється єдиний файл формату *Intel HEX*, що містить спеціальні байти для запису в програмну пам'ять процесора мікроконтролера *Arduino*.
- отриманий файл завантажується на плату мікроконтролера за допомогою *USB*-проводу зовнішнього апаратного програматора, або за допомогою послідовного з'єднання через завантажувач.

Завантаження програми у процесор мікроконтролера відбувається за допомогою *AVRDude*. Процес завантаження керується змінними у файлах “*board.txt*” та “*preferences.txt*”. В файлі “*board.txt*” можна використовувати наступні змінні:

“<BOARD>.upload.protocol”, “<BOARD>.upload.speed”,
“<BOARD>.upload.maximum_size”. У файлі “preferences.txt” можна використовувати наступні змінні: “upload.verbose”.

Спроектвана програмна система містить ряд функцій, кожна з яких призначена для роботи з окремими апаратними модулями системи:

- обчислення положення Сонця за допомогою математичних функцій та датчиків позиціонування;
- керування положенням сонячної панелі за допомогою серводвигунів;
- зчитування голосових команд користувача;
- порівняння голосової команди із наявним набором команд та виконання функції, що відповідає поточній команді;
- виведення результату виконання команди на дисплей.

Схема алгоритму програмної системи керування альтернативним джерелом енергії представлена на рис. 3.5:

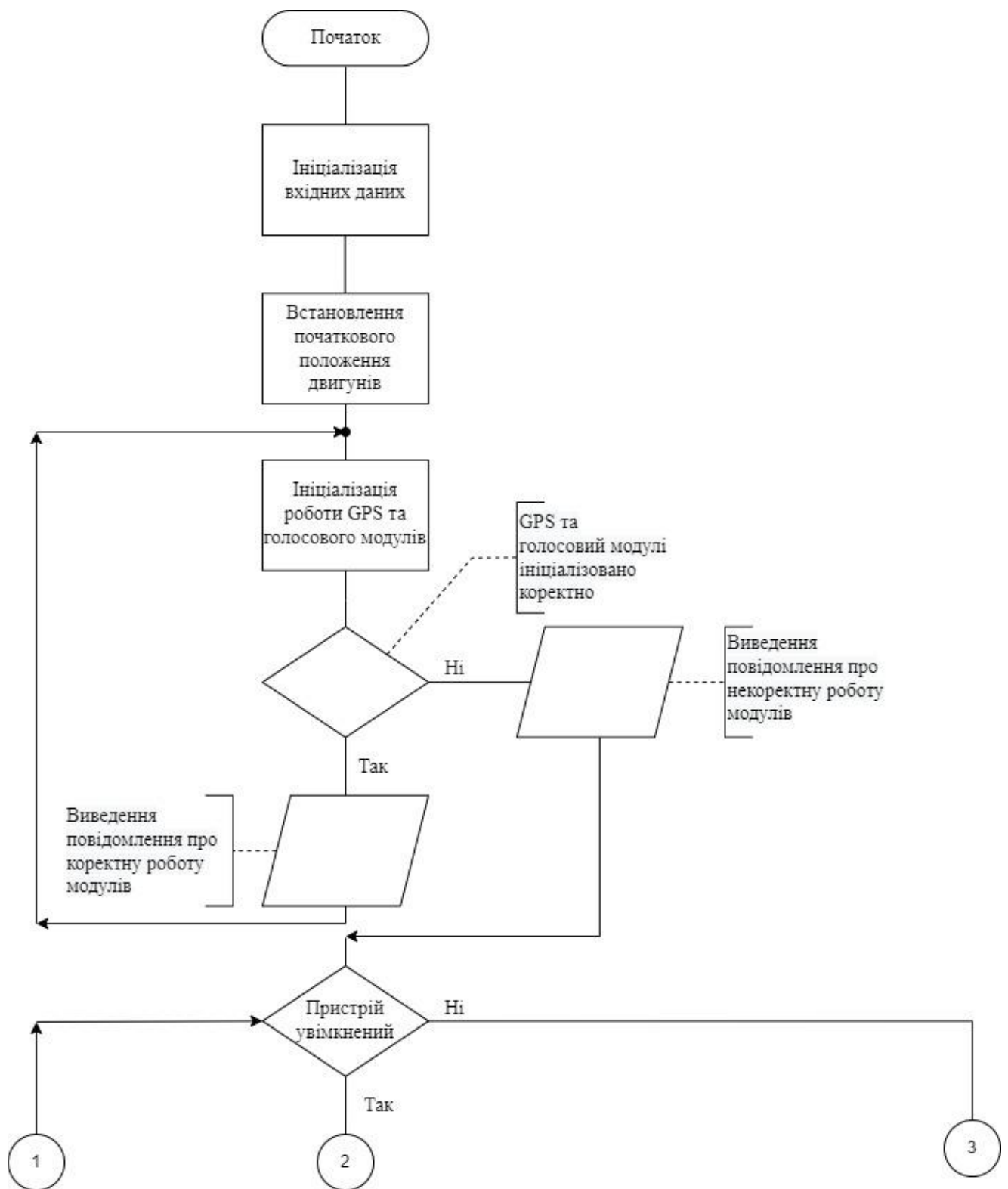


Рис. 3.5. Схема алгоритму програмної системи керування альтернативним джерелом енергії (початок)

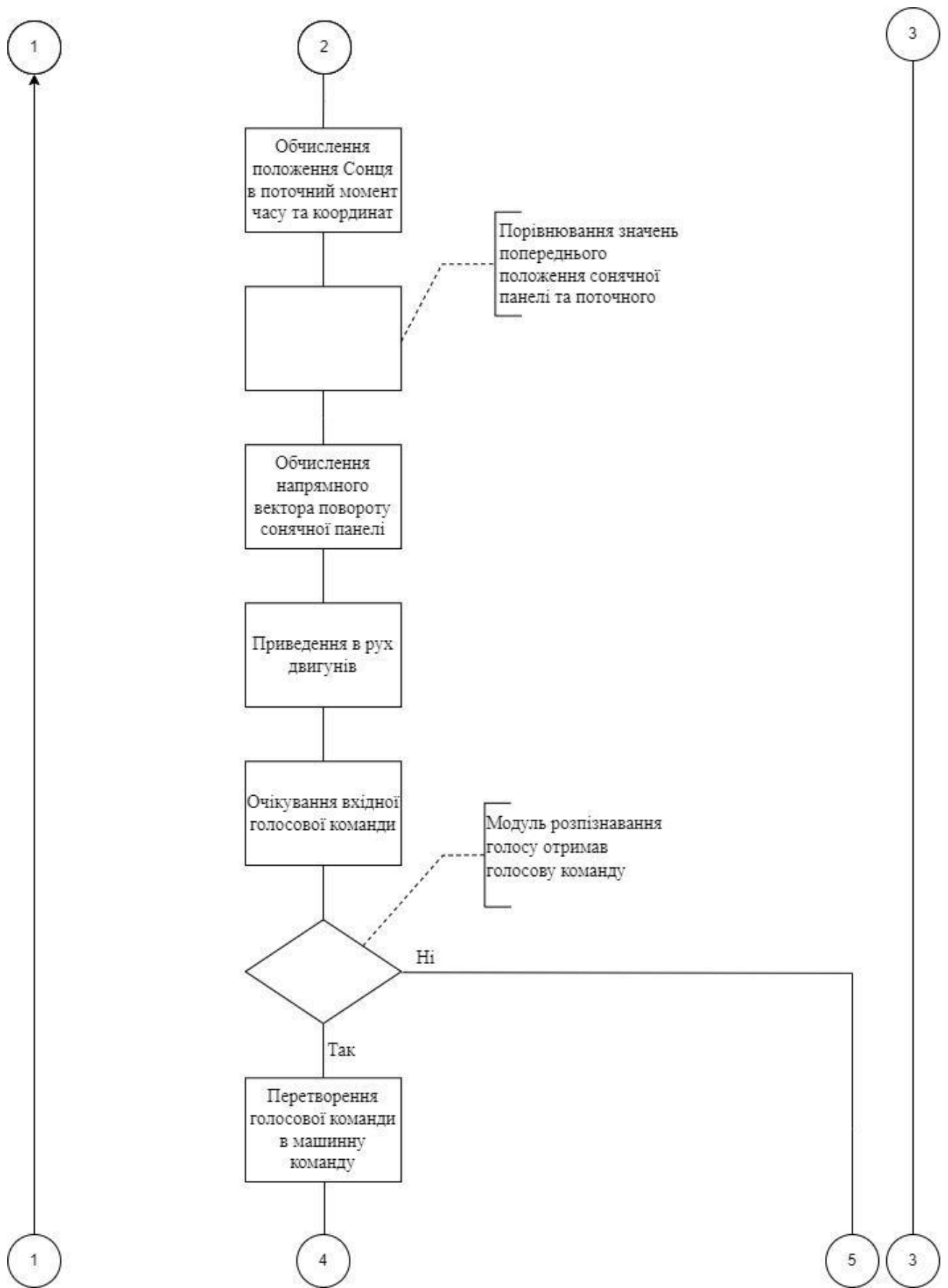


Рис. 3.5. Схема алгоритму програмної системи керування альтернативним джерелом енергії (продовження)

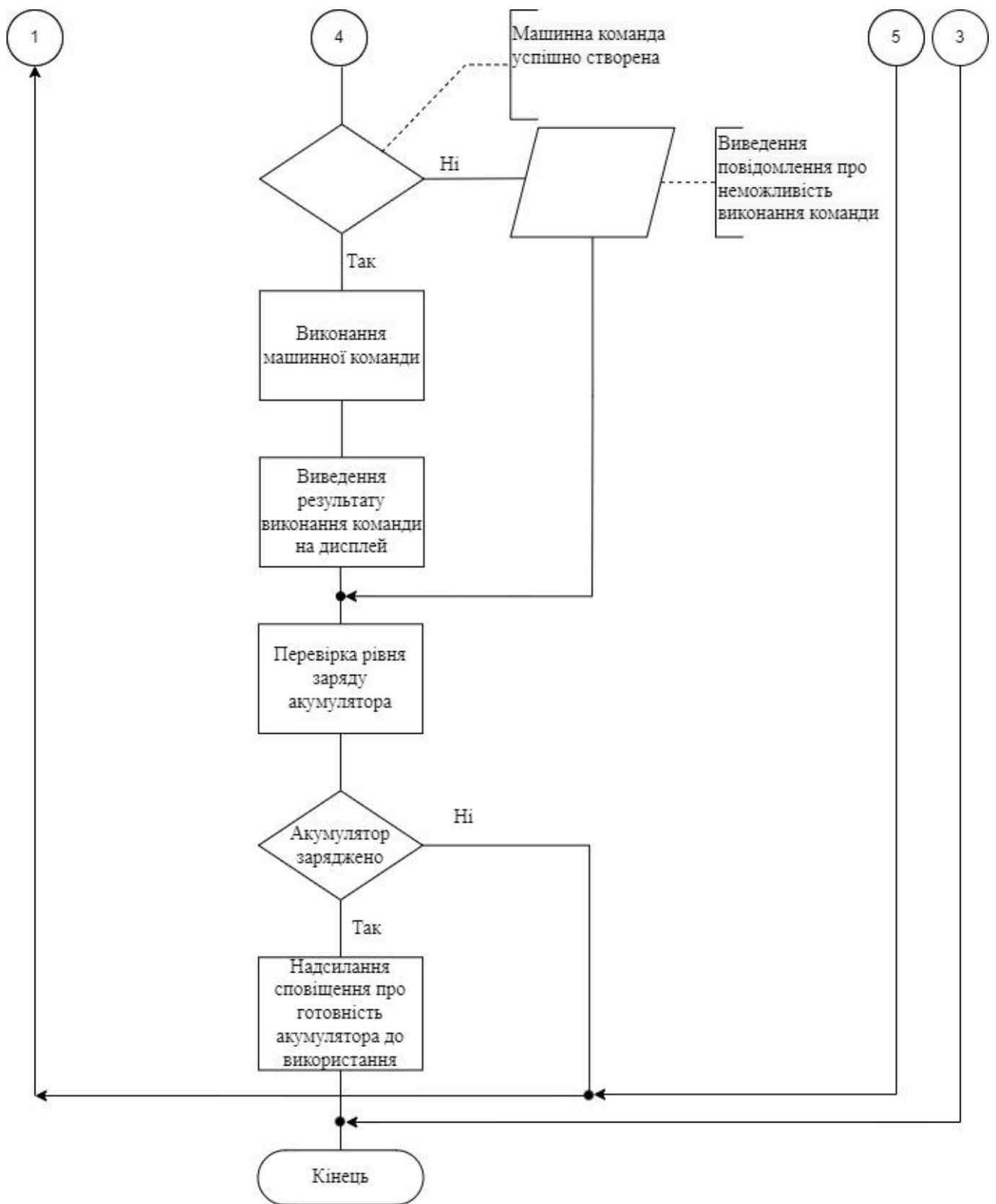


Рис. 3.5. Схема алгоритму програмної системи керування альтернативним джерелом енергії (закінчення)

3.4. Висновки до розділу

У даному розділі було детально описано існуючі технології видобутку альтернативної енергії, їхні переваги та недоліки. Розглянуто апаратні модулі для побудови за допомогою яких відбувається видобуток електроенергії, серед яких:

- мікроконтролери для керування роботою усієї системи;
- сонячні панелі;
- голосові модулі розпізнавання голосових команд;
- *GPS*-модулі для визначення координат місцезнаходження системи;
- пристрої заряджання акумуляторів;
- сервоприводи для приведення сонячних панелей в рух;
- графічні дисплеї виведення інформації.

Головним компонентом системи є мікроконтролер, оскільки він здійснює керування усією системою, тому основними характеристиками вибору мікроконтролера є його тривалість роботи від акумуляторних пристроїв, швидкість передавання даних користувачу, залежність працездатності від погодних умов, простота та зручність написання та завантаження програмного коду. Опираючись на перераховані характеристики, було обрано мікроконтролер *Arduino UNO*.

Сонячна панель, що здійснює видобуток електроенергії та заряджає акумулятор, містить потужність 3 *Вт* та вихідну напругу 6 *В*. розпізнавання голосових команд здійснюється за допомогою модуля розпізнавання голосу *Voice Recognition Module V3.1*. Визначення координат поточного місцезнаходження системи здійснюється за допомогою використання *GPS*-модуля *NEO-6М*. Заряджання акумулятора відбувається за допомогою модуля зарядки *TP4056*.

Керування рухом сонячної панелі здійснюється за допомогою серводвигунів, положення яких та напрямок руху обчислюється математичними формулами, які включають в себе обчислення азимуту координати Сонця, схилення та часовий кут Сонця, середнього сонячного часу та азимутального кута Сонця.

Було розглянуто середовища розробки програмних систем керування альтернативним джерелом енергії, мови програмування, підтримувані даними

середовищами та процес завантаження програмного коду у пам'ять мікроконтролера. Для створення програмної системи було обрано середовище програмування *Arduino IDE* та мову програмування *C/C++*.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЖИРНИМ

4.1. Налаштування програмного середовища розробки системи

Для розробки програмного модуля було попереднього налаштовано середовище програмування *Arduino IDE*. Під час процесу підготування середовища програмування було виконано ряд дій:

- створення програмних файлів;
- збереження програмних файлів в пам'яті комп'ютера;
- під'єднання допоміжних програмних модулів;
- завантаження програмної системи у пам'ять мікроконтролера.

Для написання програмного коду у середовищі *Arduino IDE* було створено файл, що містить командні операції. Для створення даного файлу було відкрито середовище *Arduino IDE*, обрано меню *File* та за допомогою меню *New* створено новий файл. Створений файл містить розширення *.ino*, оскільки жодні інші розширення файлів не підтримуються мікроконтролером, без використання додаткових модулів [23].

Збереження програмних файлів в пам'яті комп'ютера відбувається з використанням меню *File – Save as*. Після відкриття меню збереження файлу було введено назву файлу англійською мовою без використання пробілів. Також, в даному меню було запропоновано обрати шлях збереження файлу, який за замовчуванням, розташовується у директорії знаходження середовища *Arduino IDE*.

Побудова програмного засобу для мікроконтролерів *Arduino* неможлива без використання допоміжних програмних модулів, що мають розширення *.h*. Так, наприклад, без модуля *Servo* неможливе використання двигунів (сервоприводів). Під'єднання додаткових модулів можливе за допомогою програмного використання директиви “*#include*” або за допомогою меню *Sketch – Include Library*. У відкритому меню знаходиться вбудований у середовище перелік модулів, які готові до

використання. У разі якщо необхідний модуль відсутній у переліку, його необхідно завантажити з мережі Інтернет. В Інтернеті дані модулі містять розширення *.zip*. Для під'єднання їх до середовища розробки необхідно обрати меню *Sketch – Include Library – Add ZIP Library*. У відкритому вікні необхідно обрати шлях до розташування файлу *.zip* та обрати необхідний файл. Після вибору необхідного файлу в виконуючому файлі буде додано директиву “*#include*” з назвою обраного файлу.

Для подальшої роботи мікроконтролера, створену програмну систему було завантажено у пам'ять мікроконтролера. Завантаження програми відбувається у три етапи:

- під'єднання мікроконтролера до комп'ютера;
- налаштування середовища *Arduino IDE* для роботи з конкретною моделлю мікроконтролера;
- завантаження програми у пам'ять мікроконтролера. Для цього необхідно натиснути функціональну кнопку *Upload*. У випадку наявності помилок у синтаксисі програми, в інформаційному вікні середовища буде виведене відповідне повідомлення.

Зв'язок між мікроконтролером та комп'ютером встановлюється за допомогою *USB*-кабелю. Для розпізнавання комп'ютером вхідного пристрою необхідно завантажити додаткові драйвери.

Налаштування середовища *Arduino IDE* відбувається за допомогою меню *Tools – Board Manager*, в якому було обрано модель мікроконтролера *Arduino UNO*.

Завантаження програми у пам'ять мікроконтролера відбувається за допомогою функціональної кнопки *Upload* розташованої у головному меню середовища. У випадку наявності помилок у синтаксисі програми, в інформаційному вікні середовища буде виведене відповідне повідомлення.

Після налаштування програмного середовища, у файлі програми було автоматично створено дві функції: *void setup()* та *void loop()*. Без даних функцій неможливий запуск системи.

Функція *setup()* використовується для ініціалізації змінної, визначення режимів роботи виходів на платі та інше. Функція запускається лише один раз після кожної подачі живлення на мікроконтролер.

Функція *loop()* виконується безперервно в циклі, дозволяючи програмі здійснювати обчислення і реагувати на них. Функція *setup()* і *loop()* повинні бути присутніми в кожному скетчі, навіть якщо дані оператори в програмі не використовуються.

4.2. Розробка функції керування рухом сонячної панелі

Основною задачею програмної системи керування альтернативним джерелом енергії є обертання сонячної панелі в напрямку положення сонця, що забезпечує повну направленість усіх частин панелі і збільшує видобуток електроенергії протягом дня. За допомогою сервоприводів рух панелей може відбуватись у горизонтальному та вертикальному напрямках.

Для зберігання поточного повороту двигуна, об'єкту класу *Servo*, який містить функції для роботи двигуна, напрямку повороту двигуна, функції початку та завершення повороту було створено клас *MovingServo*. Для зберігання значення положення сонця та напрямного вектору сонячної панелі було створено структуру *MyVector*. Дана структура має три змінні типу *float*, кожна з яких вказує на положення об'єкта в тривимірному просторі (координати X, Y та Z).

Функція *rotateSolarPanel()* призначена для приведення сонячної панелі в рух. Вона містить три підфункції: *MyVector calculateSunLocation()*, *void createSolarPanelForwardVector(Coordinates)* та *void changeSolarPanelForwardVector(MyVector forwardVector)*.

Функція *calculateSunLocation()* не приймає жодних значень, а вкінці повертає обчислене значення положення сонця [24]. На початку функції відбувається визначення координати положення системи за допомогою *GPS*-модуля. Для роботи *GPS*-модуля в програмному коді було додано заголовковий файл "*TinyGPS++.h*".

Даний файл не є вбудованим у середовище розробки *Arduino IDE* і його було завантажено окремо. Оголошення змінної *gps* типу *TinyGPSPlus*, прототип якої знаходиться в заголовковому файлі, було здійснено у глобальній області видимості програмної системи для забезпечення можливості доступу до неї з будь-якого місця програми. За допомогою змінної *location*, що міститься у файлі класу *TinyGPSPlus*, можна отримати доступ до двох методів: *gps.location.lat()* та *gps.location.lng()*, які повертають значення широти і довготи поточного положення системи відповідно. Для збільшення точності визначеної координати було використано змінну типу *double*. Для зберігання отриманих координат положення системи було створено структуру *Coordinates*. Дана структура містить дві змінні типу *double*, перша з яких позначає широту, друга – довготу. Оскільки обчислене положення є тимчасовою змінною, необхідність зберігання координат системи у постійній пам'яті відсутня.

Для обчислення положення сонця було використано математичні формули, що описують схилення, азимутальний кут, часовий кут Сонця та істинний сонячний час на основі поточного часу в місці положення системи та координат системи.

Функція *createSolarPanelForwardVector(Coordinates)* здійснює визначення напрямного вектору повороту сонячної панелі. На початку роботи функції із постійної пам'яті процесора мікроконтролера отримуються дані про поточний напрямний вектор сонячної панелі з типом *MyVector*. За допомогою поточної координати сонячної панелі та координати положення сонця відбувається обчислення напрямного вектору сонячної панелі. Обчислене значення напрямного вектору зберігається у постійну пам'ять *EEPROM*. Необхідність запису напрямного вектору у постійну пам'ять полягає у забезпеченні працездатності роботи системи у випадку аварійного вимкнення [25]. Для запису даних у постійну пам'ять було використано функцію *put()*, що оголошена в класі *EEPROM*, який знаходиться у заголовковому файлі "*EEPROM.h*". Для підключення заголовкового файлу "*EEPROM.h*" було використано директиву *#include*. Доступ до функції *put()* було забезпечено об'єктом класу *EEPROM*.

Функція *changeSolarPanelForwardVector(MyVector forwardVector)* здійснює заміну поточного напрямного вектору сонячної панелі на значення *forwardVector*.

Якщо значення напрямного вектору не змінилось, це означає, що у систему було введено некоректні вхідні дані, що можна призвести до неправильної роботи усієї системи. Після цього відбувається запуск роботи двигунів для обертання сонячної панелі.

4.3. Розробка функції розпізнавання голосової команди

Під час розробки функції розпізнавання голосової команди було розроблено клас *VoiceRecognizer*, що містить функцію *void tryFunctionByIndex(int indexNum)*, робота якої полягає в очікуванні голосової команди та спробі її розпізнавання.

За допомогою голосових команд користувач може здійснювати керування сонячної системою. Голосові команди можуть бути двох типів:

- наказові;
- інформаційні.

Наказовий тип голосових команд призначений для сповіщення системи про необхідність обертання сонячних панелей або вимкнення роботи системи. Інформаційний тип голосових команд призначений для здійснення запиту до системи про необхідність отримання даних про стан системи [26]. Запис голосових команд відбувається за допомогою мікрофона у пам'ять голосового модуля.

Для забезпечення програмного доступу до роботи голосового модуля необхідно було завантажити бібліотеку *VoiceRecognitionV3*. Дана бібліотека не є вбудованою у середовище *Arduino IDE*. Підключення бібліотеки було здійснено за допомогою меню *Include Library*, оскільки дана бібліотека вимагає підключення додаткових модулів, які будуть автоматично підключені за допомогою даного меню.

Для програмної роботи голосового модуля використовується програмна шина *UART*, в якій вихід модуля *RXD* під'єднується до третього виходу мікроконтролера *Arduino UNO*, а вихід модуля *TXD* під'єднується до другого виходу.

Виходи голосового модуля *IN0*, *IN1*, *IN2*, *GND* використовується для програмного завантаження необхідних голосових команд із сховища в розпізнавача

голосових команд (табл. 4.1). Першопочатково, завантаження груп команд за допомогою виходів *IN0*, *IN1*, *IN2* вимкнене.

Таблиця 4.1

Завантаження голосових команд в розпізнавач

<i>IN2</i>	<i>IN1</i>	<i>IN0</i>	Номер завантажуваної групи в розпізнавач голосових команд
0	0	0	Завантажити системну або користувацьку групу номер 00
0	0	1	Завантажити системну або користувацьку групу номер 01
0	1	0	Завантажити системну або користувацьку групу номер 02
0	1	1	Завантажити системну або користувацьку групу номер 03
1	0	0	Завантажити системну або користувацьку групу номер 04
1	0	1	Завантажити системну або користувацьку групу номер 05
1	1	0	Завантажити системну або користувацьку групу номер 06
1	1	1	Завантажити системну або користувацьку групу номер 07

Колодка із восьми виходів *OUT0*, *OUT1*, *OUT2*, *OUT3*, *OUT4*, *OUT5*, *OUT6*, *GND*, розташована голосовому модулі, може використовуватись для керування малопотужними пристроями напряму або потужними пристроями через реле або силові ключі. Виходи *OUT* модуля (табл. 4.2), так само як і комірки розпізнавача, пронумеровані цифрами від 0 до 6 [27]. Розпізнавання модулем голосової команди приводить до відповідної реакції виходу *OUT* модуля, порядковий номер якого співпадає з номером комірки розпізнавача, що містить розпізнану голосову команду. Першопочатково, виходи *OUT* голосового модуля реагують на розпізнавання голосової команди за допомогою від'ємного імпульсу, проте дану реакцію можна налаштувати таким чином, щоб виходи *OUT* змінювались, встановлювались або скидували логічний рівень при кожному співпадінні голосової команди.

Призначення виходів *OUT* голосового модуля

Виходи <i>OUT</i>	Призначення виходу
<i>OUT0</i>	Вихід реагує на розпізнавання голосової команди в комірці 0 розпізнавача
<i>OUT1</i>	Вихід реагує на розпізнавання голосової команди в комірці 1 розпізнавача
<i>OUT2</i>	Вихід реагує на розпізнавання голосової команди в комірці 2 розпізнавача
<i>OUT3</i>	Вихід реагує на розпізнавання голосової команди в комірці 3 розпізнавача
<i>OUT4</i>	Вихід реагує на розпізнавання голосової команди в комірці 4 розпізнавача
<i>OUT5</i>	Вихід реагує на розпізнавання голосової команди в комірці 5 розпізнавача
<i>OUT6</i>	Вихід реагує на розпізнавання голосової команди в комірці 6 розпізнавача

Налаштування голосового модуля відбувається за допомогою набору вхідних функцій, які вказують модулю про необхідність ввімкнення мікрофона, запису голосової команди, завантаження команди у пам'ять та інше. Оскільки налаштування модуля потребує додаткового налаштування роботи мікроконтролера, було створено окрему програму *VoiceLearning.ino*.

Надсилання програмних команд модулю відбувається за допомогою командного рядка *COM3* середовища розробки *Arduino IDE*. Дане вікно відкривається автоматично або за допомогою меню *Serial Monitor*. Налаштування даного вікна також може відбуватись програмно або безпосередньо у вікні. За допомогою команди *Serial.println(9600)* встановлюється швидкість передачі даних 9600 бод. Це стандартна швидкість обміну даними між графічним вікном

користувача та мікроконтролером. Для надсилання програмної команди модулю її необхідно ввести у командному рядку вікна після чого натиснути функціональну кнопку “Send”.

Перевірка налаштувань модуля здійснюється за допомогою команди “settings”. У відповідь на дану команду у вікні будуть описані налаштування модуля, серед яких:

- *Baud rate*. Дана команда позначає швидкість передачі даних шиною *UART*.
- *Output IO Mode*. Дана команда вказує на режим роботи виходів *OUT*.
- *Pulse Width*. Дана команда позначає ширину імпульсу модуля.
- *Auto Load*. Дана команда вказує стан завантаження голосових команд у розпізнавач (увімкнено, ввімкнено).
- *Group control by external IO*. Дана команда вказує стан керування групами за допомогою входів *IN0, IN1, IN2* (увімкнено, ввімкнено).

Навчання модуля розпізнавання голосу відбувається за допомогою команди “sigtrain 0 On”. Команда “sigtrain” вказує модулю про необхідність запису голосової команди. Після даної команди вводиться номер комірки пам’яті в яку буде записана команда. Останнім параметром команди є текстовий опис голосової команди, який не повинен займати більше 10 байт пам’яті [28]. У результаті роботи команди у графічному вікні середовище буде виведено надпис “Speak now”, що повідомляє про необхідність вимовлення голосової команди. Через декілька секунд після виведення надпису “Speak now” у вікні буде виведена команда “Speak again”, яке повідомляє про необхідність повторного вимовлення команди. У випадку, якщо обидві голосові команди співпали, у вікні будуть виведені наступні повідомлення:

- “Record: 0 - Success”. Дана команда повідомляє про те, що команда 0 була успішно розпізнана голосовим модулем.
- “Record 0 - Trained”. Дана команда повідомляє про те, що голосова команда успішно навчена та буде розпізнана при подальшому її використанні.
- “SIG: On”. Дана команда повідомляє про те, що голосова команда була успішно збережена у пам’ять.

У разі помилкового запису команди або неспівпадінню голосових команд у графічному вікні буде виведене повідомлення “*Record: 0 – Cannot matched*”, після чого на екрані повторного з’явиться повідомлення “*Speak now*” і “*Speak again*”. Дану голосову команду необхідно буде повторювати доки у вікні не буде виведене повідомлення про успішний запис команди.

Завантаження голосових команд із сховища у розпізнавач модуля відбувається за допомогою команди “*load 0*”. Команда “*load*” вказує про необхідність завантаження команди із сховища, а цифра 0 позначає номер запису у сховищі, який необхідно завантажити. У результаті роботи даної команди у графічному вікні середовища буде виведене повідомлення “*Record 0 Loaded*”, яке вказує на успішне завантаження команди.

Програмне розпізнавання голосової команди відбувається завдяки функції *recognize()* та попередньо створеного масиву із списком існуючих команд у системі. Для коректності розпізнавання голосової команди необхідно зберігати послідовність запису команди у модуль та додавання цієї ж команди в масив. У результаті команда в масиві і модулі матимуть однаковий порядковий номер. Для того, щоб голосова команда користувача могла бути розпізнаною в будь-який момент часу, функцію *recognize()* необхідно використовувати у циклічній функції *void loop()* (детальніше у розділі 4.1). Якщо функція *recognize()* не змогла розпізнати голосову команду вона повертає значення -1. У разі успішного розпізнавання голосової команди дана функція поверне порядковий номер команди у пам’яті.

Голосовий модуль утримує голосову команду “*Get charge*”, яке в результаті роботи виводить інформацію про заряд акумулятора на дисплей. Завдяки функції *void tryFunctionByIndex(int indexNum)* відбувається перевірка розпізнаної голосової команди з масивом існуючих команд. Дана функція розроблена таким чином, щоб зі збільшенням кількості голосових команд, її не потрібно було змінювати.

Результат роботи функції функції розпізнавання голосових команд представлений на рис. 4.1.

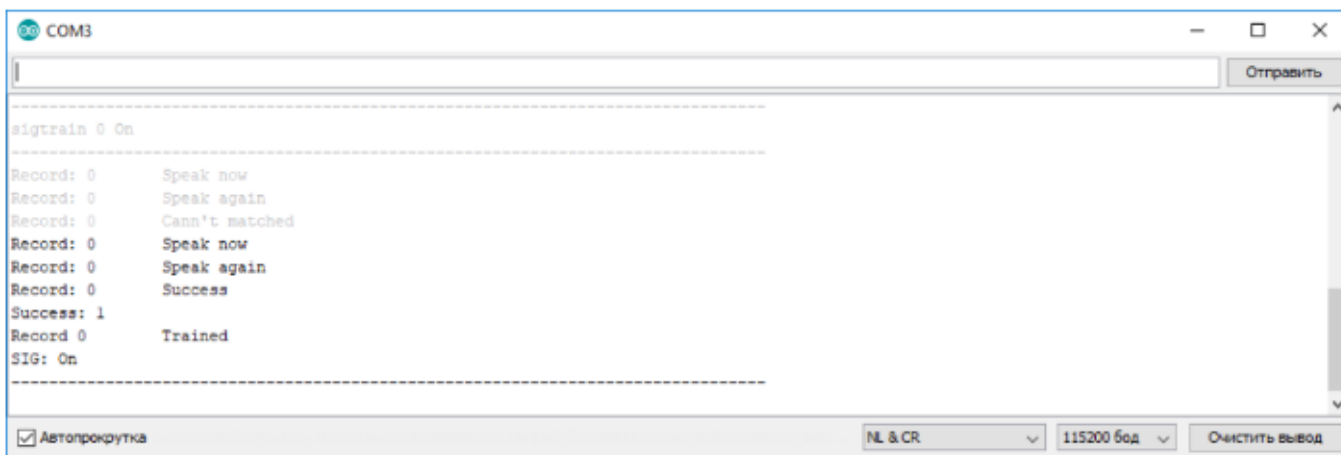


Рис. 4.1. Вікно з результатом роботи голосового модуля

4.4. Розробка функції визначення рівня заряду акумулятора

Найважливішим завданням системи підключення альтернативного джерела енергії є накопичення електроенергії отриманої від сонячної панелі в акумуляторі. Сповіднення користувача про готовність акумулятора до використання або про поточний заряд акумулятора відбувається завдяки програмній системі визначення рівня заряду акумулятора.

Оскільки для визначення рівня заряду акумулятора не потрібно використовувати об'єкти класів для роботи з модулем заряджання *TP4056*, задля зменшення об'єму використовуваної пам'яті, було створено лише одну функцію *calculateBatteryCharge()*, без використання об'єктів класів, що займають велику частку пам'яті мікропроцесора.

Існують два способи визначення рівня заряду акумулятора:

- з використанням окремих модулів;
- з використанням програмних засобів.

Використання апаратних модулів визначення заряду акумулятора потребує більших затрат на виробництво, оскільки не кожний модуль придатний до використання без додаткових компонентів. Використання програмних засобів передбачає порівняння напруги акумулятора з максимальним його рівнем напруги і

визначення відсоткового співвідношення даного показника [29]. Даний спосіб може бути не точним з похибкою $\pm 2\%$.

Оскільки система живиться від акумулятора, отже опорне максимальне значення напруги мікроконтролера визначається напругою акумулятора [30]. Живлення від акумулятора не завжди є стабільним, тому опорним значенням максимальної напруги мікроконтролера є значення напруги від внутрішнього стабілізатора *Arduino UNO*, яке дорівнює $1,1\text{ В}$. Це вказує на те, що вимірюване значення напруги акумулятора не повинно перевищувати $1,1\text{ В}$, тому для цього використовується дільник напруги, створений за допомогою двох резисторів номіналом 10 кОм та 47 кОм .

Функція *int calculateBatteryCharge()* обчислює значення заряду акумулятора та повертає дане значення у відсотках від максимального рівня заряду. Обчислення значення напруги на акумуляторі відбувається за допомогою підключення виходу 5 В акумулятора до порту *A0* мікроконтролера та використання функції *analogRead(A0)*, яка зчитує значення з порту *A0* мікроконтролера в десятковій системі числення та за допомогою функції *Serial.println()* виводить на екран результат обчисленої напруги. Оскільки, процесор мікроконтролера *Arduino* використовує 10-бітну систему числення, отже результатом визначення напруги на акумуляторі буде число від 0 до 1023, де число 0 свідчить про відсутність заряду в акумуляторі, а число 1023 свідчить про досягнення максимального значення заряду акумулятора [31]. Знаючи максимальний рівень напруги акумулятора та значення напруги, що надається мікроконтролером, можна визначити значення напруги акумулятора розділивши максимальний рівень напруги акумулятора на значення 1023 та помноживши результат на значення отримання з порту *A0*.

Значення заряду акумулятора у відсотках обчислюється за допомогою наступної формули:

$$U_{\text{вих}} = V_{\text{ref}} * U_{\text{вх}} / 1023 / (R_2 / (R_1 + R_2)), \quad (4.1)$$

$$V_{\text{ref}} = V(A0) * 1023 / U_{\text{вх}}, \quad (4.2)$$

де $U_{\text{вих}}$ – значення напруги акумулятора у відсотках;

V_{ref} – опорне значення напруги мікроконтролера;

$U_{\text{вх}}$ – поточне значення напруги акумулятора у десятковій системі числення;

1023 – максимальне значення напруги у десятковій системі числення;

R_1 – значення опору резистора з номіналом 10 кОм;

R_2 – значення опору резистора з номіналом 47 кОм;

$V(A0)$ – попередньо обчислене значення напруги мікроконтролера.

У результаті дане значення напруги виводиться на інформаційний дисплей системи.

4.5. Висновки до розділу

У даному розділі було детально описано принципи налаштування програмного середовища розробки системи, описано розроблені функції, їхнє призначення та реалізацію, а також наведено результати роботи системи.

Було детально описано процес налаштування середовища розробки *Arduino IDE* та створення програмної системи. Налаштування середовища полягає у створенні проекту з розширення *.ino*, під'єднання файлів проекту за допомогою директиви “*#include*” або за допомогою меню *Sketch – Include Library*, та налаштування консольного вікна середовища за допомогою програмних функцій або безпосередньо у вікні за допомогою функціональних кнопок.

Для програмної системи керування альтернативним джерелом енергії було розроблено наступні модулі:

- керування рухом сонячної панелі за допомогою математичних формул обчислення положення Сонця та координат системи;
- розпізнавання голосових команд користувача;
- обчислення рівня заряду акумулятора у відсотках та виведення його на дисплей.

РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

5.1. Переваги та недоліки способів визначення положення Сонця

Дослідження обчислення напрямного кута між Сонцем та сонячною панеллю здійснювалось на основі двох методів:

- використання фоторезисторів;
- за допомогою математичних формул [32].

Серед основних переваг використання фоторезисторів можна виділити наступні:

- зміна розташування (координат) системи не впливає на результат визначення положення Сонця;
- простота написання програмного забезпечення роботи системи із фоторезисторами [33].

Недоліками використання фоторезисторів є:

- додаткові витрати на виробництво системи;
- недорогі фоторезистори є неточними, що спричиняє неправильну роботу системи;
- реагування на інші джерела світлу;
- короткострокові терміни використання та швидкий вихід з ладу.

Основними перевагами використання математичного способу визначення положення Сонця є:

- відсутність додаткових витрат на комплектуючі компоненти системи;
- точність обчислення положення Сонця;
- відсутність впливу інших джерел світла, окрім Сонця, на обертання сонячної панелі;
- відсутність температурних обмежень у порівнянні із фоторезисторами [34].

Серед недоліків використання математичного способу визначення положення Сонця є:

- складність проектування програмної системи;
- неможливість правильного використання без введення необхідних для роботи даних;
- необхідність початкового корегування положення двигунів для уникнення похибок при обертанні.

5.2. Порівняння результатів обчислення положення Сонця

Проведення обчислення здійснювались у сонячний день для обох методів визначення положення Сонця з однаковими умовами [35]. Перевірка показників ефективності використання фоторезисторів та математичних формул визначається величиною напруги виробленої сонячною панеллю протягом однакового проміжку часу. Принципові схеми вимірювання значення напруги отримуваної від сонячної панелі представлені на рис. 5.1-5.2.

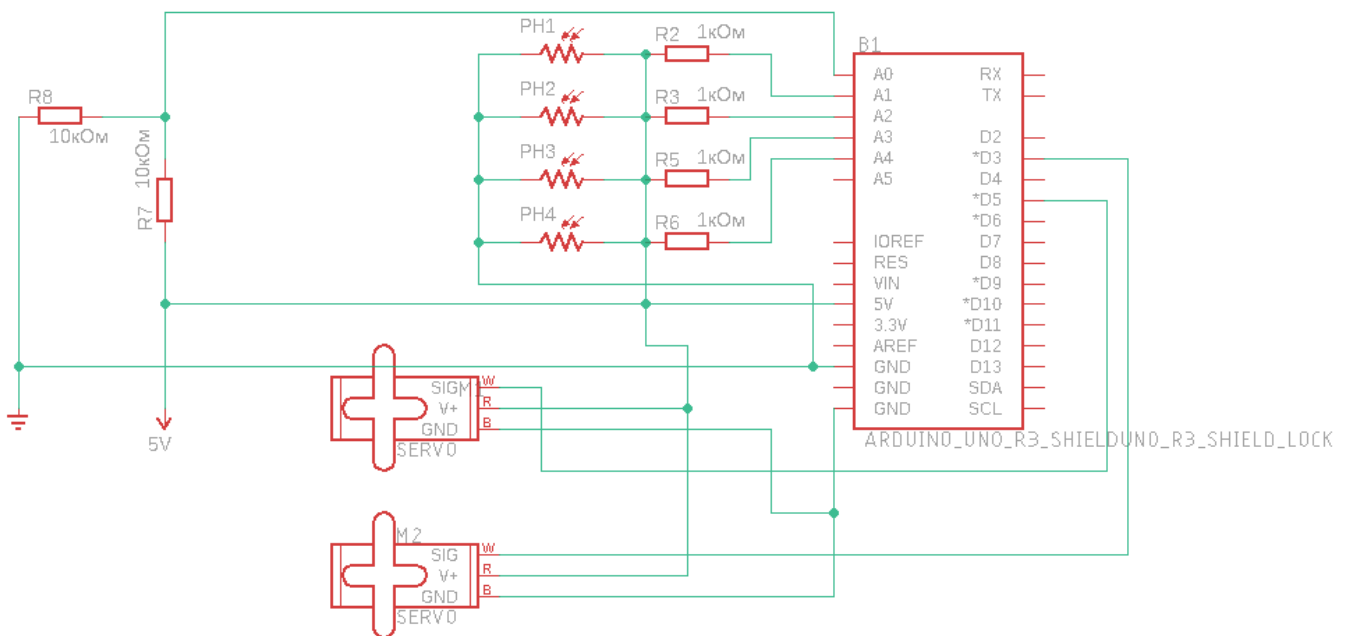


Рис. 5.1. Принципова схема вимірювання напруги сонячної панелі з використанням фоторезисторів

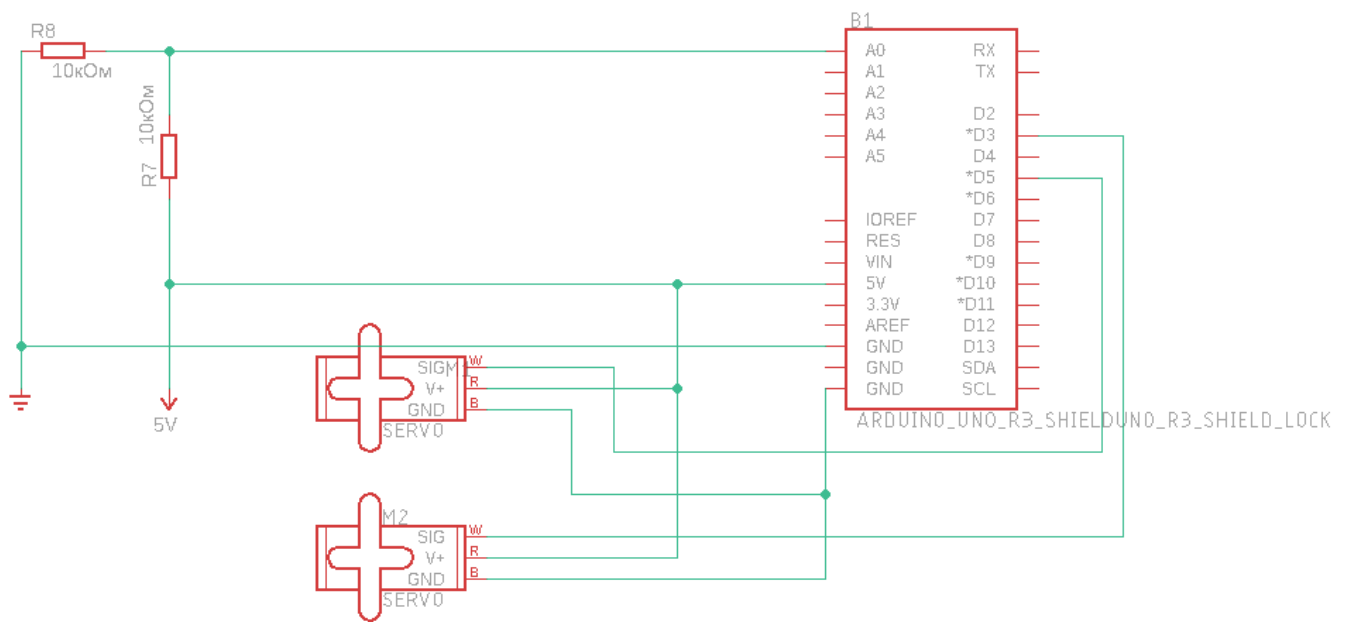


Рис. 5.2. Принципова схема вимірювання напруги сонячної панелі з використанням математичних формул обчислення положення Сонця

Значення напруги визначається за допомогою використання засобів зменшення напруги та програмної функції визначення рівня заряду акумулятора [36]. Позитивний вихід сонячної панелі (вихід 6 *B*) під'єднується до аналогового виходу *A0*, а негативний вихід сонячної панелі (заземлення, *GND*) під'єднується до виходу *GND* мікроконтролера.

Результати дослідження були представлені у вигляді двох графіків:

- без наявності зовнішніх світлових приладів (крива *A* – з використання математичних формул, крива *B* – з використанням фоторезисторів) (рис. 5.3);
- з наявністю зовнішніх світлових приладів (крива *A* – з використання математичних формул, крива *B* – з використанням фоторезисторів) (рис. 5.4).

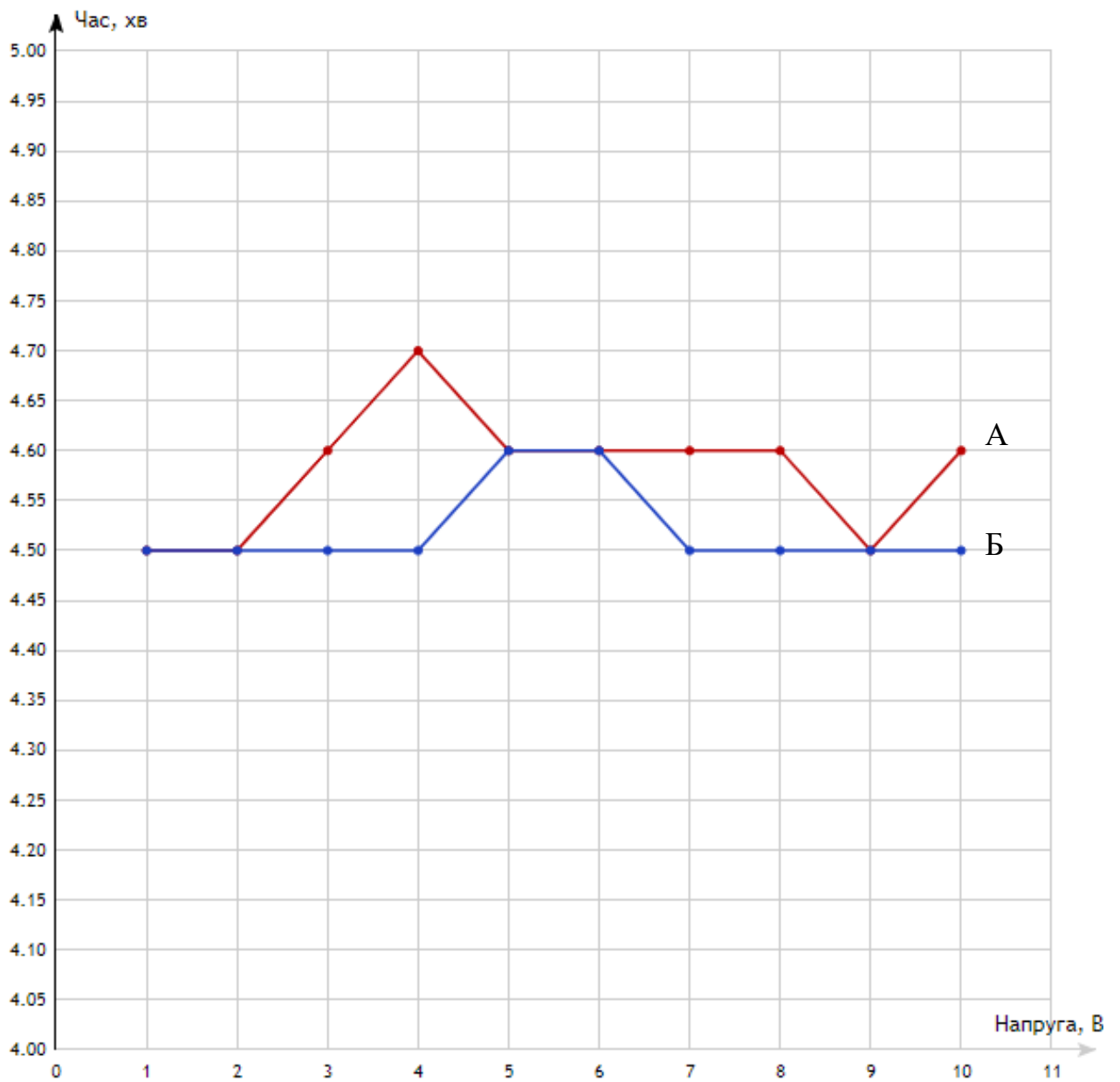


Рис. 5.3. Результати вимірювання напруги без впливу зовнішніх світлових приладів

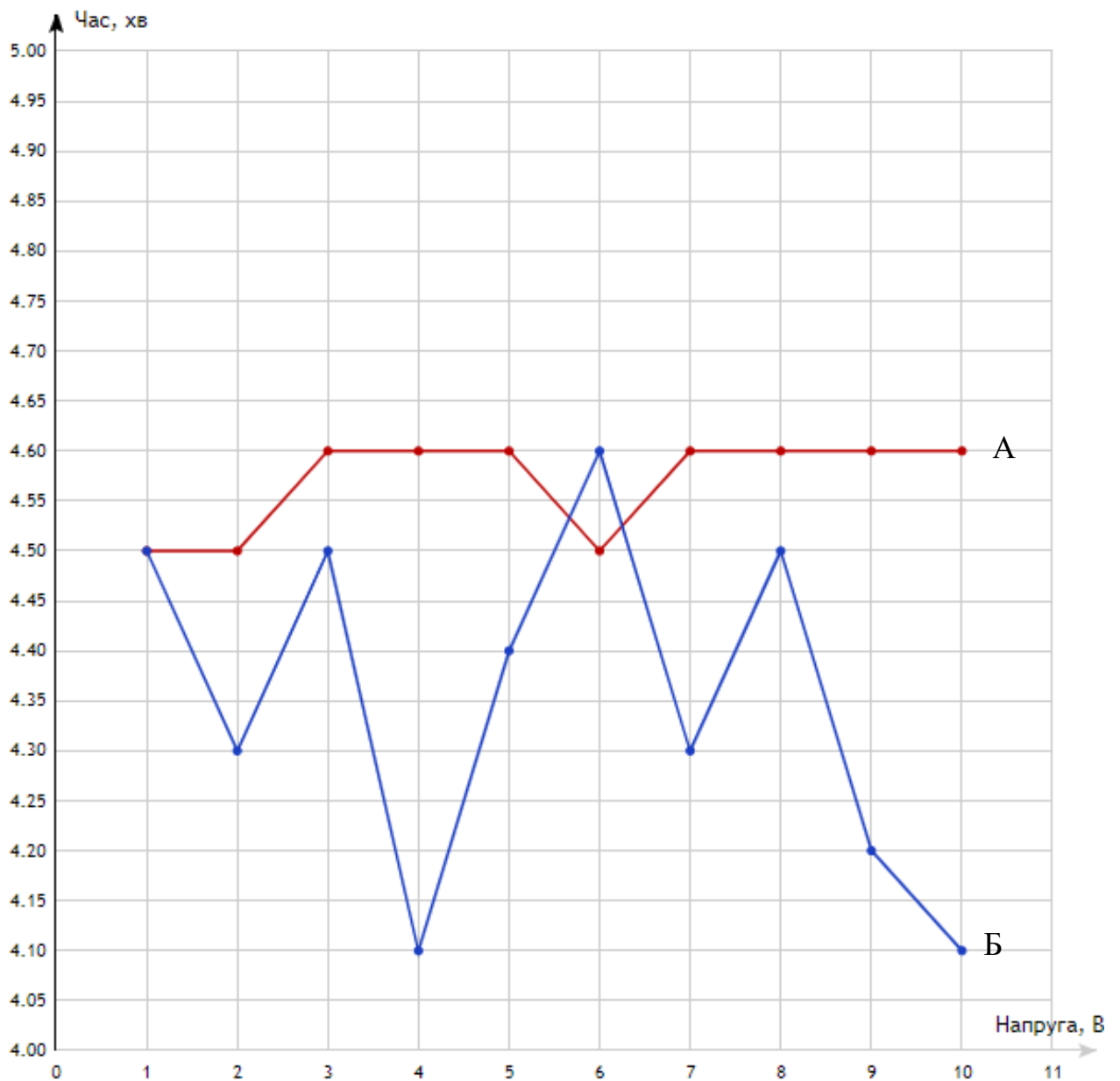


Рис. 5.4. Результати виміряної напруги з впливом зовнішніх світлових приладів

У результаті дослідження ефективності використання фоторезисторів та математичних формул визначення положення Сонця було визначено, що при відсутності зовнішніх світлових приладів математичне очікування напруги, виробленої сонячною панеллю з використанням математичних формул, дорівнює 4,58 В, а з використанням фоторезисторів – 4,52 В. У разі присутності зовнішніх світлових приладів, математичне очікування виробленої енергії з використанням математичних формул дорівнює 4,57 В, а з використанням фоторезисторів – 4,35 В.

5.3. Висновки до розділу

У даному розділі було описано основні переваги та недоліки способів визначення положення Сонця для обертання сонячної панелі в його напрямку, проведено аналіз ефективності використання описаних способів та підведено результати дослідження.

Серед основних переваг використання фоторезисторів можна виділити наступні:

- зміна положення системи не впливає на результат обертання сонячної панелі;
- простота написання програмного забезпечення роботи системи із фоторезисторами.

Основними перевагами використання математичного способу визначення положення Сонця є:

- відсутність додаткових витрат на комплектуючі компоненти системи;
- точність обчислення положення Сонця;
- відсутність впливу інших джерел світла, окрім Сонця, на обертання сонячної панелі;
- відсутність температурних обмежень у порівнянні із фоторезисторами.

У результаті дослідження ефективності використання фоторезисторів та математичних формул визначення положення Сонця було визначено, що при відсутності зовнішніх світлових приладів математичне очікування напруги, виробленої сонячною панеллю з використанням математичних формул, дорівнює 4,58 В, а з використанням фоторезисторів – 4,52 В. У разі присутності зовнішніх світлових приладів, математичне очікування виробленої енергії з використанням математичних формул дорівнює 4,57 В, а з використанням фоторезисторів – 4,35 В.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота створена з метою висвітлення проблеми використання традиційних методів видобутку електроенергії шляхом спалювання корисних копалин та представлення переваг та перспектив використання альтернативних джерел видобутку електроенергії. Під час розробки кваліфікаційної роботи було проведено опис існуючих способів видобутку альтернативної енергетики, принципи автоматизації видобутку електроенергії та висвітлено переваги використання програмних систем і апаратних модулів для збільшення об'єму виробленої енергії.

У результаті розробки кваліфікаційної роботи було розглянуто та описано методи створення програмних та апаратних систем, та створено програмну систему та апаратний модуль керування сонячною панеллю та іншими складовими системи.

Серед основних альтернативних джерел видобутку електроенергії є:

- сонячні панелі;
- гідроелектростанції;
- вітрові електростанції;
- біопаливо;
- геотермальні установки.

Найбільш розвинена галузь видобутку енергетики за допомогою альтернативних джерел спостерігається у країнах: Сполучені Штати Америки, Іспанія, Німеччина, Японія та Канада. Лідерами у розробці програмних та апаратних систем для автоматизації видобутку відновлюваної електроенергії є: “*NextEra Energy*” (капітал становить 167.7 млрд. доларів), “*Brookfield Renewable*” (капітал становить 6.7 млрд. доларів), “*Clearway Energy*” (капітал становить 4.4 млрд. доларів), “*First Solar*” (капітал становить 10.6 млрд. доларів), “*SolarEdge Technologies*” (капітал становить 19.9 млрд. доларів), “*Schneider Electronics*”.

Перехід на використання альтернативної енергетики у промислових масштабах здатне значущо позитивно вплинути на навколишнє середовище, при цьому забезпечує достатньою кількістю електроенергії сучасні потреби людства.

Автоматизація процесу видобутку електроенергії з відновлюваних джерел передбачає використання додаткових спеціальних конструкцій, які здатні пристосовуватись до змін в атмосфері, воді та погодних умов задля збільшення об'єму отримуваної енергії.

Системи автоматизації видобутку сонячної енергетики представляють собою конструкцію, що періодично змінює поворот фотоелектричних панелей або дзеркал відносно Сонця. Кут нахилу робочих поверхонь регулюється автоматично, без необхідності втручання в її роботу. Основною задачею сонячних трекерів є забезпечення максимально приближеного до перпендикуляру кута падіння променів Сонця на сонячні панелі.

До комплексу стандартного трекера для сонячних панелей входять наступні елементи:

- утримуюча конструкція;
- системи керування;
- система механічного позиціонування;
- навігаційна система;
- комплексна система безпеки.

Програмні системи здатні виконувати різнопланові задачі або бути націленими на виконання конкретних задач. Серед основних програмних засобів автоматизації видобутку альтернативної енергії можна виділити наступні групи:

- системи проектування сонячної електростанції;
- системи моніторингу роботи сонячних станцій та оповіщення користувача;
- системи керування рухом сонячних панелей.

У результаті використання апаратних та програмних систем можна збільшити кількість отримуваної енергії без необхідності безпосереднього впливу користувача у роботу системи.

Розглянуто апаратні модулі для побудови за допомогою яких відбувається видобуток електроенергії, серед яких:

- мікроконтролери для керування роботою усієї системи;
- сонячні панелі;

- голосові модулі розпізнавання голосових команд;
- *GPS*-модулі для визначення координат місцезнаходження системи;
- пристрої заряджання акумуляторів;
- сервоприводи для приведення сонячних панелей в рух;
- графічні дисплеї виведення інформації.

Головним компонентом системи є мікроконтролер, оскільки він здійснює керування усією системою, тому основними характеристиками вибору мікроконтролера є його тривалість роботи від акумуляторних пристроїв, швидкість передавання даних користувачу, залежність працездатності від погодних умов, простота та зручність написання та завантаження програмного коду. Опираючись на перераховані характеристики, було обрано мікроконтролер *Arduino UNO*.

Сонячна панель, що здійснює видобуток електроенергії та заряджає акумулятор, містить потужність 3 *Вт* та вихідну напругу 6 *В*. розпізнавання голосових команд здійснюється за допомогою модуля розпізнавання голосу *Voice Recognition Module V3.1*. Визначення координат поточного місцезнаходження системи здійснюється за допомогою використання *GPS*-модуля *NEO-6М*. Заряджання акумулятора відбувається за допомогою модуля зарядки *TP4056*.

Керування рухом сонячної панелі здійснюється за допомогою серводвигунів, положення яких та напрямок руху обчислюється математичними формулами, які включають в себе обчислення азимуту координати Сонця, схилення та часовий кут Сонця, середнього сонячного часу та азимутального кута Сонця.

Було розглянуто середовища розробки програмних систем керування альтернативним джерелом енергії, мови програмування, підтримувані даними середовищами та процес завантаження програмного коду у пам'ять мікроконтролера. Для створення програмної системи було обрано середовище програмування *Arduino IDE* та мову програмування *C/C++*.

Було детально описано процес налаштування середовища розробки *Arduino IDE* та створення програмної системи. Налаштування середовища полягає у створенні проекту з розширення *.ino*, під'єднання файлів проекту за допомогою директиви `"#include"` або за допомогою меню *Sketch – Include Library*, та

налаштування консольного вікна середовища за допомогою програмних функцій або безпосередньо у вікні за допомогою функціональних кнопок.

Розроблена програмна система містить наступні можливості:

- керування рухом сонячної панелі за допомогою математичних формул обчислення положення Сонця та координат системи;
- розпізнавання голосових команд користувача;
- обчислення рівня заряду акумулятора у відсотках та виведення його на дисплей.

Для зберігання поточного повороту двигуна, об'єкту класу *Servo*, який містить функції для роботи двигуна, напрямку повороту двигуна, функції початку та завершення повороту було створено клас *MovingServo*. Для зберігання значення положення сонця та напрямного вектору сонячної панелі було створено структуру *MyVector*. Дана структура має три змінні типу *float*, кожна з яких вказує на положення об'єкта в тривимірному просторі (координати *X*, *Y* та *Z*). Для зберігання отриманих координат положення системи було створено структуру *Coordinates*. Дана структура містить дві змінні типу *double*, перша з яких позначає широту, друга – довготу. Оскільки обчислене положення є тимчасовою змінною, необхідність зберігання координат системи у постійній пам'яті відсутня. Для порівняння розпізнаної голосової команди з масивом існуючих команд було розроблено функцію *void tryFunctionByIndex(int indexNum)*, яка розроблена таким чином, щоб зі збільшенням кількості голосових команд, її не потрібно було змінювати. Для обчислення рівня заряду акумулятора було розроблено функцію *int calculateBatteryCharge()*, яка за допомогою функцій середовища *Arduino IDE* зчитує значення напруги з порту *A0* мікроконтролера в десятковій системі числення та повертає обчислене значення у відсотках від максимального рівня заряду.

Існує велика кількість способів автоматизації системи обертання сонячної панелі в напрямку Сонця, найчастіше використовуваними серед яких можна виділити:

- модулі з використанням фоторезисторів;
- модулі з використанням математичних методів обчислення положення Сонця.

Серед основних переваг використання фоторезисторів можна виділити наступні:

- зміна положення системи не впливає на результат обертання сонячної панелі;
- простота написання програмного забезпечення роботи системи із фоторезисторами.

Основними перевагами використання математичного способу визначення положення Сонця є:

- відсутність додаткових витрат на комплектуючі компоненти системи;
- точність обчислення положення Сонця;
- відсутність впливу інших джерел світла, окрім Сонця, на обертання сонячної панелі;
- відсутність температурних обмежень у порівнянні із фоторезисторами.

У результаті дослідження ефективності використання фоторезисторів та математичних формул визначення положення Сонця було визначено, що при відсутності зовнішніх світлових приладів математичне очікування напруги, виробленої сонячною панеллю з використанням математичних формул, дорівнює 4,58 В, а з використанням фоторезисторів – 4,52 В. У разі присутності зовнішніх світлових приладів, математичне очікування виробленої енергії з використанням математичних формул дорівнює 4,57 В, а з використанням фоторезисторів – 4,35 В.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nancy Dickmann *Energy from Water: Hydroelectric, Tidal, and Wave Power (Next Generation Energy)*. – NY.: Crabtree Pub Co, 2016, 32 p.
2. Paul Gipe *Wind Energy for the Rest of Us: A Comprehensive Guide to Wind Power and How to Use It*. – NY.: Com edition, 2016, 576 p.
3. Dan Chiras *Power from the Wind - 2nd Edition: A Practical Guide to Small Scale Energy Production*. – Gerard, MO.: New Society Publishers, 2017, 288 p.
4. Принцип работы и область применения плоского ветрогенератора [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tcip.ru/blog/wind/printsip-raboty-i-oblast-primeneniya-ploskogo-vetrogeneratora.html>
5. Dr. Nidhi Adlakha *Biomass for Bioenergy and Biomaterials (Emerging Materials and Technologies) 1st Edition*. – NY.: CRC Press, 2021, 380 p.
6. Ibrahim Dincer, Murat Ozturk, *Geothermal Energy Systems 1st Edition*. – Washington DC.: Elsevier, 2021, 526 p.
7. Ingrid Stober, Kurt Bucher *Geothermal Energy: From Theoretical Models to Exploration and Development 2nd ed. 2021 Edition*. – Freiburg.: Springer, 2021, 400 p.
8. Arno Smets, Klaus Jäger, Olindo Isabella, René van Swaaij, Miro Zeman *Solar Energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. – NY.: UIT Cambridge, 2016, 839 p.
9. Mr. Michael Boxwel *The Solar Electricity Handbook – 2021 Edition: A simple, practical guide to solar energy – designing and installing solar photovoltaic systems*. – NY.: Greenstream Publishing, 2021, 240 p.
10. Larry Loge *DIY Solar Power for Beginners: A Technical Guide to Making the Most of Solar Energy. Easily Design, Install and Maintain Your Own Solar Power System*. – Washington DC.: Independently published, 2021, 105 p.
11. Dan Chiras *Solar Electricity Basics - Revised and Updated 2nd Edition: Powering Your Home or Office with Solar Energy*. – NY.: New Society Publishers, 2019, 224 p.

12. *SG90 9 g Micro Servo* [Текст]: нормативно-технічний матеріал. – *Shenzhen: Tower Pro, 2010. – 2 с.*
13. Кронштейн для крепления сервопривода *SG90* [Текст]: нормативно-технічний матеріал – <https://arduino.ua/ru/prod2527-kronshtein-dlya-krepleniya-servoprivoda-sg90>
14. *LCD QC1602A datasheet* [Текст]: нормативно-технічний матеріал. – <https://www.mpja.com/download/qc1602a.pdf> - 4 с.
15. *Titan Tracker: Солнечные трекеры* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.wipo.int/ip-outreach/ru/ipday/2020/case-studies/titan_tracker.html
16. *Types of Solar Trackers and their Advantages & Disadvantages* – Электрон. журн. – Режим доступа: <https://www.solarfeeds.com/mag/solar-trackers-types-and-its-advantages-and-disadvantages/>
17. *Jeremy Blum Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry 2nd Edition.* – Texas.: Wiley, 2019, 512 p.
18. *TP4056 lithium battery charging board over-current protection 18650 micro USB* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.compel.ru/item-pdf/7a1154cd622aa6424b9f85b0cab81172/pn/lctech~tp4056-lithium-battery-charging-over-current-protection-18650-micro-usb.pdf>
19. *George Bailey Off-Grid Solar Power: Tips and Tricks to Efficiently Plan, Build and Install Off-Grid Solar Power Systems Indoors and Outdoors to Achieve Home Energy Independence (Off Grid Solar Power).* – NY.: Independently published, 2021, 100 p.
20. *Peter Gevorkian Solar Power Generation Problems, Solutions, and Monitoring 1st Edition.* – California.: Cambridge University Press; 2016, 516 p.
21. *SolarStratos Solar-powered Plane* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.aerospace-technology.com/projects/solarstratos-solar-powered-plane/>

22. Програмне забезпечення для моделювання від *Valentin Software* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://setech.in.ua/programne-zabezpetchennya-pv-sol/>
23. *HelioScope The new standard in solar design software* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-pro-photovoltaic-calculator/helioscope>
24. *Ashok L. Kumar, S. Albert Alexander, Madhuvanthani Rajendran Power Electronic Converters for Solar Photovoltaic Systems 1st Edition. – Boston.: Academic Press, 2020, 387 p.*
25. Як обчислити відхилення Сонця [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.lamscience.com/how-calculate-suns-declination>
26. Максимальний кут падіння сонячних променів. Сонячна радіація [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kerchtt.ru/uk/maksimalnyi-ugol-padeniya-solnechnyh-luchei-solnechnaya-radiaciya/>
27. Найкращий кут сонячного світла сонячних панелей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.benweilight.com/info/the-best-sunlight-angle-of-solar-panels-benw-62842558.html>
28. Наталья Александрова, Алёна Салахова, Ольга Феоктистова, М. Храмова. *Arduino. Полный учебный курс. От игры к инженерному проекту. –М.: “Лаборатория знаний”, 2020. – 172 с.*
29. Джереми Блум. Характеристики Изучаем *Arduino*. Инструменты и методы технического волшебства. –Спб.: “БХВ-Петербург”, 2021. – 544 с.
30. *Processing – язык программирования в Arduino* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://voltiq.ru/wiki/processing/>
31. *Color Control GX (CCGX) и Venus GX* обеспечивает интуитивное управление и мониторинг для всех систем *Victron* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://victronenergy.store/victronenergy/sistemnie-kontrolleri/>
32. *P. Sivaraman, C. Sharmeela, P. Sanjeevikumar, Jens Bo Holm-Nielsen Microgrid Technologies 1st Edition. – Washington DC.: Academic Press, 2020, 532 p.*

33. *Manel Hammami Level Doubling Network and Ripple Correlation Control MPPT Algorithm for Grid-Connected Photovoltaic Systems (Springer Theses) 1st edition.* – NY.: Springer, 2019, 183 p.
34. *Simon Monk Programming Arduino Next Steps: Going Further with Sketches, Second Edition 2nd Edition.* – NY.: McGraw Hill TAB, 2018, 320 p.
35. *Emily Gertz, Patrick Di Justo Environmental Monitoring with Arduino: Building Simple Devices to Collect Data About the World Around Us 1st Edition.* – Wiley.: Make Community, 2012, 98 p.
36. ДСТУ 3008:2015 “Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення”.
37. Слободян О. Положення про дипломні роботи (проекти) випускників Національного авіаційного університету. – К.: Видавництво НАУ, 2017. – 63с.