

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)  
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(повна назва)

## АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

(тема)

Розробка модулю автоматизованого контролю роботи фоклінного сонячного модулю та дослідження його фотоелектричних параметрів

Виконав: студент 2 курсу, гр. ІТМРТм-19-1  
Козирь М.О.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність  
172 - Телекомунікації та радіотехніка  
освітньої програми Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки  
(код і повна назва напряму)

Тип програми освітньо-професійна  
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Невлюдов І.Ш.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.  
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніка
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_

Козирь Максим Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка модулю автоматизованого контролю роботи фоклінного сонячного модулю та дослідження його фотоелектричних параметрів*

затверджена наказом по університету від \_\_\_\_\_ 02.11. 2020 р. № \_\_\_\_\_ Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 02. 12 . 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи *3.1 Фоклінний сонячний модуль*

*3.2 напрацювання на відмову 10000 год*

*3.3 Потужність, що споживається до 20 Вт*

*3.4 Сила струму до 20 А, напруга до 380 В.*

*3.5 Мова програмування – C++/Сі;*

*3.6 Програмне забезпечення*

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

*4.1. Аналіз предметної області*

*4.2. Вибір схеми електронної принципової*

*4.3. Опис функцій програмного засобу*

*4.4. Прошивка для контролера Ардуіно*

*4.5. Нарахунок на відмову*

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – 20 с. формату А4

---

2020 КІТАМ ІТМРТМ-19-1 Козирь Максим Олександрович.ppt

---

---

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз технічного завдання та предметної області</i>	15.10.2020	<i>Виконав</i>
2	<i>Аналіз пристроїв аналогічного призначення</i>	17.10.2020	<i>Виконав</i>
3	<i>Аналіз методів оптимізації роботи сонячного модулю</i>	18.10.2020	<i>Виконав</i>
4	<i>Опис необхідних функцій пристроя</i>	19.10.2020	<i>Виконав</i>
5	<i>Вибір середовища програмування</i>	20.10.2020	<i>Виконав</i>
6	<i>Розробка алгоритму програми</i>	22.10.2020	<i>Виконав</i>
7	<i>Розробка програмного забезпечення</i>	13.11.2020	<i>Виконав</i>
8	<i>Охорона праці</i>	15.11.2020	<i>Виконав</i>
9	<i>Висновки</i>	20.11.2020	<i>Виконав</i>
10	<i>Подання роботи до ДЕК</i>	02.12.2020	<i>Виконав</i>

Дата видачі завдання

02.11.2020

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Козирь М.О.

( прізвище, ініціали)

проф. Невлюдов І.Ш.

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 82 с., 38 рис., 5 табл., 3 додатки, 25 джерел за переліком посилань.

СОНЯЧНИЙ МОДУЛЬ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, НАДІЙНІСТЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ, ІНТЕРФЕЙС.

Об'єктом дослідження є процес керування роботою та зняття параметрів сонячного модулю.

Предметом дослідження є пристрій автоматизації роботи та зняття фотоелектричних параметрів фокліного сонячного модулю.

Мета роботи – розробка програмного модулю автоматизації оптимізації та зняття фотоелектричних параметрів кремнієвого фокліного сонячного модулю. При цьому даний пристрій слід реалізувати на основі контролера Arduino.

Розроблено програмний модуль автоматизації роботи та зняття фотоелектричних параметрів. Створено інтерфейс і розроблено ПЗ, який підключений до модулю та ПК. Розроблений ПЗ дозволяє контролювати основні параметри сонячного модулю.

Основні положення й результати роботи опубліковано у статті “Автоматизація вимірювань фотоелектричних параметрів концентраторних сонячних модулів” у збірнику студентських наукових статей «Автоматизація та приладобудування» ADED-2020(2).

## ABSTRACT

Explanatory note 82 p., 38 fig., 5 tables., 3 applications , 25 sources for the list of links.

SOLAR MODULE, AUTOMATION, RELIABILITY, OPTIMIZATION, ALGORITHM PRODUCTIVITY, SOFTWARE, INTERFACE.

The object of research is the process of control of work and removal of parameters of the solar module.

The subject of research is a device for automating work and removing photovoltaic parameters of follicular solar module.

The purpose of the work is to develop a program module for automation of the optimization and removal of photovoltaic parameters of a silicon follicular solar module. In this case, this device should be implemented on the basis of Arduino controller.

The program module for automation of work and photovoltaic parameters removal has been developed. An interface has been created and software that is connected to the module and the PC has been developed. The developed software allows you to control the basic parameters of the solar module.

Basic ideas and results of the research were published in the article "Automation of measurements of photoelectric parameters of focal solar modules" in the collection of student scientific articles «Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020 (2).

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів .....	8
Вступ.....	9
1 Сучасний стан контролю роботи сонячних енергетичних систем.....	11
1.1 Аналіз технічного завдання.....	11
1.2 Аналіз існуючих альтернативних рішень моніторингу сонячних енергетичних систем.....	11
1.3 Аналіз можливих методів оптимізації роботи фотоперетворювачів.....	17
1.4 Кремнієві фоклінові фотоелектричні модулі .....	23
1.5 Постановка завдань дослідження .....	25
2 Розробка схеми підключення модулю .....	27
2.1. Функціонал пристрою.....	27
2.2 Вибір типу контролера для вирішення поставленого завдання .....	27
2.3 Апаратна реалізація модуля .....	30
2.4 Розрахунок надійності .....	41
2.5 Розрахунок собівартості модулю.....	43
2.6 Дослідження фотоелектричних параметрів модулю .....	45
2.7 Висновки розділу 2 .....	55
3 Розробка прошивки модулю .....	56
3.1 Вибір середовища програмування та розробка алгоритму роботи програми.....	56
3.2 Написання прошивки кліматичного пристрою .....	58
3.3 Написання програми пристрою автоматизації.....	61
3.4 Висновки розділу 3 .....	67
4 Програмне забезпечення для комп'ютера .....	68
4.1 Структура програмного забезпечення .....	68
4.2 Вибір середовища програмування.....	70
4.3 Загальний опис програми «SolarControll 2020» .....	72
4.4 Висновки розділу 4 .....	77

	7
5 Охорона праці.....	78
5.1 Промислова безпека в лабораторії.....	78
5.2 Виробнича санітарія в лабораторії.....	79
5.3 Висновки розділу 5.....	80
Висновки.....	81
Перелік джерел посилань.....	83
Додаток А Код програми прошивки.....	86
Додаток Б Алгоритм роботи програмного забезпечення для комп'ютера.....	92

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ**

- АС – автоматизовані системи.
- ВАХ – вольт-амперна характеристика.
- ЕДС – електродіюча сила.
- ККД – коефіцієнт корисної дії.
- ОЗУ – оперативна пам'ять.
- ОС – операційна система.
- ПЗ – програмне забезпечення.
- ПК – персональний комп'ютер.
- СЕС – сонячні енергетичні системи.
- ТМП – точка максимальної потужності.
- ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю.
- ФМ – фотоелектричні модулі.
- ФОП – фонд оплати праці.
- ФСЕ – фокліний сонячний елемент.
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.
- ШИМ – широко імпульсна модуляція.
- FF – fill factor або коефіцієнт заповнення ВАХ.
- EEPROM – постійний запам'ятовуючий пристрій.
- IDE – інтуїтивне середовище програмування.
- MFC – Microsoft Foundation Classes.
- MPPT – maximum power point tracking.
- SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition / диспетчерське управління і збір даних.
- SPOT – String Power Optimizer and Transmitter.
- STC – Standart Test Conditions.

## ВСТУП

В умовах зменшення світових запасів природного палива (невідновлюваних ресурсів), велика увага приділяється використанню відновлюваних джерел, а саме сонячної, вітряної та водяної енергії шляхом прямого перетворення в електричну енергію.

Для цієї мети використання сонячної енергії застосовуються фотоелектричні модулі (ФМ) на основі кремнію. В даний час сонячні електростанції будуються не тільки в країнах з високою сонячною активністю, але практично у всіх регіонах світу з різноманітними кліматичними умовами. У зв'язку з тим, що вартість традиційних джерел енергії стрімко зростає, в даний час в регіонах без стаціонарної мережі електроживлення замість дизельних чи твердопаливних електрогенераторів все частіше застосовують сонячні енергетичні системи (СЕС). Це не тільки дозволяє знизити екологічне навантаження на екосистему, а й економічно вигідніше[1].

На практиці дуже часто умови експлуатації не відповідають стандартним умовам через місцеві географічні та кліматичні особливості і тому важливо знати реальні характеристики, такі як відносна освітленість ФМ. Іноді з часом окремі модулі можуть змінювати параметри, шляхом деградації кремнієвого покриття, тому прилад, що дозволяє контролювати вихідні характеристики та параметри ФМ в реальному часі є незамінним у польових умовах[2].

Генерація енергії ФМ розраховується як середнє зважене значення. Взяти наприклад південні регіони України можуть давати генерацію на 6-8% більше, а північні – на 8-10% менше ніж якщо сонячна електростанція розташована в центральному регіоні України в зв'язку зі коефіцієнтом глобальної освітленості місцевості.

В даний час спостерігається високий інтерес до вирішення завдання автоматизації усіх рівнів та галузей промислового виробництва та контролю різноманітних електричних пристроїв чи систем, тому створення систем автоматичного контролю та оптимізація ефективності роботи ФМ є актуальною

науковою метою.

Об'єктом дослідження є процес керування роботою та зняття параметрів сонячного модулю.

Предметом дослідження є пристрій автоматизації роботи та зняття фотоелектричних параметрів фокліного сонячного модулю.

До використаних наукових методів належать: збір інформації, аналіз, вимірювання та наукове моделювання [3-4].

Мета атестаційної роботи – є розробка програмного модулю автоматизації керування, оптимізації та зняття фотоелектричних показань з фоклінного сонячного модулю. При цьому даний пристрій слід реалізувати на основі контролера Ардуіно.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати особливості існуючих систем контролю СЕС;
- проаналізувати особливості можливих методів реалізації оптимізації роботи ФМ;
- проаналізувати характеристики контролерів та модулів Ардуіно;
- вибрати тип контролера та модулі для реалізації функцій системи автоматизації;
- створити апаратну реалізацію модулю автоматизованого контролю;
- провести розрахунок надійності модулю автоматизованого контролю;
- провести розрахунок собівартості модулю автоматизованого контролю;
- провести дослідження фотоелектричних параметрів модулю;
- розробити алгоритм і прошивку для виконання функцій пристрою контролером Arduino;
- розробити алгоритм і програмне забезпечення для виконання роботи модулю для ПК;
- оформити пояснювальну записку згідно до методичних вказівок та ДСТУ 3008-2015.

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН КОНТРОЛЮ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

## 1.1 Аналіз технічного завдання

Згідно вимог технічного завдання (ТЗ) у ході атестаційної роботи необхідно розробити автоматизацію роботи та вимірювань фотоелектричних параметрів кремнієвого фокліного сонячного модуля.

Система повинна виконувати наступні функції та мати такі властивості:

- збільшення ефективності роботи ФМ;
- ВАХ діагностика фото структур;
- автоматизація вимірювання основних параметрів;
- комп'ютерна обробка та збереження параметрів;
- забезпечення візуалізації отриманих параметрів та їх подальша обробка.

Отже, для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів та систем моніторингу СЕС, виявити їх недоліки;
- провести аналіз можливих методів оптимізації роботи ФМ;
- провести аналіз методу вимірювань фотоелектричних параметрів;
- розробити прошивку для контролеру(ів) Ардуіно;
- розробити програму для візуального визначення вимірювань та моніторингу роботи СЕС.

## 1.2 Аналіз існуючих альтернативних рішень моніторингу сонячних енергетичних систем

Розглянемо систему Ікnet.

Для контролю роботи СЕС необхідно використовується система моніторингу. Данна система дозволяє відслідковувати працездатність СЕС як безпосередньо на території домогосподарства, так і в окремих випадках

віддалено (з будь-якої точки світу за допомогою наявності мережі Інтернет).

Параметри для моніторингу, що відслідковують системою, такі:

- активна і реактивна потужність;
- напруга і струм;
- частота і повна потужність;
- стан перемикачів і з'єднань;
- аварійні стани обладнання сонячної станції.

Данна система моніторингу відображує графічно за допомогою програми візуалізації технологічних процесів SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition / диспетчерське управління і збір даних) системи Simatic WinCC (Windows Control Center / центр управління Windows), що працює на платформі ОС Windows.

Тобто в режимі реального часу можливо відстежувати, яка кількість електроенергії вироблено СЕС, скільки спожито для електропостачання приватного домогосподарства і який обсяг електроенергії видається в зовнішню електричну мережу. Проаналізувавши графік, який може бути виведений на екран мобільного телефону (рис. 1.1), можливо контролювати режим роботи СЕС. Безумовно, застосування системи моніторингу доцільніше для установки на промислових СЕС, але ніхто не може заборонити встановлювати її і для приватної СЕС.



Рисунок 1.1 – Графік роботи СЕС у мобільному додатку Іknet

Перевагами системи моніторингу СЕС Іknet є:

- відслідковування типових фотоелектричних параметрів;

- моніторинг стану перемикачів та з'єднань;
- повідомлення про аварійний стан роботи СЕС;
- доступний та інформативний інтерфейс;

Недоліки системи:

- система розроблена для моніторингу СЕС за допомогою телефону на основі ОС Windows;
- для коректної роботи необхідно постійне підключення до мережі Інтернет;
- відсутність можливостей оптимізації роботи СЕС;
- орієнтовна вартість системи моніторингу становить близько 30000 гривень.

Розглянемо контролер SK2000.

Постійна напруга, що вироблена сонячними панелями, проходить через елементи керування в контролері й підтримується стабільно в межах робочого діапазону сонячних панелей. Регулювання відбувається шляхом зміни потужності (струму) на клеммах при стабільному значенні напруги сонячних панелей. Це гарантує максимальний відбір потужності, обмежений тільки вхідною потужністю від сонячних панелей. Даний метод регулювання зумовлений нелінійною вольт-амперною характеристикою сонячних панелей.

Технічні характеристики контролера SK2000 (рис. 1.2):

- максимальна потужність підключених сонячних панелей 2000 Вт;
- максимальна напруга від сонячних панелей 250 В;
- робоча напруга від сонячних панелей 180-210 В;
- максимальна сила струму на вході від сонячних панелей 12 А;
- обмеження струму 9,3 А;
- діапазон робочих температур  $\pm 45^{\circ}\text{C}$ ;
- вага 2кг;
- розміри 190x240x105 мм;
- гарантія 3 роки.



Рисунок 1.2 – Контролер SK2000

Перевагами контролеру SK2000 є:

- повна автономність роботи;
- простота роботи контролера (автоматичний захист, просте меню);
- мінімальне технічне обслуговування;
- простота монтажу, можливий настінний монтаж;
- приблизна ціна системи 15000 грн;
- зрозумілий моніторинг параметрів.

Недоліки системи:

- моніторинг мінімальної кількості параметрів (потужність, сила струму, напруга);
- повна відсутність можливості віддаленого контролю;
- повна відсутність можливостей оптимізації роботи СЕС;
- відсутність моніторингу стану компонентів СЕС;
- низька максимальна потужність СЕС.

Розглянемо систему Infocom Ltd Automation.

Надійне рішення диспетчеризації сонячних станцій. Управління здійснюється диспетчером через операторську станцію. Стан обладнання, аварії і повідомлення відображаються на графічному дисплеї за допомогою SCADA-системи для візуалізації процесів (рис. 1.3).

Система дає можливість регулювати потужність вироблення сонячної

станції на вимогу диспетчера енергосистеми.

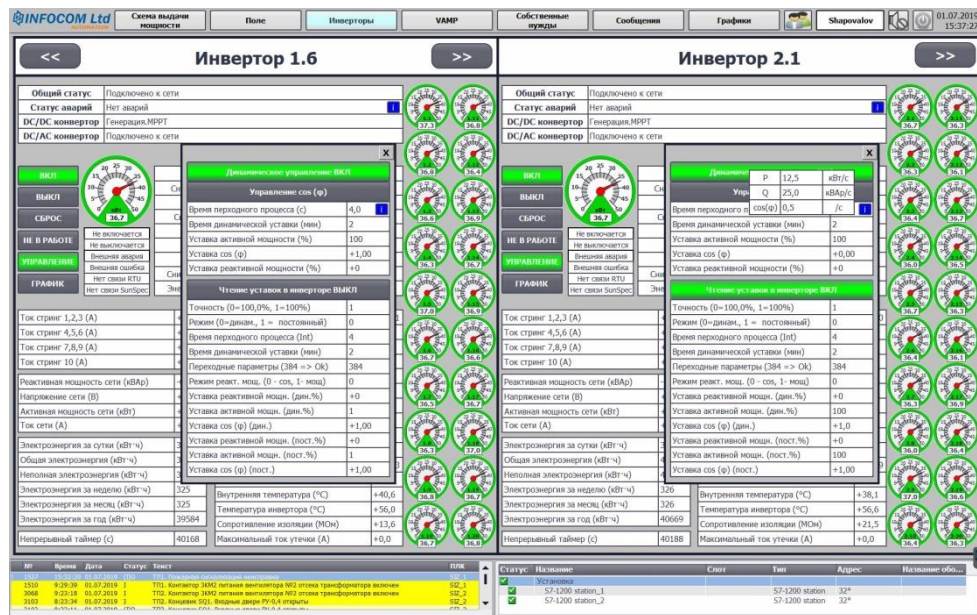


Рисунок 1.3 – Інтерфейс комп’ютерної програми системи Infocom Ltd Automation

Перевагами системи Infocom Ltd Automation є:

- моніторинг максимальної кількості параметрів роботи СЕС;
- огляд технічних параметрів обладнання;
- незалежність роботи від мережі Internet;
- швидка реакція на запит енергосистем;
- незалежність від інверторного ПЗ;
- створення звітів та графіків роботи СЕС;
- можливість контролю сонячної електростанції довільного обсягу.

Недоліками системи є:

- складний інтерфейс програми що потребує постійного нагляду кваліфікованого спеціалісту (рис. 1.3);
- дуже висока ціна обладнання;
- повна відсутність можливості віддаленого контролю;
- відсутність можливості встановлення системи на вже існуючу сонячну електростанцію;

Розглянемо пристрій Solis EPM-5G-Plus.

Solis EPM-5G-Plus (рис. 1.4) має широкий апаратний функціонал. Особливо доцільно використовувати дану модель для промислових чи комерційних сонячних електростанцій.

Пристрій також має функціонал повноцінного даталогінгу. Така менеджмент система поєднує в собі як і функцію моніторингу, так і можливості розумного лічильника. Solis EPM-5G-Plus контролює рівень активної та реактивної потужностей, власник станції з допомогою такого менеджера енергії може контролювати рівень генерації станції в мережу.



Рисунок 1.4 – Solis EPM-5G-Plus

Загальні параметри Solis EPM-5G-Plus:

- максимальна кількість підключених пристроїв 80;
- тип підключення RS485;
- інтерфейси зв'язку Wi-Fi;
- індикатор LCD табло;
- вага 5.35 кг;
- габарити 488x446x149 мм;
- діапазон робочої температури -25 С...60 С;
- вологість 5 %...95 %.

Перевагами системи Solis є:

- високий діапазон робочих умов;
- можливість часткового дистанційного контролю;
- мінімальне технічне обслуговування;
- простота монтажу, можливий настінний монтаж;
- зрозумілий моніторинг параметрів;
- створення звітів роботи СЕС;
- можливість контролювати рівень генерації станції в мережу.

Недоліки:

- моніторинг мінімальної кількості параметрів (потужність, сила струму, напруга);
- повна відсутність можливостей оптимізації роботи СЕС;
- відсутність моніторингу стану компонентів СЕС;
- орієнтовна вартість системи моніторингу становить близько 20 тисяч гривень.

Підсумком аналізу альтернативних пристроїв і систем моніторингу та контролю роботи можна виявити, що в більшості випадків дані об'єкти мають високу вартість, контролюють лише незначну кількість фотоелектричних параметрів (або потребують кваліфікованого спеціаліста для диспетчеризації), відсутність моніторингу компонентів СЕС. В деяких об'єктах існує можливість створення та збереження звітів роботи СЕС, керування за віддаленим доступом. В усіх випадках ФМ розташовані та закріплені на нерухомій поверхні.

### 1.3 Аналіз можливих методів оптимізації роботи фотоперетворювачів

Спосіб, який використовується в багатьох СЕС для отримання максимальної потужності на виході сонячних модулів, називається відстеженням точки максимальної потужності (від англійського maximum power point tracking або технологія MPPT) [5].

Це алгоритм, за допомогою якого інвертор, підключений до однієї сонячної панелі або цілої низки (ряду), витягує максимальну кількість енергії з модулів для передачі в мережу. Для систем з центральним мережевим

інвертором застосовується тільки один MPPT контролер, в той час як стрінг-інвертори, призначені для роботи з декількома модулями в одному або декількох ланцюжках, використовують кілька MPPT [6].

За минуле десятиліття великі сонячні електростанції серйозно еволюціонували, від установок напругою в 600 вольтів до 1000 та навіть установки на 1500 вольт. Безумовно, напруга системи залежить від довжини ряду сонячних панелей, а по мірі розвитку технологій вона збільшується, що дозволяє знижувати вартість виробництва енергії.

Більшість 600-вольтних сонячних електростанцій, побудованих 5-10 років тому, використовують центральні інвертори. Як відомо, з часом панелі деградують, причому роблять це з різною швидкістю, тому у рядів ФМ спостерігаються різні відхилення характеристик виходу енергії. Чим більше ця невідповідність між стрінгами, тим менше енергії вдається отримати. Рівень відповідності можна виміряти, перевіривши працездатність фотоелектричних рядів за допомогою ВАХ (рис. 1.5). Метод являє собою графік залежності напруги (V) та струму (I) від кількості виробленої потужності. Найвища точка на кривій ВАХ, яка фіксує високий рівень виробництва енергії, є точкою максимальної потужності (MPP).

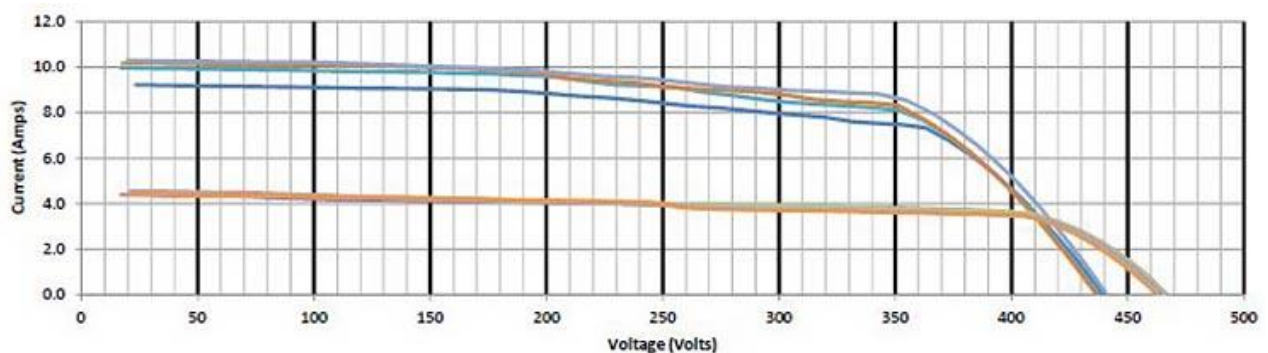


Рисунок 1.5 – Графік залежності напруги (V) та струму (I) від кількості виробленої потужності

У новій фотоелектричній установці криві ВАХ в кожному ланцюгу майже ідентичні. Згодом, через вихід з ладу та пошкодження модулів, затінення та забруднення, ці криві можуть значно розходитися. Але принцип ефективної

роботи системи з центральним мережевим інвертором заснований на тому, що всі криві ВАХ повинні бути однакові. У разі їх розбіжностей результативність значно знижується [7].

Для розв'язання цієї проблеми фахівці компанії Alencon Systems створили так звані DC-DC оптимізатори. Такі пристрої, як SPOT (String Power Optimizer and Transmitter) можуть бути встановлені в старих сонячних електростанціях, щоб скорегувати зменшення вироблення електроенергії. Alencon SPOT застосовує один метод MPPT для кожного фотоелектричного стрінгу, в результаті чого їх сумарний показник виходить значно більше, ніж якщо б MPPT був застосований до всієї системи цілком.

У Alencon також розробили математичну модель для оцінки того, наскільки можна підвищити ефективність різних фотоелектричних рядів, ґрунтуючись на аналізі кривих ВАХ. Подібне моделювання допоможе краще зрозуміти, яку фінансову віддачу може принести установка оптимізаторів.

Часто сонячні батареї або панелі встановлюються нерухомо, спрямованими в південному напрямку. Таке технічне рішення спрощує всю установку в цілому, але призводить до неповного використання сонячної енергії, так як в проміжок часу між весняним і осіннім рівноденнями існують тимчасові інтервали, коли Сонце вже знаходиться на небі, але ще не висвітлює сонячні батареї.

Для наочного пояснення такого явища розглянемо добову зміну положення Сонця в день, близький до літнього сонцестояння. визначимо моменти сходу і заходу Сонця, а також час, коли Сонце перетинає напрямку на схід і на захід, або ж моменти початку і закінчення освітлення сонячних панелей.

Розрахувати ці моменти часу можна використовуючи відомі формули, вже наведені в різних виданнях [5-9].

Більш просто можна визначити ці дані при використанні комп'ютерних програм планетаріїв, наприклад вільно розповсюдженої програмою Stellarium. Точність отриманих результатів при такому способі буде нижче, ніж при використанні розрахункового способу, але цілком достатній для наших

целей.

Альтернативно застосуємо статистику отриману з бази даних Українського гідрометеорологічного центру за 2019 рік (рис. 1.6) [10].

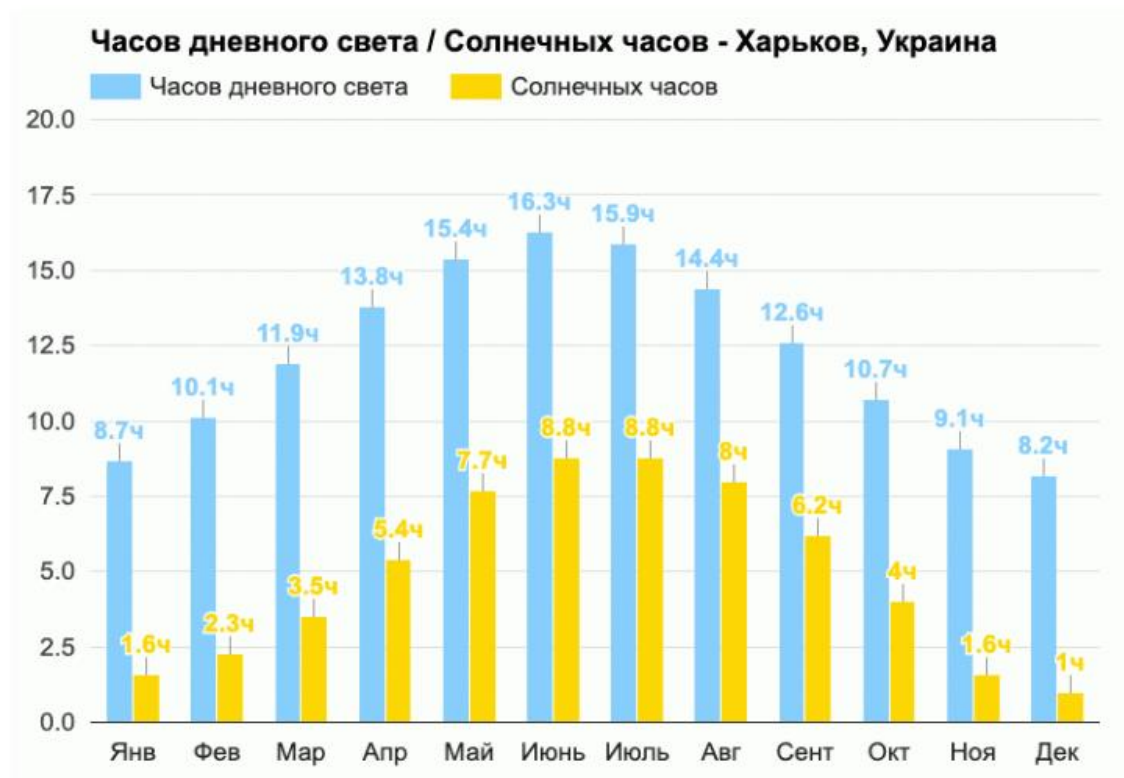


Рисунок 1.6 – Статистика світлового часу в м.Харків за 2019 рік

Середній світловий день в січні: 8.7 годин, число сонячних годин: 1.6.

Середній світловий день в лютому: 10.1 годин, число сонячних годин: 2.3.

Середній світловий день в березні: 11.9 годин, число сонячних годин: 3.5.

Середній світловий день в квітні: 13.8 годин, число сонячних годин: 5.4.

Середній світловий день в травні: 15.4 годин, число сонячних годин: 7.7.

Середній світловий день в червні: 16.3 годин, число сонячних годин: 8.8.

Середній світловий день в липні: 15.9 годин, число сонячних годин: 8.8.

Середній світловий день в серпні: 14.4 годин, число сонячних годин: 8.

Середній світловий день у вересні: 12.6 годин, число сонячних годин: 6.2.

Середній світловий день в жовтні: 10.7 годин, число сонячних годин: 4.

Середній світловий день в листопаді: 9.1 годин, число сонячних годин:

1.6.

Середній світловий день в грудні: 8.2 годин, число сонячних годин: 1.

Місяць з найдовшими днями – Червень (Середній світловий день: 16.3ч).

Місяць з найкоротшими днями – Грудень (Середній світловий день: 8.2ч).

Місяці з найбільшою кількістю сонячних годин – червень і липень (середнє число сонячних годин: 8.8). Місяць з найменшою кількістю сонячних годин – грудень (середнє число сонячних годин: 1).

Для збільшення використання світлової енергії в даний час пропонується застосовувати переміщення, або стеження, сонячних модулів за Сонцем [8].

Таке рішення краще використовувати для невеликих сонячних електростанцій, так як на електростанціях великої потужності застосовуються сонячні панелі великих розмірів, які доцільно встановлювати нерухомо, щоб уникнути значного ускладнення механічної частини.

Стеження може здійснюватися кількома способами, найпростіший з яких обертання сонячної панелі тільки навколо вертикальної осі, що забезпечує просту конструкцію приводу і механічної частини. При цьому сама панель може розташовуватися під різними кутами до площини горизонту [9].

За результатами дослідження 2017 року ефективність роботи сонячної панелі що обертається по горизонталі сильно відрізняється в залежності при якому куту встановлено ФМ (рис. 1.7-1.8). Штриховою лінією зображено відносна освітленість ФМ розташованого вертикально, а пряма лінія – ФМ розташованого під кутом 45 градусів. З графіків видно, що встановлення вертикально значно ефективніше взимку, а під кутом влітку.

Середня відносна освітленість ФМ розташованого вертикально в день літнього сонцестояння складає: 0,7747, а зимнього: 0,9811. Річна відносна освітленість складає приблизно 0,8392.

Середня відносна освітленість ФМ розташованого під кутом 45 градусів в день літнього сонцестояння складає: 0,927, а зимнього: 8,19. Річна відносна освітленість складає приблизно 0,8933.

Рівень відносної освітленості також для різних нахилів встановлення ФМ буде дуже значно змінюватися в залежності від географічного розташування СЕС. Чим ближче до лінії екватору тим більш ефективним буде горизонтальне

розташування сонячної панелі, а чим далі – вертикальне.

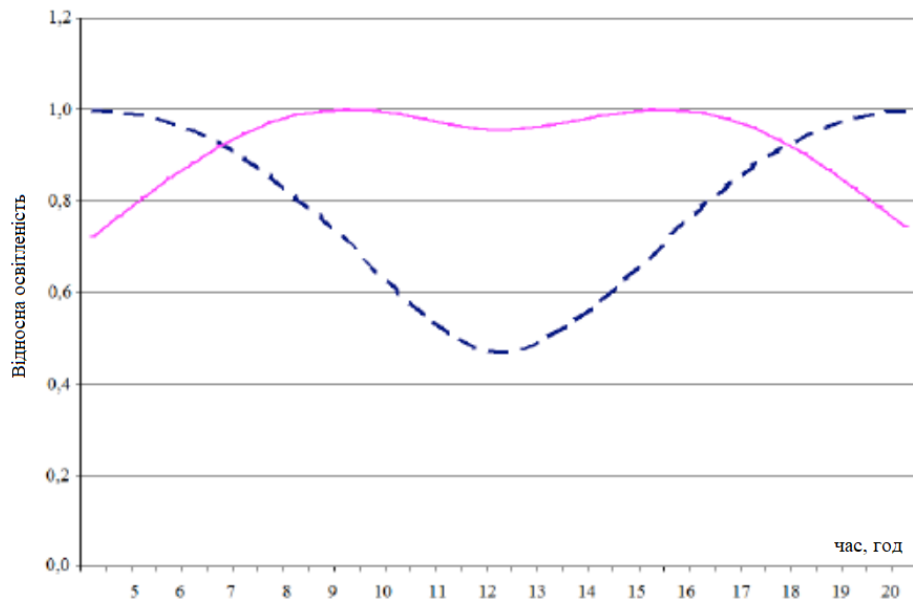


Рисунок 1.7 – Графік освітленості ФМ в день літнього сонцестояння

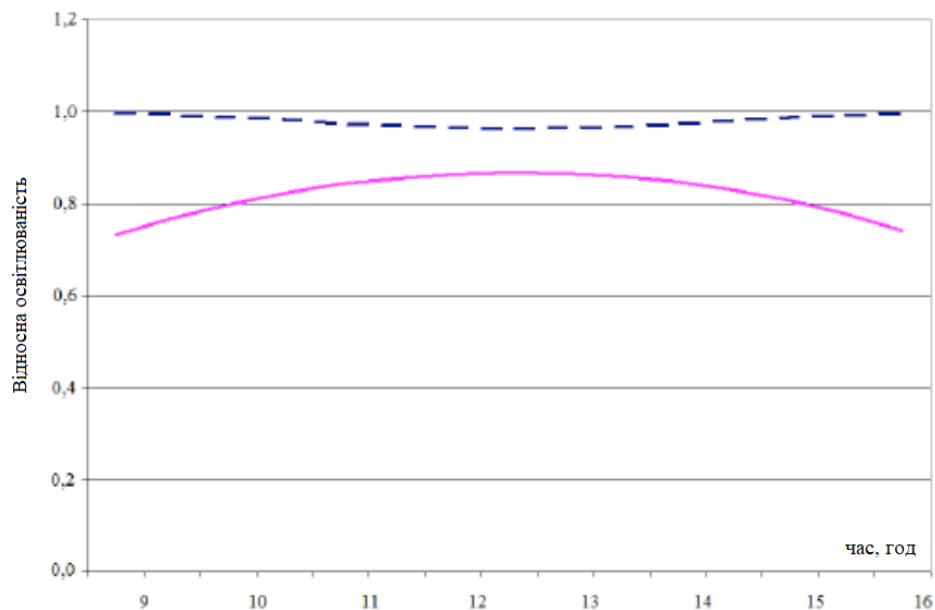


Рисунок 1.8 – Графік освітлюваності ФМ в день зимнього сонцестояння

Найоптимальнішим рішенням є створення системи в якій ФМ буде не тільки горизонтально звертатися, а також і вертикально підстроювати кут розташування ФМ відповідно до сонця, таким чином елімінуючи локальний коефіцієнт освітленості.

Також замість математичного розрахування часу звороту, та куту нахилу

більш доцільним є створення додаткового модулю, що в реальному часі буде шукати оптимальну позицію згідно сонцю. Такий модуль дозволить розташовувати СЕС з максимальною можливою освітленістю в незалежності від географічного положення та часу доби.

#### 1.4 Кремнієві фоклінові фотоелектричні модулі

Найпростіша конструкція фоклінового сонячного елемента (ФСЕ), приладу для перетворення енергії сонячного випромінювання на основі монокристалічного чи аморфного кремнію (рис. 1.9).

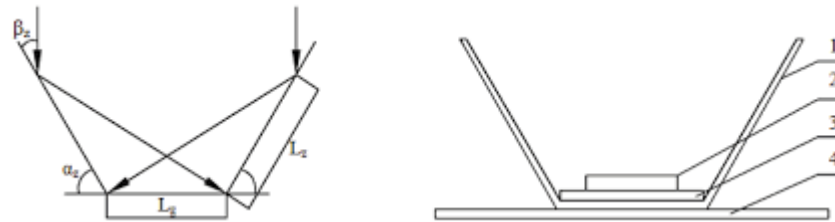


Рисунок 1.9 – Конструкція ФСЕ

Принцип роботи ФСЕ полягає в тому, що коли ФСЕ висвітлюється, поглинені фотони генерують нерівноважні електрон-діркові пари. Електрони, які генеруються в р-шарі поблизу р-п переходу, підходять до р-п переходу і існуючим в ньому електричним полем виносяться в n-область. Аналогічно і надлишкові дірки, створені в n-шарі, частково переносяться в р-шар. В результаті n-шар набуває додатковий негативний заряд, а р-шар – позитивний. Знижується первісна контактна різниця потенціалів між р-шарами і n-шарами напівпровідника, у зовнішньому колі ланцюга з'являється напруга. Негативному полюсу джерела струму відповідає n-шар, а р-шар – позитивному [11].

Величина сталої фотоЕДС при висвітленні переходу випромінюванням постійної інтенсивності описується простим рівнянням вольт-амперної характеристики (ВАХ) (рис. 2.10):

$$U = (kT/q) \ln((I_{ph} - I)I_s / +1) \quad (1.1)$$

де  $I_s$  – струм насичення, а  $I_{ph}$  – фотострум.

ВАХ (рис. 1.10) пояснює еквівалентна схема фотоелемента (рис. 1.11), що включає джерело струму:

$$I_{ph} = SqN_0Q, \quad (1.2)$$

де  $S$  – це площа фотоелемента, а коефіцієнт збирання  $Q$  – безрозмірний множник ( $<1$ ), що показує, яка частка всіх створених світлом електронно-дірочних пар збирається р-п-переходом.

Паралельно джерела струму включений р-п-перехід, струм через який дорівнює  $I_s$  [ $eqU / kT-1$ ]. р-п-Перехід шунтує навантаження, і при збільшенні напруги струм через нього швидко зростає. У навантаження (опір  $R$ ) відбирається струм  $I$  (рис. 1.11). Рівняння ВАХ істотно і при висвітленні фотоелемента світлом довільного спектрального складу, змінюється тільки значення фотоструму  $I_{ph}$ . [12-13] Максимальна потужність обирається в тому випадку, коли фотоелемент знаходиться в режимі, відображеною точкою а (рис. 1.10).

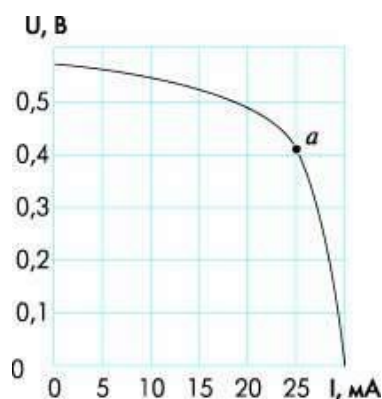


Рисунок 1.10 – ВАХ ФМ

Максимальна потужність, що знімається з точки площени:

$$P = I_{ph} \times U = x \times I_{кз} \times U_{хх}, \quad (1.3)$$

де  $x$  – це коефіцієнт форми або коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики (Fill Factor),  $I_{кз}$  – це струм короткого замикання,  $U_{хх}$  – це напруга холостого ходу.

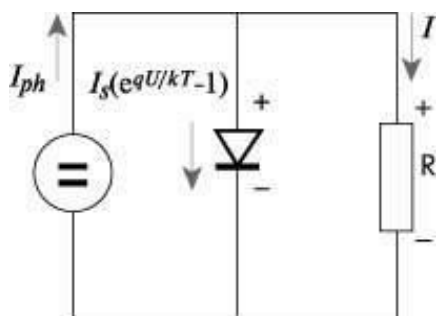


Рисунок 1.11 – Еквівалентна схема сонячного елемента

Браковані елементи, які зазвичай продаються на eBay або китайських аукціонах чи інтернет-магазинах (grade B), мають коефіцієнт заповнення ВАХ в діапазоні від 0.4 до 0.65. У аморфних елементів і інших тонкоплівкових ФМ коефіцієнт заповнення ВАХ знаходиться в діапазоні 0.4 ... 0.7.

При виробництві кожен сонячний елемент тестується і при цьому вимірюється його ВАХ і FF. Якщо fill factor менше 0,7, то елемент класифікується як Grade B і використовується для продажу «Саморобок» або виробникам супер-дешевих модулів (які повинні повідомляти покупців, що модулі зроблені з низькоякісних компонентів) [13].

### 1.5 Постановка завдань дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів та систем моніторингу СЕС, виявити їх недоліки;
- провести аналіз можливих методів оптимізації роботи ФМ;
- проаналізувати характеристики контролерів та модулів Ардуіно;

- провести аналіз методу вимірювань фотоелектричних параметрів;
- вибрати тип контролера та модулі для реалізації функцій системи автоматизації;
- створити апаратну реалізацію модулю автоматизованого контролю;
- провести розрахунок надійності модулю автоматизованого контролю;
- провести розрахунок собівартості модулю автоматизованого контролю;
- провести дослідження фотоелектричних параметрів модулю;
- розробити алгоритм і прошивку для виконання функцій пристрою контролером Arduino;
- розробити алгоритм і програмне забезпечення для візуального визначення вимірювань та моніторингу роботи СЕС для ПК;

## 2 РОЗРОБКА СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ МОДУЛЮ

### 2.1. Функціонал пристрою

В ході проведеного аналізу аналогічних пристроїв вибраний наступний функціонал модулю автоматизованого контролю роботи фоклінного сонячного модулю та дослідження його фотоелектричних параметрів [14-15]:

- зв'язок з ПК організувати підключенням по USB кабелю;
- обертання сонячного модулю по горизонтальній осі;
- обертання сонячного модулю по вертикальній осі
- використання спеціалізованих модулів Ардуїно для зняття електричних показників;

Можливості прошивки контролера:

- автоматичний режим управління обертанням;
- запис даних в енергонезалежну пам'ять контролера і всіляка індикація поточних параметрів системи.

### 2.2 Вибір типу контролера для вирішення поставленого завдання

Ардуїно Нано – це аналог Arduino Uno, що також працює на чіпі ATmega328P, але відрізняється формфактором плати, яка в 2-2,5 рази менше, ніж Uno (53 x 69 мм). Невеликі розміри і дозволяють легко збирати складні схеми навісним монтажем, але після стадії створення макета йде складання діючих примірників, а для цього краще підходить саме Нано. Розмір Arduino Nano: 19 x 43 мм (рис. 2.1).

У платі використовується чіп FTDI FT232RL для USB-Serial перетворення і примененяється міні-USB кабель для зв'язку з Ардуїно замість стандартного. Відмінність такої мініатюрної плати, полягає у відсутності винесеного гнізда для зовнішнього живлення, але замість нього з легкістю можна підключитися безпосередньо до пінів.

В іншому, способи взаємодії і характеристики чіпів збігаються з базовою моделлю Uno, що більше підходить для експериментів, ніж для реальних проектів. Але це не означає, що плату Ардуїно Нано не можна використовувати в реальних умовах.

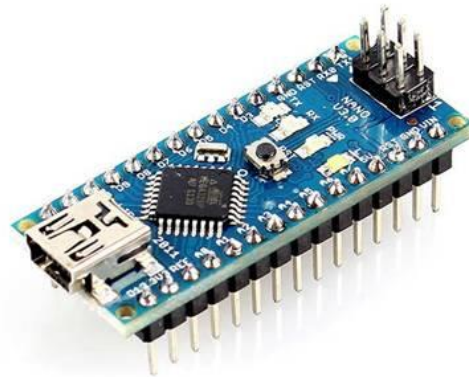


Рисунок 2.1 – Ардуїно нано

Немає більш нагальної проблеми для любителя електроніки, ніж бажання красиво і зручно оформити свій пристрій чи модуль.

Платформа Ардуїно має контакти у вигляді пінів, тому її легко встановлювати на макетну плату. Arduino Nano використовується там де важлива компактність, а можливостей Mini або не вистачає, або не хочеться займатися паянням чи кластеруванням.

Характеристики Arduino Nano: мікроконтролер Atmel ATmega168 або ATmega328, робоча напруга (логічна рівень) 5 В, вхідна напруга (рекомендований) 7-12 В, вхідна напруга (граничне) 6-20 В, тактова частота 16 МГц, розміри 1.85 см x 4.3 см, флеш-пам'ять 16 Кб (ATmega168) або 32 Кб (ATmega328) при цьому 2 Кб використовуються для завантажувача, аналогових входів 8, цифрові входи / виходів 14 (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), постійний струм через вхід / вихід 40 mA з одного виводу і 500 mA з усіх висновків, ОЗУ 1 Кб (ATmega168) або 2 Кб (ATmega328), EEPROM 512 байт (ATmega168) або 1 Кб (ATmega328),.

В першу чергу в розмові про характеристики потрібно відзначити, що Нано випускається в різних версіях, найпоширеніші з них Nano v.2 і Nano v.3.

Головна відмінність в самому мікроконтролері. Молодша версія використовує Atmega328, Atmega168. Основні відмінності чіпів – це обсяг Flash-пам'яті у атмегі328 32 кб, ППЗУ 1024 і ОЗУ 2 кб.

Розводка виводів (пінів) ардуїно нано (рис. 2.2).

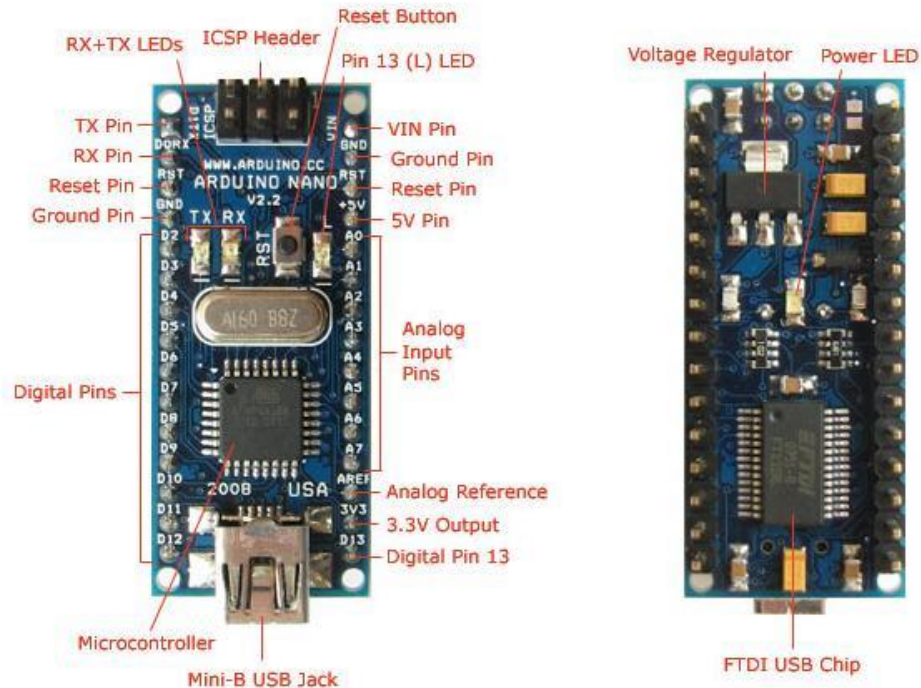


Рисунок 2.2 – Розводка виводів Ардуїно Нано

У протилежному кінці плати від роз'єму мікро-USB розташована колодка Arduino ICSP для прошивки мікроконтролера.

ШІМ виходи і транзистори допоможуть вам: регулювати обороти двигуна, яскравість світлодіодів, потужність нагрівачів і багато іншого. А аналогові входи дозволяють читати значення з аналогових датчиків, таких як:

- термопари;
- вимірювачі вологості;
- фоторезистори;
- датчики тиску та інші.

Виходи Digital 2 і 3 можуть бути використані для зовнішніх переривань. Це такі сигнали, які повідомляють мікроконтроллеру про який-небудь важливу подію. За цим сигналам викликається програма обробки переривання і

виконуються необхідні дії, наприклад, вихід з режиму енергозбереження і виконання обчислень.

### 2.3 Апаратна реалізація модуля

Проведено створення концептуального зображення реалізації моделі пристрою підключеного до сонячного модулю (рис. 2.3).

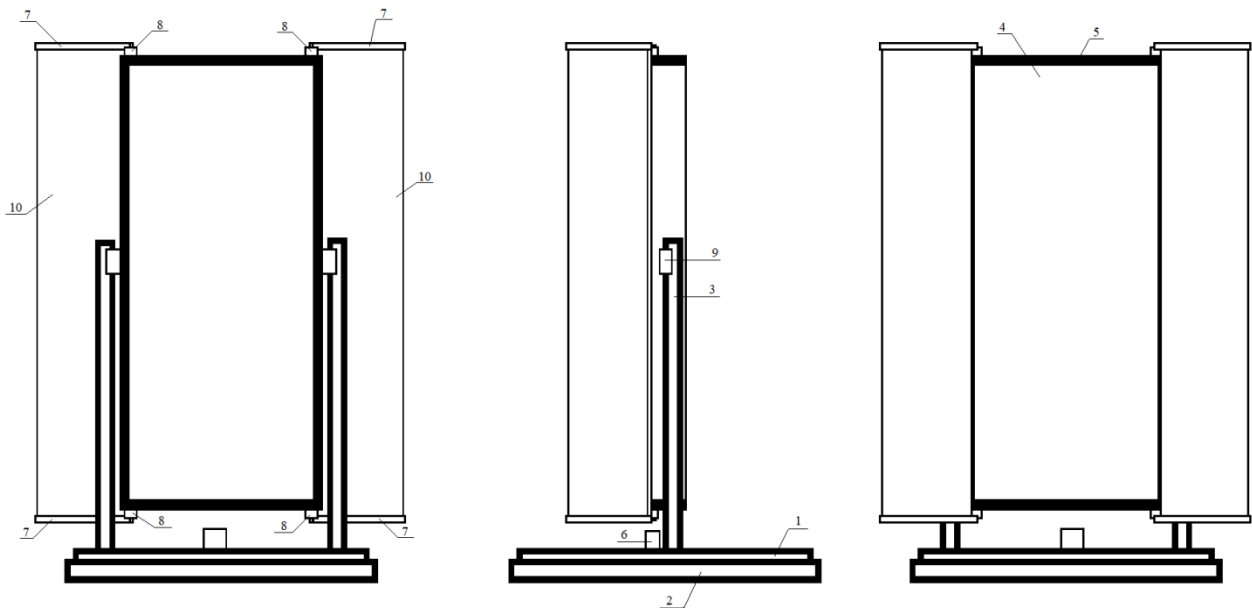


Рисунок 2.3 – Дизайн пристрою автоматизації

На концептуальному зображенні відображено сонячний модуль з встановленим на нього модулем автоматизації. До його складових входять:

- нижнє кріплення конструкції, що обертається. Виконано з алюмінію, загальна вага конструкції не перевищує 35 кг (1);
- основне наземне кріплення конструкції, зазвичай виконане з бетону для надійної стійкості положення (2);
- алюмінієві опори висотою, що дорівнює 70% довжини сонячного модулю (3);
- сонячний модуль (4);
- пластикова рама, що покриває зовнішню частину сонячного модулю і під якою проходять кабелі для захисту їх від кліматичних умов (5);



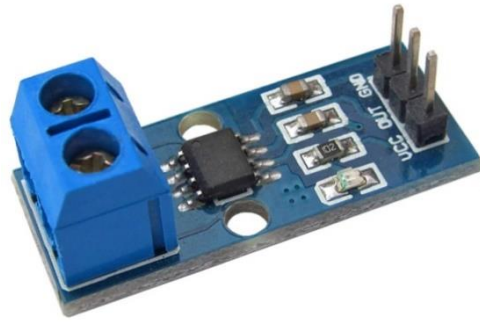


Рисунок 2.5 – Модуль зняття електричних параметрів ACS712-20A

Характеристика ACS712-20A:

- принцип роботи датчика заснований на ефекті Холла;
- датчик зібраний на мікросхемі: ACS712;
- діапазон вимірювання струму до 20A з чутливістю 100 мВ / А;
- максимальна смуга пропускання становить 80 кГц;
- напруга живлення датчика 5В;
- температурний діапазон роботи від -40 до + 85 °С;
- габарити модулю: 31,4 x 13,0 x 14,1 мм;
- вага: 4 г.



Рисунок 2.6 – Сервопривід HWAYEH SG90

### Характеристика сервоприводу HWAYEH SG90:

- розмір: 22 мм x 11,5 мм x 22,5 мм;
- вага: 9 г;
- операційна швидкість: 0,12 с / 60 градусів (4,8 В без навантаження);
- обертальний момент (4,8 В): 17,5 унцій / дюйм (1 кг / см);
- діапазон робочих температур: від -30 до +60;
- мертва зона: 7 мкс;
- робоча напруга: 3,0 В ~ 7,2 В;
- безсердечний мотор;
- все шестерні зроблені з нейлону;
- подвійний кульковий підшипник;
- довжина проводу підключення 150 мм.



Рисунок 2.7 – Сервопривід HWAYEH MG996R

### Сервопривід HWAYEH MG996R має такі характеристики:

- розміри: 40 мм x 19 мм x 43 мм;
- вага: 69 г;
- операційна швидкість: 0.17с / 60 градусів (4,8 В без навантаження);
- операційна швидкість: 0.13с / 60 градусів (6,0 В без навантаження);
- обертальний момент: 13 кг-см при напрузі не вище 4,8В;
- обертальний момент: 15 кг-см при 6В;

- керуюча напруга: 4,8-7,2В;
- тип шестерні: всі металеві шестерні;
- провід підключення: надміцний, 300 мм.

Апаратна реалізація модулю автоматизації була проведена за допомогою програмного комплексу Fritzing. Fritzing – це ініціатива з відкритим вихідним кодом для розробки аматорського або професійного програмного забезпечення для САПР для дизайну обладнання для електроніки, для підтримки дизайнерів і художників, готових перейти від експериментів з прототипом до створення більш постійної схеми. Вона була розроблена в Університеті прикладних наук Потсдама.

Програмне забезпечення створюється в стилі мови програмування Processing і мікроконтролера Arduino та дозволяє художнику, дизайнеру, студенту, досліднику або любителю документувати свій прототип на основі Arduino і створювати макет друкованої плати для виготовлення. Пов'язаний веб-сайт з відкритим форумом допомагає користувачам обмінюватися та обговорювати проекти та досвід, а також зменшувати виробничі витрати при створенні комплексних проектів.

Fritzing може розглядатися як інструмент електронної автоматизації проектування для інженерів: метафора введення є натхненною середовищем дизайнерів (прототип на основі макета), де вихід спрямований на доступні засоби виробництва. Станом на 2 грудня 2014 року Fritzing розробив опцію перегляду коду, де можна модифікувати код і завантажити його безпосередньо на пристрій Arduino, що значно допомагає при створенні даної роботи.

Вихідний код Fritzing написаний на C ++ за допомогою Qt-framework. Вихідний код можна завантажити та відредагувати через репозиторії веб-хостингу GitHub. Джерела коду розділені на два основних сховища: Fritzing-App та Fritzing-Parts.

Для розробки пристрою використовувався програмний продукт Fritzing виконує повний цикл проектування друкованих плат, а саме:

- графічний введення електричних схем;
- змішане аналого-цифрове моделювання на основі декількох;

- упаковка схеми на друковану плату;
- підготовку файлів для виробництва друкованих плат;
- інтерактивне і автоматичне трасування провідників;
- контроль помилок в схемі і друкованій платі;
- аналіз цілісності сигналів і перехресних спотворень;
- інтерактивне розміщення компонентів;

Основні можливості:

- зберігання проектної інформації в бінарних і текстових файлах;
- проект схеми може містити 999 аркушів, проект плати до 999 шарів (11 з них стандартних);
  - максимальне число висновків у компонента 10000;
  - максимальні розміри листа схеми або креслення друкованої плати більше за 60×60 дюймів;
  - число ланцюгів в проекті до 64000;
  - число вентилів в компоненті до 5000;
  - мінімальний кут повороту компонентів на платі 0,1 град;
  - довжина імен компонентів понад 30 символів, максимальний обсяг текстових написів і атрибутів понад 20000 символів;
  - механізм перенесення змін друкованої плати на схему і навпаки;
  - підтримка дюймової і метричною систем заходів;
  - бібліотеки компонентів, що містять більше 27000 елементів і сертифіковані за стандартом ISO 9001.

Підключення до ПК здійснюється за допомогою інтерфейсу USB 3.0 розташованим у основі контролера. За допомогою то го ж самого інтерфейсу виконується і живлення приладу.

Отримали результат розробки електричної принципової схеми пристрою (рис. 2.8) і віртуальний макет пристрою (рис 2.9).

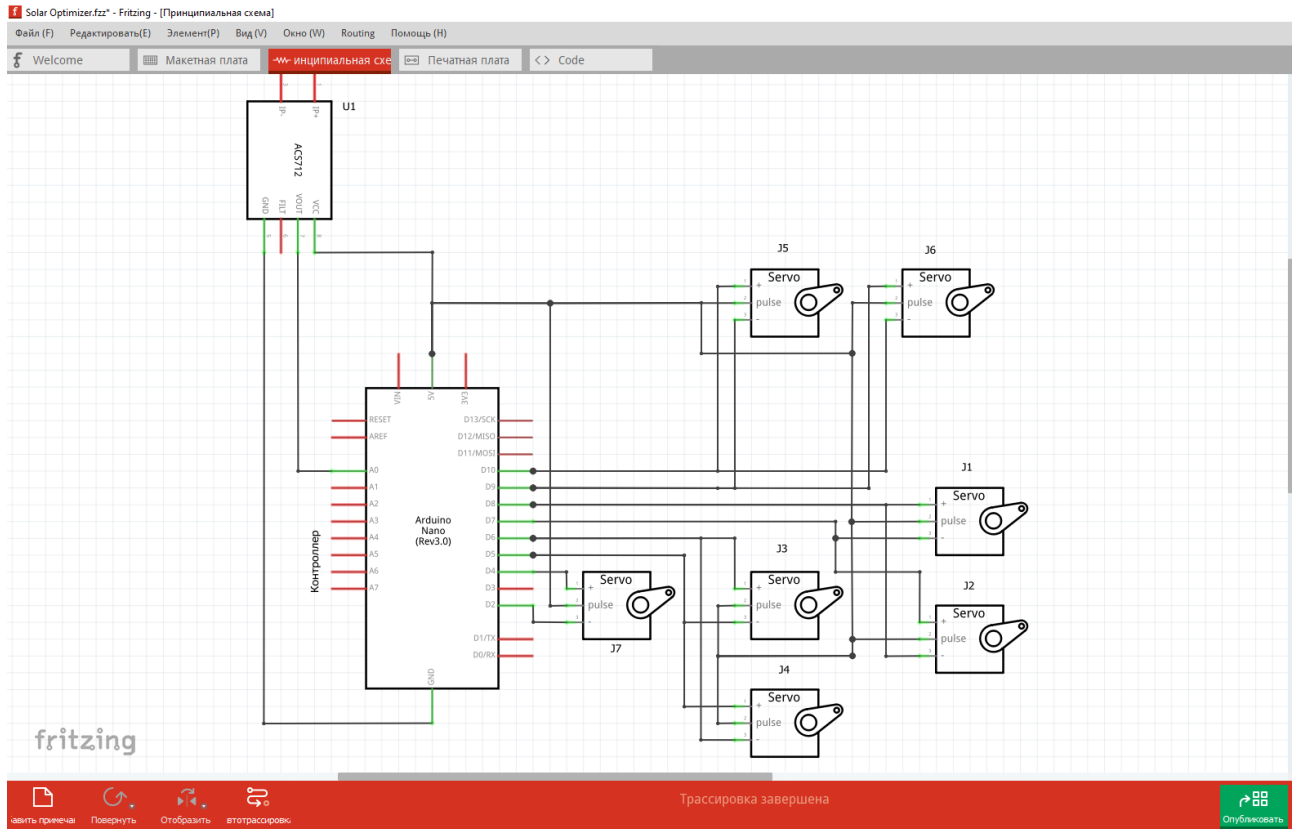


Рисунок 2.8 – Схема підключення компонентів пристрою автоматизації

Призначення дротів на віртуальному макеті (рис. 2.9.):

- чорний GND, заземлення;
- жовтий 5V, живлення 5V;
- коричневий A1, аналоговий вхід 1 для зняття фотоелектричних параметрів;
- зелений D6, повернення лівого фокліну за годинниковою стрілкою;
- сірий D5, повернення лівого фокліну проти годинникової стрілки;
- білий D7, повернення сонячного модулю за годинниковою стрілкою;
- помаранчевий D8, повернення сонячного модулю проти годинникової стрілки.
- червоний D9, повернення правого фокліну за годинниковою стрілкою;
- синій D10, повернення правого фокліну проти годинникової стрілки;
- фіолетовий підключення живлення з сонячного модулю;
- рожевий D4, повернення конструкції за годинниковою стрілкою;
- ціановий D2, повернення конструкції проти годинникової стрілки.

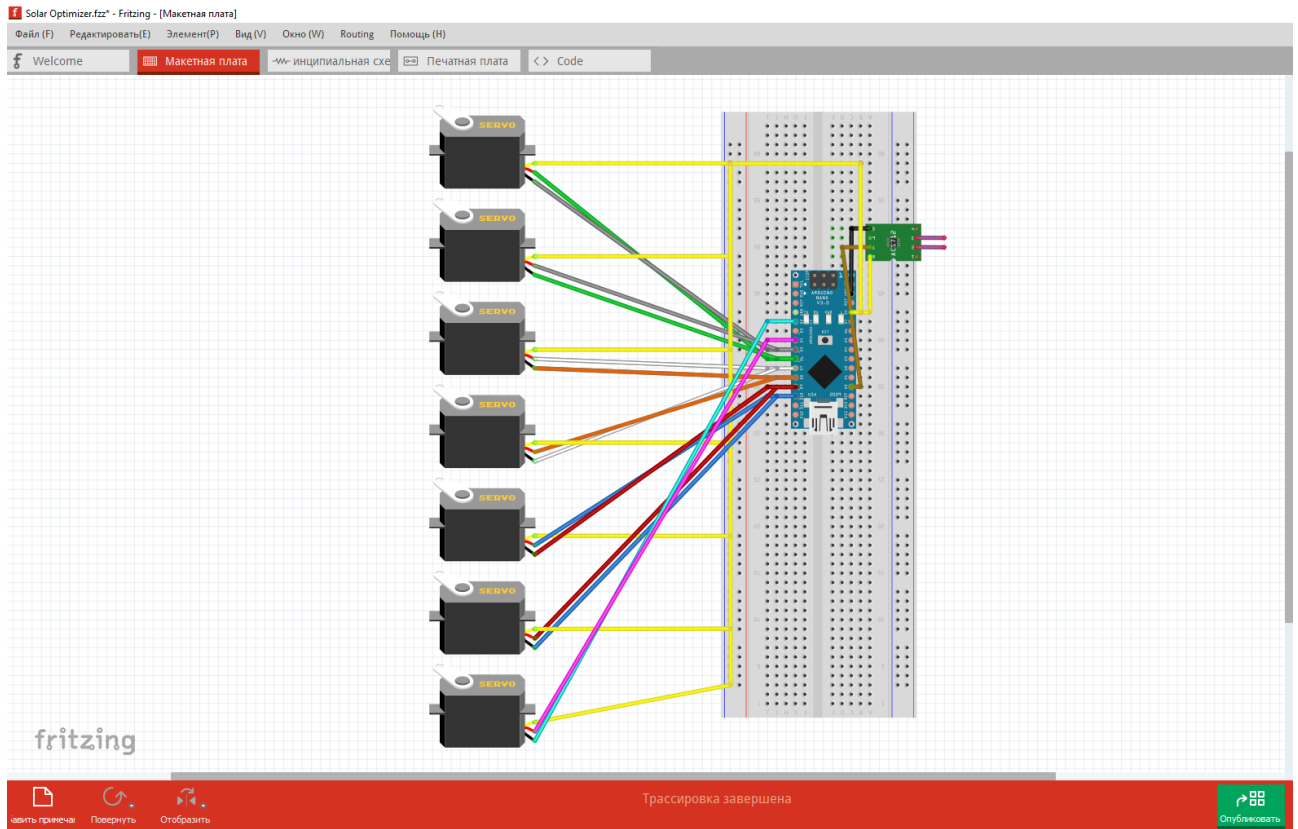


Рисунок 2.9 – Віртуальний макет підключення Ардуїно та модулів

Кліматичний пристрій також створено в середовищі Fritzing. Результат розробки електричної принципової схеми пристрою (рис. 2.10).

Призначення дротів пристрою (рис. 2.11):

- чорний GND, заземлення;
- жовтий 5V, живлення 5В;
- коричневий D2, аналоговий вхід 1 для зняття фотоелектричних параметрів;
- червоний D12, повернути сервопривід за годинниковою стрілкою;
- зелений D11, повернути сервопривід проти годинникової стрілки;
- сірий D10, повернути датчик освітленості за годинниковою стрілкою;
- білий D9, повернути датчик освітленості проти годинникової стрілки;
- синій D10, підключення до датчику освітленості.

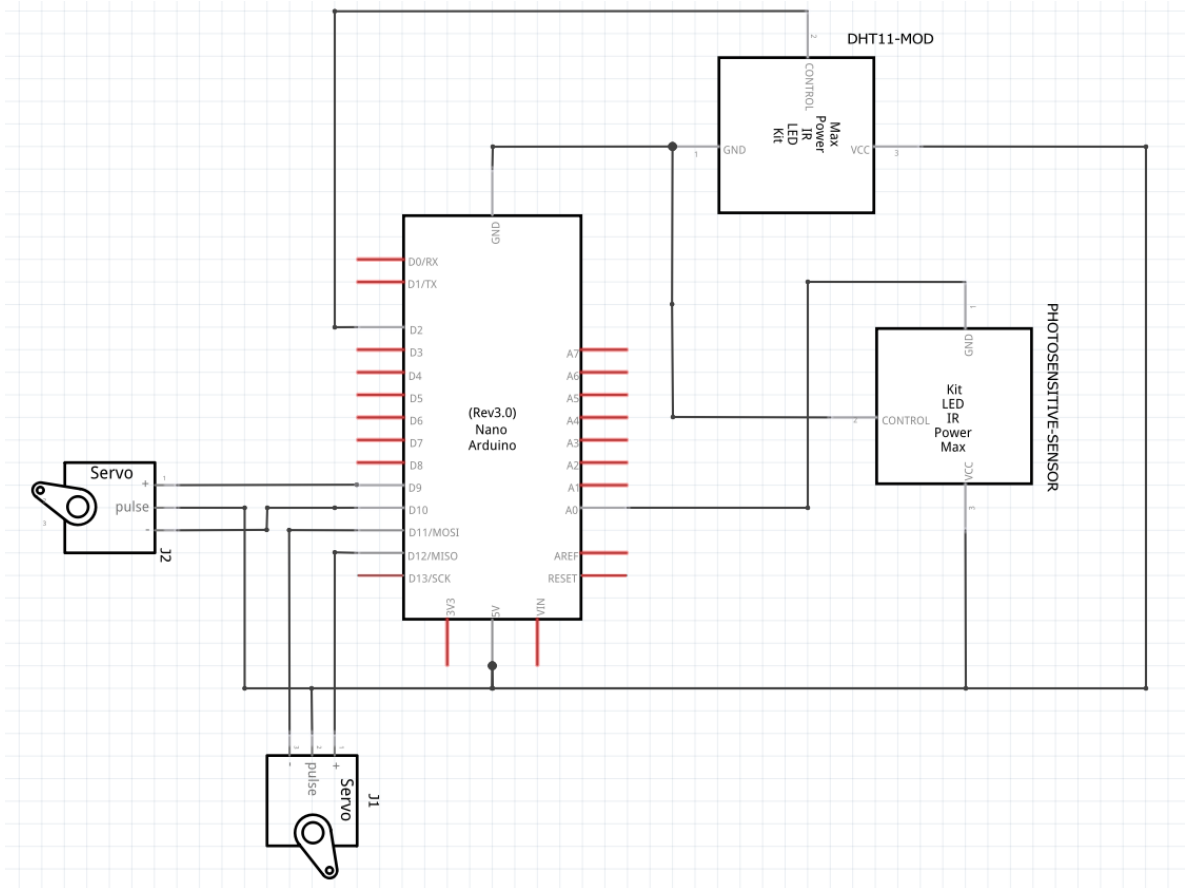


Рисунок 2.10 – Схема підключення компонентів кліматичного пристрою

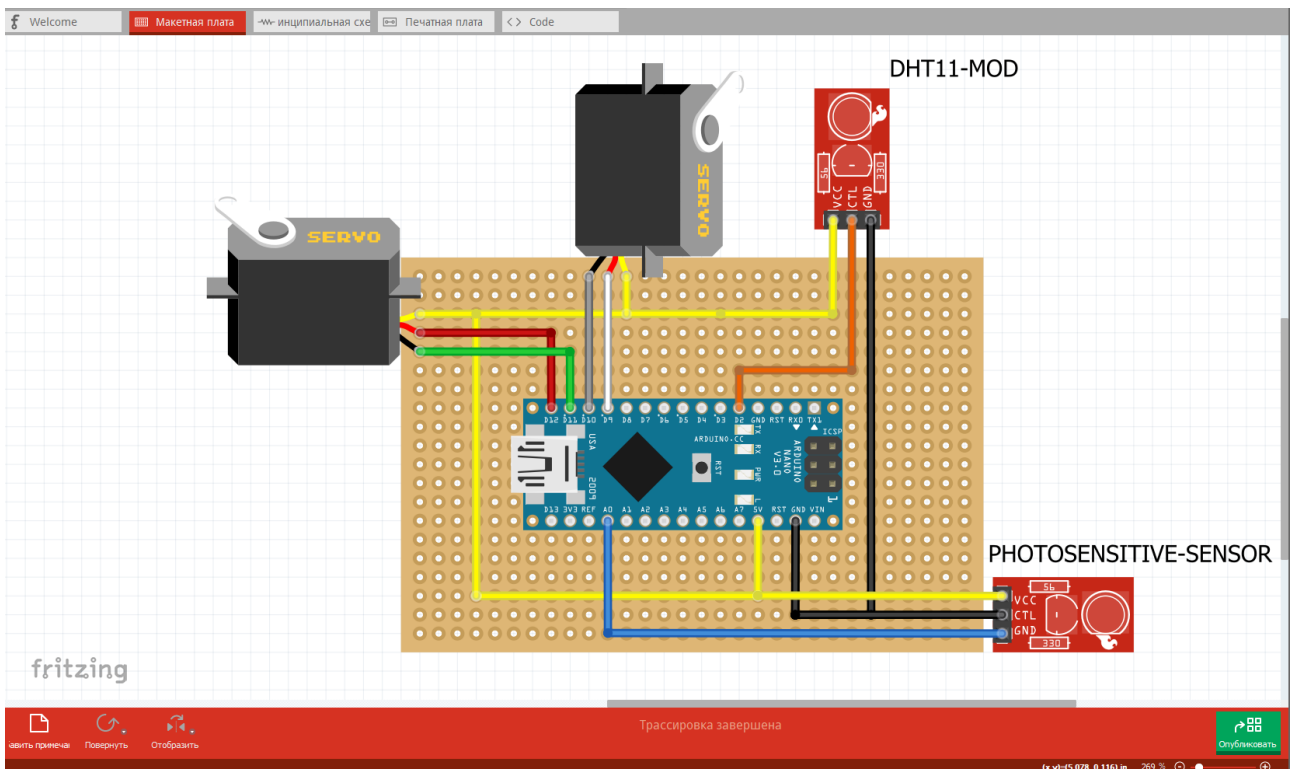


Рисунок 2.11 – Віртуальний макет підключення Ардуїно та модулів

До складу кліматичного пристрою входять такі елементи, як плата Ардуїно Нано 3, а також 2 сервоприводи HWAYEN SG90. Крім цього застосовуються Датчик температури і вологості DHT11 для Arduino (рис. 2.12) та Датчик освітленості на чипі LM393 (рис. 2.13).

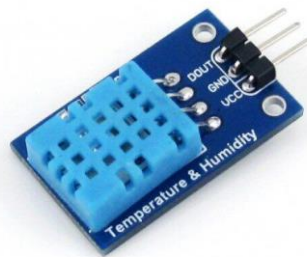


Рисунок 2.12 – Датчик вологості та температури DHT11

Датчик DHT11 використовується для вимірювання та передачі на контролер у вигляді цифрового сигналу показань температури і вологості середовища, в якій він знаходиться і що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході.

Датчик температури і вологості DHT11 має 3-контактний піновий інтерфейс для підключення до мікроконтролеру:

- DATA, контакт для обміну даними між датчиком і мікроконтролером;
- VCC, напруга живлення;
- GND, заземлений контакт.

Характеристики DHT11:

- визначення вологості: 0...100% з точністю 5%;
- визначення температури: -40...+123 °C з точністю 2%;
- частота опитування датчика: не більше 1 Гц (не більше одного разу в 1 секунду);
- АЦП (аналогово-цифровий перетворювач);

- напруга живлення 3...5,5 В;
- габарити 32 x 14 мм;
- вага 8 г;
- індикатор живлення червоний;
- вихід цифровий.

Управління датчиком здійснюється або від Arduino контролера, або від іншого керуючого мікропроцесорного пристрою за допомогою спеціальних програм, що і дозволяє пристрою оптимізації керувати кліматичними параметрами ФМ у польових умовах.

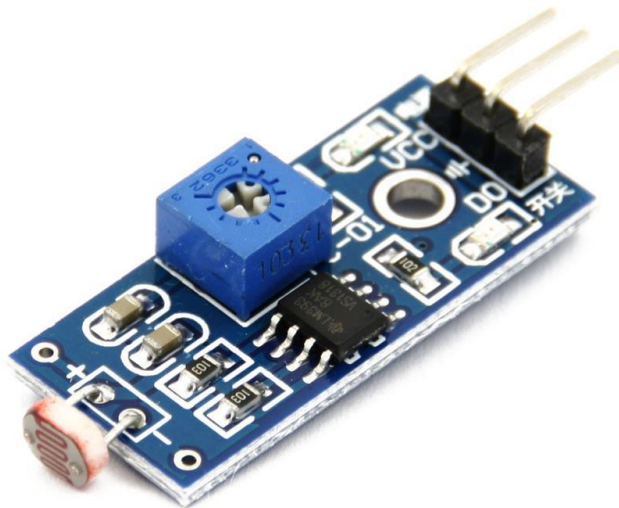


Рисунок 2.13 – Датчик освітленості на чипі LM393

Найбільш чутливий до навколишнього світла модуль світлочутливого опору на чипі LM393 зазвичай використовується для виявлення навколишнього середовища навколо яскравості світла, або модуля реле спрацьовування MCU тощо.

Вихід DO можна безпосередньо підключити до мікроконтролера за допомогою мікросхеми з одним піном для виявлення високого та низького рівня, таким чином, для виявлення зміни інтенсивності світла навколишнього середовища лише потрібно подати напругу на VCC та зняти дані з DO. Вихід

DO може бути безпосередньо керований релейним модулем, який може утворювати світловий вимикач.

Вихід компаратора, сигнал чистий, хороша форма сигналу, здатність до водіння сильна, більше 15 мА. Можливе використання з регульованим потенціометром для регулювання яскравості світла. Робоча напруга від 3,3 В до 5 В, розмір друкованої плати на невеликій дошці: 3,2 см x 1,4 см, цифровий вихід. Датчик має фіксований отвір для болта для зручності.

## 2.4 Розрахунок надійності

Надійність – це властивість технічних об'єктів зберігати у часі у встановлених межах значення усіх параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах зберігання, застосування, транспортування та технічного обслуговування.

Під технічними об'єктами розуміють пристрої, прилади, механізми, машини, комплекси обладнання, будівельні конструкції і споруди, технологічні операції і процеси, системи зв'язку, інформаційні системи, автоматизовані системи управління технологічними процесами тощо.

Методи теорії і практики дослідження надійності базуються на застосуванні апарату теорії ймовірностей і випадкових процесів, математичної статистики, моделювання, а також таблиць і складних формул.

Надійність в інженерній практиці відрізняється від безпеки ставленням до видів небезпек, з якими вона має справу. Надійність в техніці головним чином пов'язана з оцінкою кількісних показників. Вони стосуються тих небезпек з точки зору надійності, котрі можуть спричинити аварії, що приведуть до великих додаткових витрат ресурсів розробника та/або замовника. Це може статися через збитки з причини неготовності системи, перерви у нормальній роботі, несподівано високих витрат на запасні частини та ремонт, тощо. Безпека ж відноситься до тих випадків прояви небезпеки, які можуть призвести до потенційно тяжких чи фатальних наслідків під час аварій.

Вимоги з безпеки тісно пов'язані із вимогами до надійності, але охарактеризуються вищими ступенями відповідальності. Безпека має справу з небажаними небезпечними подіями для життя людей і навколишнього середовища в тому ж значенні, що і надійність, але не пов'язана прямо з вартісними показниками і не має відношення до дій з відновлення після відмов та аварій.

Таблиця 2.1 – Розрахунок інтенсивності відмов

Найменування радіоелемента	Тип	Кількість, n	Температура навколишнього середовища, $t_{cp}$ , °C	Коефіцієнт навантаження, $K_n$	Коефіцієнт впливу, $\alpha$	$\lambda_0 * 10^{-6}$	$\lambda_i * 10^{-6}$	$\lambda_c * 10^{-6}$
						$e^{-1}$	$e^{-1}$	$e^{-1}$
Arduino nano v.3	ИМС	2	40	0,6	0,3	0,997	0,997	0,997
DS3235	Motor	1	40	0,4	0,7	0,14	0,28	0,76
HWAYEN SG90	Motor	6	40	0,6	0,95	0,25	0,48	0,45
HWAYEN MG996R	Motor	2	40	0,6	0,95	0,25	0,48	0,63
ACS712-20A	ИМС	1	40	0,6	0,3	0,997	0,997	0,997
DHT11	ИМС	1	40	0,6	0,3	0,997	0,997	0,997
LM393	ИМС	1	40	0,6	0,3	0,997	0,997	0,997
Провід		39	40	-	-	0,005	0,005	0,12

Розрахуємо надійність пристрою.

Розрахунок надійності проходить за формулами:

$$\Lambda = \sum \lambda_c, \quad (2.1)$$

$$T_c = \frac{1}{\Lambda}, \quad (2.2)$$

$\Lambda$  – це сума інтенсивність відмов;

$\lambda_c$  – це інтенсивність відмов елемента;

$T_c$  – це значення напрацювання на відмову.

$$\Lambda = 14,385 \times 10^{-6}$$

$$T_c = \frac{1}{14,385 \times 10^{-6}} = 69516,85 \text{ годин}$$

В результаті перевірки на надійність отримуємо, що розрахована надійність перевищує задану в ТЗ таким чином задовольняючи поставлені вимоги.

## 2.5 Розрахунок собівартості модулю

Відповідно до комплектації пристрою і на основі бізнес-прайс аркушів інтернет магазинів оптового придбання товарів складається таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок вартості комплектуючих електронного пристрою.

Найменування компонентів	Кількість	Ціна одиниці, грн. (без ПДВ)	Сума, грн.
Arduino nano v.3	2	74	148
DS3235	1	280	280
HWAYEH SG90	6	13	72
HWAYEH MG996R	2	93	186
ACS712-20A	1	58,25	58,25
DHT11	1	38,75	39,75
LM393	1	12	12
РАЗОМ			796

Розрахунок коефіцієнта трудомісткості праці проводиться для того щоб проаналізувати, наскільки ефективно використовується робоча сила [16].

Формула розрахунку коефіцієнта трудомісткості праці має наступний вигляд:

$$T = P_m / K_n, \quad (2.3)$$

де  $T$  – це трудоємність виготовлення одного товару;  $K_{п}$  – це кількість виготовлених товарів (наданих послуг, виконаних робіт);  $P_{в}$  – це робочий час, затрачений для виробництва даної кількості товарів.

Розцінка ж визначається по формулі:

$$P = T_c \times H_{ep} \quad (\text{грн}), \quad (2.4)$$

де  $T_c$  – це годинна тарифна ставка, грн;

$H_{вр}$  – це норма часу.

Таблиця 2.3 – Розрахунок трудових витрат і розцінки

Найменування робіт	Часова тарифна ставка	Кількість одиниць	Трудові витрати, людино-годин		Розцінка грн.
			На одиницю	Всього	
Монтаж елементів	25	1	2	2	50
Перевірка роботи	25	1	2	2	50
Разом				4	100
Невраховані роботи (4%)					4
Всього				4	104

Витрати на монтаж-налагоджувальні роботи складають  $\Sigma t = 4$  чол-годин, а розцінки  $P = 104$  грн.

Розрахунок витрат і вартості матеріалів на монтаж-налагоджувальні роботи. Витрати матеріалів визначаються по формулі:

$$M = \frac{H_m \times \Sigma t}{100}, \quad (2.5)$$

де  $H_m$  – це норма витрати матеріалів на 100 людино-годин трудомісткості монтаж-налагоджувальних робіт,  $\Sigma t$  – це трудомісткість монтаж-налагоджувальних робіт (таблиця 2.3).

Для електронно-обчислювальної техніки накладні витрати плануються в розмірі в приблизно 36 % від основної заробітної плати.

Складання кошторису витрат собівартості продукції, на виготовлення і наладку електронного пристрою (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Кошторис витрат

Найменування витрат	Сума, грн
Витрати на компоненти	796
Фонд оплати праці	104
Разом прямі витрати	900
Накладні витрати 36%	324
Усього повна собівартість	1224

Визначення ціни електронного пристрою.

Ціна – це кількісне грошове вираження вартості товару, за якою його реалізують. Оптова ціна без ПДВ розраховується:

$$Ц = C_n + (C_n \times P_n) \text{ грн.}, \quad (2.6)$$

де  $C_n$  – це повна собівартість одної одиниці продукції;  $P_n$  – це рентабельність продукції залежно від собівартості у відсотках.

$$Ц = 1224 \times (1224 \times 0,1) = 1346,4 \text{ грн}$$

## 2.6 Дослідження фотоелектричних параметрів модулю

На даний час на ринку України пропонується велика кількість сонячних батарей і колекторів від різних виробників з різними характеристиками ККД і для коректного вибору їх типу та якості необхідні прості методики та обладнання для проведення їх випробувань [9]. Для прикладу, відповідно до європейських норм EN 12975-2:2006 ФМ потрібно піддавати випробуванням на:

– внутрішній тиск щодо абсорбера;

- протидію високим температурам;
- опромінення;
- зовнішній тепловий удар (може бути поєднано з випробуванням на опромінення);
- внутрішній тепловий удар (може бути поєднано з випробуванням на опромінення);
- механічне навантаження;
- теплову ефективність;
- протидію замерзанню;
- тощо.

Крім того, на даний час існує багато інших методик дослідження сонячних колекторів, що ґрунтуються на різних математичних моделях [11].

Відомо, що коефіцієнт ефективності залежить від співвідношення температур колектора, теплоносія і довкілля. Випробування ФМ можуть проводитись як із сонячними імітаторами, так і при безпосередньому сприйнятті сонячної радіації [11]. Дослідження за сприйняття прямої сонячної радіації повинні проводитись за заданими кутами падіння, значення яких суттєво впливає на їх теплову потужність [2]. Це збільшує вимоги до швидкодії засобів вимірювання параметрів прямої сонячної іррадіації, які зазвичай постійно змінюються на практиці.

В свою чергу метою паспортизації і сертифікації сонячних елементів, модулів та їх складових частин проводять випробування з дотриманням стандартних умови випробувань STC (Standart Test Conditions), головними з яких є наступні: щільність потоку світла  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , температура  $25 \text{ C}$ , спектр АМ 1,5 (сонячний спектр на широті  $45^\circ$ ) [2].

Вимірювання струму короткого замикання фотоелемента одночасно з дослідженням спектрального складу і щільності падаючого оптичного випромінювання дозволяє отримати уявлення про ефективність кожної стадії процесу перетворення випромінювання в електричну енергію, який відбувається всередині елемента.

Отриманий у даний час ККД сонячних елементів  $\sim 15\%$  вважають

достатнім для виготовлення енергетичних установок вартістю  $\sim 1$  дол./Вт пікової потужності. ККД визначають як [2]:

$$ККД = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{I_g}, \quad (2.7)$$

де  $I_{sc}$  – струм короткого замикання;  $V_{oc}$  – напруга холостого ходу;  $FF$  – коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики;  $I_g$  – потужність падаючого випромінювання або глобальна іррадіація.

Усі три параметри повинні мати якнайбільші значення для отримання максимально можливого ККД. Струм короткого замикання визначається відбиваючою здатністю поверхні сонячного елемента і ефективністю роботи носіїв р-п переходу.

Теоретична потужність відображується, як площа квадрата, а реальна потужність відповідає кордоні блакитний фігури. Коефіцієнт заповнення ВАХ ( $FF$ ) – це відношення площі блакитний фігури до площі суми блакитний і червоною фігур (рис.2.14). Можна сказати, що чим більше  $FF$ , тим менше втрати в елементі через внутрішнього опору.

Коефіцієнт заповнення ВАХ може також використовуватися для визначення опору сонячного елемента.

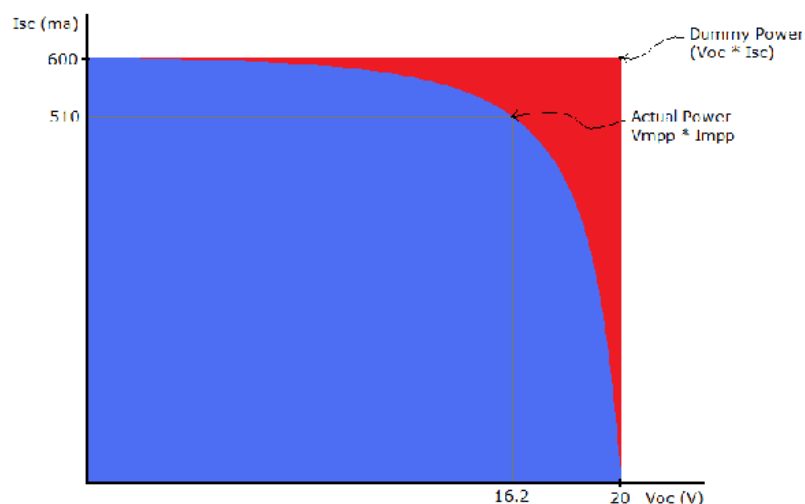


Рисунок 2.14 – Коефіцієнт заповнення ВАХ

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}}, \quad (2.8)$$

де  $V_{mpp}$  – це напруга в точці максимальної потужності (ТМП),  $I_{mpp}$  – це струм в ТМП,  $V_{oc}$  – це напруга холостого ходу,  $I_{sc}$  – це струм короткого замикання.

Коефіцієнт заповнення ВАХ сонячного елемента (FF) можна виразити, як відношення реальної потужності ( $V_{pmax} \times I_{pmax}$ ) до гіпотетичної потужності  $V_{oc} \times I_{sc}$ . Цей коефіцієнт є одним з найголовніших параметрів, за яким можна визначити про якість ФМ. Типові якісні ФМ (Tier 1) серійно випускаються з коефіцієнтом заповнення ВАХ  $> 70\%$ .

Об'єднавши дві формули отримуємо, що ККД можна представити за формулою:

$$ККД = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{I_g} \quad (2.9)$$

Важливим моментом роботи сонячних елементів є їх залежність від температури. У сонячний день СЕ в модулях постійно нагріваються, втрачаючи ККД через зниження напруги на кожному з р-п переходів. А ККД кремнієвих ФМ, що промислово випускаються сьогодні на Україні, знаходиться в межах до 23%. За умов підігріву ФМ на один градус після 25 С, втрачається в напрузі приблизно 0,002 В, тобто 0,4 % на 1 С в .

На робочу потужність сонячного модулю впливають такі фактори як глобальний коефіцієнт освітленості, локальний коефіцієнт освітленості, ККД сонячного модулю, тощо. Ці залежності можна виразити за формулами:

$$P_m = I_g \times I_l \times CPD \times S \times ((T - T_c) \times W + T_c) \times 30, \quad (2.10)$$

де  $P_m$  – це розрахункова місячна потужність кВт/год,  $I_g$  – це глобальна освітленість кВт/м<sup>2</sup>,  $I_l$  – це локальний коефіцієнт освітленості (рис. 1.7-1.8),

CPD – це коефіцієнт корисної дії сонячної панелі, S – це площа сонячного модулю, T – це середня тривалість світлового дня,  $T_c$  – це середнє число сонячних годин, W – це коефіцієнт ефективності сонячного модулю у пахмурну погоду (0.3).

$$P_p = I_g \times I_{lp} \times CPD \times S \times ((T_p - T_{cp}) \times W + T_{cp}), \quad (2.11)$$

де  $P_p$  – це розрахункова річна потужність кВт/год,  $I_{lp}$  – це локальний річний коефіцієнт освітленості,  $T_p$  – це середня тривалість світлового дня за рік,  $T_{cp}$  – це середнє число сонячних годин за рік.

Річна потужність також можна розрахувати, як суму усіх  $P_m$ . У зв'язку з Законом України про відновлювані джерела сонячної енергії від 2021 передбачає обов'язкову подачу документу про прогноз річної виробки електричної енергії для електростанцій, що перевищують певну номінальну потужність. А порушення його буде каратися адміністративним штрафом.

За результатами дослідження ефективність роботи сонячної панелі що обертається по горизонталі сильно відрізняється в залежності при якому куту встановлено ФМ (рис. 2.15-2.16). Штриховою лінією зображено відносна освітленість ФМ розташованого вертикально, рожева лінія – ФМ розташованого під кутом 45 градусів, червона лінія відображає коефіцієнт освітленості розробленого модулю без фокліну, а жовта – з встановленим фокліном.

Середня відносна освітленість ФМ розташованого вертикально в день літнього сонцестояння складає: 0,7747, а зимнього: 0,9811. Річна відносна освітленість складає приблизно 0,8392.

Середня відносна освітленість ФМ розташованого під кутом 45 градусів в день літнього сонцестояння складає: 0,927, а зимнього: 0,819. Річна відносна освітленість складає приблизно 0,8933.

Середня відносна освітленість розробленого модулю без фокліну дорівнює 1 незалежно від географічного розташування чи пори року, а з

фокліном цей коефіцієнт зростає ще на 20%, тобто дорівнює 1,2.

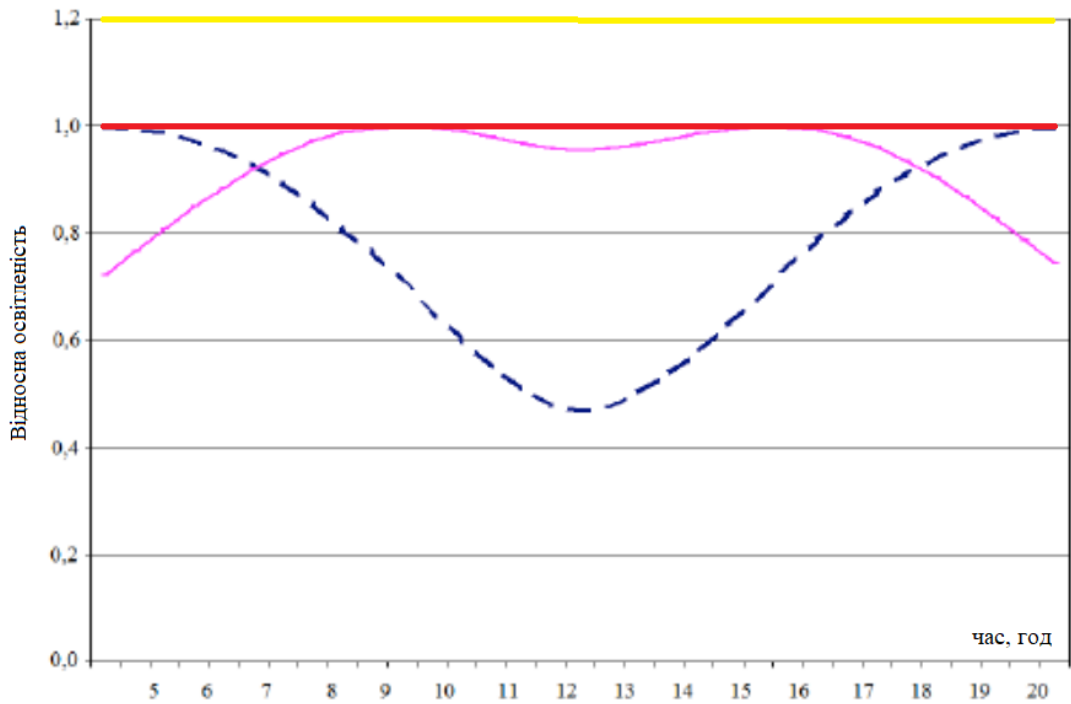


Рисунок 2.15 – Графік відносної освітленості у літнє сонцестояння

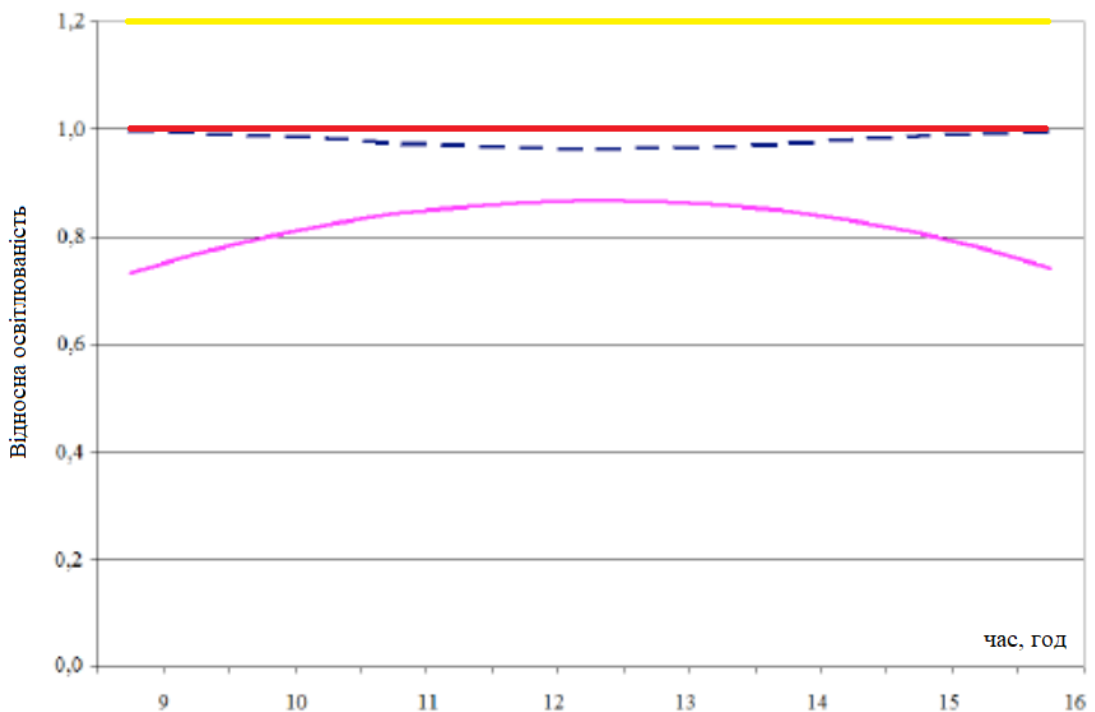


Рисунок 2.16 – Графік відносної освітленості у зимнє сонцестояння

З графіків видно, що встановлення вертикально значно ефективніше взимку, а під кутом влітку, але в обидвох випадках коефіцієнт локальної

освітленості розробленого модулю завжди більший існуючі системи.

Глобальна освітленість залежить від географічного положення, наприклад для Харкова він складає 1200. Тобто при використанні сонячної панелі розміром 1 квадратний метр у сонячну погоду при оптимальному освітлені та ККД 20% буде виробнича потужність  $\approx 240$  Вт. Нажаль ще не під силу людству контролювати такі показники, як  $T$ ,  $T_c$  та  $W$ , коефіцієнти CPD та  $S$  повністю залежать від ФМ.

Місячна потужність для рухомого ФМ розташованого під кутом 45 градусів щодо лінії горизонту в червні складає:

$$1200 \times 0,927 \times 0,2 \times ((13,3 - 8,8) \times 0,3 + 8,8) \times 30 = 0,927 \times 74160 = 68746 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для рухомого ФМ розташованого під кутом 45 градусів щодо лінії горизонту в грудні складає:

$$1200 \times 0,819 \times 0,2 \times ((8,2 - 1) \times 0,3 + 1) \times 30 = 0,819 \times 22752 = 16358 \text{ кВт/год}$$

Річна потужність для такого ФМ складає:

$$1200 \times 0,8933 \times 0,2 \times ((12,25 - 4,4) \times 0,3 + 4,4) \times 365 = 0,8933 \times 591738 = 528599 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для нерухомого ФМ розташованого під кутом 45 градусів щодо лінії горизонту в напрямку сонця в червні складає:

$$1200 \times 0,6489 \times 0,2 \times ((13,3 - 8,8) \times 0,3 + 8,8) \times 30 = 0,6489 \times 74160 = 48122 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для нерухомого ФМ розташованого під кутом 45 градусів щодо лінії горизонту в напрямку сонця в грудні складає:

$$1200 \times 0,5733 \times 0,2 \times ((8,2 - 1) \times 0,3 + 1) \times 30 = 0,5733 \times 22752 = 13043 \text{ кВт/год}$$

Річна потужність для такого ФМ складає:

$$1200 \times 0,6253 \times 0,2 \times ((12,25 - 4,4) \times 0,3 + 4,4) \times 365 = 0,6253 \times 591738 = 370013 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для рухомого ФМ розташованого під кутом 90 градусів щодо лінії горизонту в червні складає:

$$1200 \times 0,7747 \times 0,2 \times ((13,3 - 8,8) \times 0,3 + 8,8) \times 30 = 0,7747 \times 74160 = 57451 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для рухомого ФМ розташованого під кутом 90 градусів щодо лінії горизонту в грудні складає:

$$1200 \times 0,9811 \times 0,2 \times ((8,2 - 1) \times 0,3 + 1) \times 30 = 0,9811 \times 22752 = 22321 \text{ кВт/год}$$

Річна потужність для такого ФМ складає:

$$1200 \times 0,8392 \times 0,2 \times ((12,25 - 4,4) \times 0,3 + 4,4) \times 365 = 0,8392 \times 591738 = 496586 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для нерухомого ФМ розташованого під кутом 90 градусів щодо лінії горизонту в напрямку сонця в червні складає:

$$1200 \times 0,54229 \times 0,2 \times ((13,3 - 8,8) \times 0,3 + 8,8) \times 30 = 0,54229 \times 74160 = 40216 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для нерухомого ФМ розташованого під кутом 90 градусів щодо лінії горизонту в напрямку сонця в грудні складає:

$$1200 \times 0,6867 \times 0,2 \times ((8,2 - 1) \times 0,3 + 1) \times 30 = 0,6867 \times 22752 = 15623 \text{ кВт/год}$$

Річна потужність для такого ФМ складає:

$$1200 \times 0,6244 \times 0,2 \times ((12,25 - 4,4) \times 0,3 + 4,4) \times 365 = 0,6244 \times 591738 = 369481 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для ФМ з встановленими розробленими модулями без фокліну в червні складає:

$$1200 \times 1 \times 0,2 \times ((13,3 - 8,8) \times 0,3 + 8,8) \times 30 = 74160 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для нерухомого ФМ з встановленими розробленими модулями без фокліну в грудні складає:

$$1200 \times 1 \times 0,2 \times ((8,2 - 1) \times 0,3 + 1) \times 30 = 22752 \text{ кВт/год}$$

Річна потужність для такого ФМ складає:

$$1200 \times 1 \times 0,2 \times ((12,25 - 4,4) \times 0,3 + 4,4) \times 365 = 591738 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для ФМ з встановленими розробленими модулями в червні складає:

$$1440 \times 1 \times 0,2 \times ((13,3 - 8,8) \times 0,4 + 8,8) \times 30 = 0,2 \times 457920 = 91584 \text{ кВт/год}$$

Місячна потужність для ФМ з встановленими розробленими модулями в грудні складає:

$$1440 \times 1 \times 0,2 \times ((8,2 - 1) \times 0,4 + 1) \times 30 = 0,2 \times 167616 = 33523,2 \text{ кВт/год}$$

Річна потужність для такого ФМ складає:

$$1440 \times 1 \times 0,2 \times ((12,25 - 4,4) \times 0,4 + 4,4) \times 365 = 0,2 \times 3963024 = 792604,8 \text{ кВт/год}$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 Потужність ФМ за різними видами монтажу

Тип ФМ	Нерухомий ФМ		Рухомий ФМ		Розроблений модуль	
	45°	90°	45°	90°	Без фокліну	З фокліном
В червні	48122	40216	68746	57451	74160	91584
В грудні	13043	15623	16358	22321	22752	33523,2
Річна	370013	369481	528599	496586	591738	792604,8

З результатів наведених у таблиці 2.6 можна побачити, що потужність, що виробляється ФМ на якій закріплено розроблений модуль без фокліну більше ніж вироблена рухомими ФМ на 15-18% в залежності пори року. При наявності працюючого фокліну це явище значно збільшується.

Фоклін концентруючи розсіяні сонячні промені допомагає не тільки збільшити коефіцієнт глобального освітлення на 20%, а також і сприяє поліпшенню роботи у пахмурну погоду збільшуючи коефіцієнт з 0,3 до приблизно 0,4.

Різниця енергії ФМ встановленої під 90 градусів щодо лінії горизонту є менш ефективним на 2-5% ніж під 45 градусів і майже вдвічі менше розробленого модулю.

Різниця між рухомими та нерухомими ФМ складає майже 30%, причиною цього є постійне забруднення поверхні ФМ снігом, пилом, дощем. Такої ситуації не трапляється з рухомими ФМ тому виробка енергії в них більше.

Подальші дослідження фотоелектричних параметрів сонячного модуля можна проводити за допомогою створеного модулю програмники методами при підключення ПК та модулю до ФМ.

## 2.7 Висновки розділу 2

У другому розділі на основі проведеного аналізу і дослідження встановили:

- контролер Arduino Nano 3 є найдоцільнішим для виконання конструкції модулю та вибрали модулі і сервоприводи для реалізації функцій автоматизації роботи ФМ;

- створена апаратна реалізація модулю автоматизованого контролю розділена на два пристрої: кліматичний і автоматизації, для можливості підключення ФМ до модулю у якості масивів;

- при провадження розрахунку надійності модулю автоматизованого контролю отримано напрацювання на відмову в 69516,85 год що більше заданого у ТЗ 10000 год;

- при розрахунку собівартості модулю автоматизованого контролю в результаті отримали, що собівартість модулю не перевищує 3000 грн, задовольнив умову вартості з ТЗ;

- використання розробленого модулю з фоклінами є найдоцільнішим способом збільшення виробничої потужності ФМ у будь якій точці світу чи кліматичних умовах. Завдяки наявності руху та нахилу ФМ можна уникнути зменшення ефективності роботи ФМ із-за забруднення її поверхні.

### 3 РОЗРОБКА ПРОШИВКИ МОДУЛЮ

3.1 Вибір середовища програмування та розробка алгоритму роботи програми

Програмне забезпечення складається з трьох основних частин: прошивки пристрою автоматизації, прошивки пристрою оптимізації і програма для ПК.

Для розробки прошивки контролерів Ардуїно використано програмний продукт Fritzing. Перевагою розробки коду в середовищі Fritzing для плат ардуїно є підтримка усіх офіційних модифікацій контролерів ардуїно, в тому числі і Нано, а також можливість оперативного завантаження ПЗ безпосередньо до пам'яті контролера.

Розробка будь-якого програмного забезпечення починається зі складання відповідного алгоритму. Розроблено алгоритм роботи програми пристрою оптимізації (рис. 3.1) та пристрою автоматизації (рис. 3.2) [17].



Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи ПЗ пристрою оптимізації

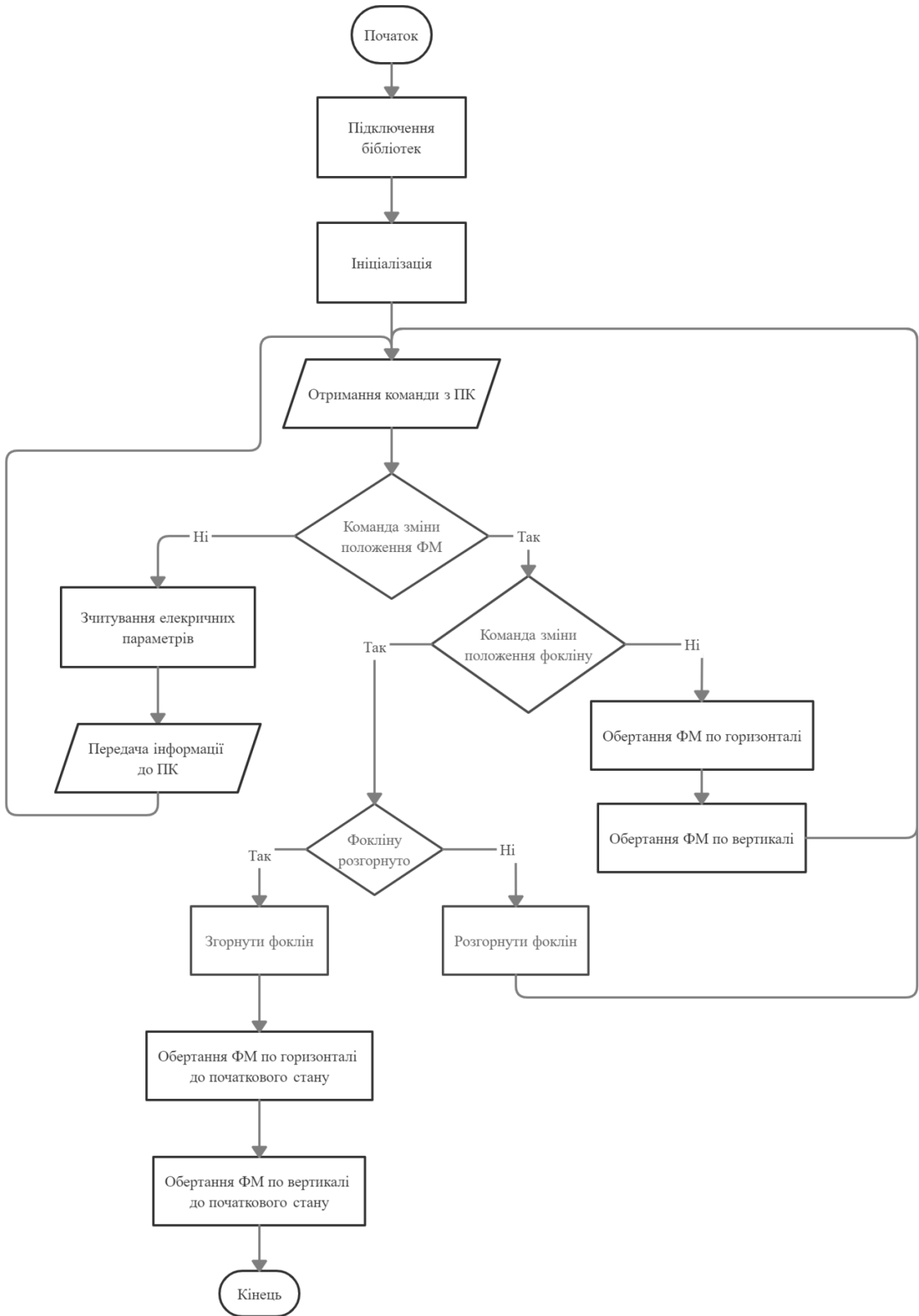


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи ПЗ пристрою автоматизації

### 3.2 Написання прошивки кліматичного пристрою

Проаналізувавши завдання і визначивши функції пристрою, які необхідно реалізувати, можливо перейти до написання коду програми. Для початку необхідно оголосити всі необхідні бібліотеки, а далі змінні та глобальні функції.

Ініціалізація контролеру проводиться за допомогою команд без режиму переривання. Підключення бібліотек:

```
#define ARDUINO_NANO 1
#include <Servo.h>
#include <iarduino_DHT.h>
iarduino_DHT sensor(2);
// Пін датчика DHT11
Далі проводиться оголошення змінних:
int ugol_baza;
// Кут руху сервоприводу.
int ugol_kran;
// Кут нахилу датчика.
string data;
// Значення кліматичних умов.
Servo baza;
// Сервопривід що рухає базу пристрою.
Servo kran;
// Сервопривід що рухає світлочутливий датчик.
int osveshennost;
// Параметр освітленості.
Оголошення основної програми:
void setup()
{
  Nastrojki();
```

```

// Сброс циклів із збережених параметрів.
Serial.begin(9600);
// Початок прийняття даних з ПК.
while(true)
{
data = sensor.hum + "% - " + sensor.tem + "*C";
//Зчитування кліматичного модулю.
Serial.println(data);
//Відправлення даних кліматичного модулю до ПК.
delay(0.1*1000);
Uvelichenie_ugla_bazi(360);
// Команда повороту бази пристрою.
delay(1*1000);
Uvelichit_ugol_kran(90);
// Команда нахилу датчику.
delay(1*1000);
}
}
Оголошення функції зміни кута датчика освітленості по горизонталі:
void Uvelichenie_ugla_bazi(int alfa)
{
while(ugol_baza < 360)
{
ugol_baza = ugol_baza + 1;
baza.write(ugol_baza);
// Зміна кута сервопривода 1
delay(0.01*1000);
}
Ugol_baza=0;
}
Оголошення функції зміни кута датчика освітленості по вертикалі:

```

```

void Uvelichit_ugol_kran(int alfa)
{
while(ugol_kran < alfa)
{
ugol_kran = ugol_kran + 1;
kran.write(ugol_kran);
// Зміна кута сервопривода 2.
delay(0.01*1000);
}
ugol_kran=0;
}

```

Опис змінних для збросу циклів звороту датчика освітленості:

```

void Nastrojki()
{
ugol_baza = 0;
ugol_vertical = 0;
osveshennost = 0;
}

```

Зняття показань та їх відправлення до ПК проходять постійному нескінченному циклі. Також у цикл включено постійний оберт датчику освітленості:

```

void loop ()
{
Serial.read ();
osveshennost = analogRead(0);
Serial.print(osveshennost);
Serial.print(":");
Serial.print(ugol_baza);
Serial.print(":");
Serial.print(ugol_kran);
delay(0.02*1000);
}

```

```

Uvelichenie_ugla_bazi(1);
delay(1*1000);
Uvelichit_ugol_kran(2);
delay(1*1000);
}

```

В результаті отримуємо вказівки у вигляді: Освітленість : Кут повернення сервоприводу 1 : Кут нахилу сервоприводу 2. Наприклад: 900:320:95. Значення цих кутів надалі буде відправлено до пристрою автоматизації після обробки у ПЗ для ПК.

### 3.3 Написання програми пристрою автоматизації

Працюючи в середовищі Fritzing створено прошивку для пристрою автоматизації.

Підключення бібліотек знаходиться без змін. Проводиться оголошення змінних.

```

#define ARDUINO_NANO 1
#include <Servo.h>
#include <Ultrasonic.h>

Servo focl1;
Servo focl2;
Servo focl3;
Servo focl4;

// Сервоприводи, що попарно рухатимуть фокліни.
Servo baza1;
Servo baza2;

// Сервоприводи, що попарно рухатимуть базу ФМ.
Servo kran1;
Servo kran2;

// Сервоприводи, що попарно нахилитимуть ФМ.

```

```
int tok;
// Значення струму.
int data;
int ugol_baza1;
int ugol_baza2;
// Кути повороту ФМ.
int ugol_kran1;
int ugol_kran2;
// Кути нахилу ФМ.
int ugol_focl;
int ugol_focl2;
// Кути розгортки фокліну.
int ugol_baza0;
int ugol_kran0;
int ugol_focl0;
Ініціалізація основної програми:
void setup()
{
  Nastrojki();
  Serial.begin(9600);
  while(true)
  {
    tok = analogRead(0);
    //отримання електричних параметрів ФМ.
    delay(0.1*1000);
    Serial.println(tok);
    //відправлення електричних параметрів ФМ до ПК.
    delay(0.1*1000);
  }
}
```

Опис змінних для сбросу циклів основної функції:

```

void Nastrojki()
{
  ugol_baza0 = 0;
  ugol_kran0 = 0;
  ugol_focl0 = 0;
  tok = 0;
}

```

Опис функції для обернення ФМ по горизонталі за годинниковою стрілкою:

```

void baza1(int alfa)
{
  ugol_baza1 = ugol_baza1 + 1;
  ugol_baza2 = - ugol_baza1;
  ugol_baza0 = ugol_baza0 + ugol_baza1;
  baza1.write(ugol_baza1);
  // Рух сервоприводу 1 за годинниковою стрілкою.
  baza2.write(ugol_baza2);
  // Рух сервоприводу 2 протилежно від сервоприводу 1.
  delay(1*1000);
}
}

```

Опис функції для обернення ФМ по горизонталі проти годинникової стрілки:

```

void baza2(int alfa)
{
  ugol_baza1 = ugol_baza1 - 1;
  ugol_baza2 = - ugol_baza1;
  ugol_baza0 = ugol_baza0 + ugol_baza1;
  baza1.write(ugol_baza1);
  baza2.write(ugol_baza2);
  delay(0.01*1000);
}

```

```
}
```

```
}
```

Опис функції для обернення ФМ по вертикалі за годинниковою стрілкою:

```
void kran1(int alfa)
{
    ugol_kran1 = ugol_kran1 + 1;
    ugol_kran2 = - ugol_kran1;
    ugol_kran0 = ugol_kran0 + ugol_kran1;
    kran1.write(ugol_kran1);
    kran2.write(ugol_kran2);
    delay(0.01*1000);
}
}
```

Опис функції для обернення ФМ по вертикалі за годинниковою стрілкою:

```
void kran2(int alfa)
{
    ugol_kran1 = ugol_kran1 - 1;
    ugol_kran2 = - ugol_kran1;
    ugol_kran0 = ugol_kran0 + ugol_kran1;
    kran1.write(ugol_kran1);
    kran2.write(ugol_kran2);
    delay(0.01*1000);
}
```

Опис функції розгортки фокліну:

```
void focl1(int alfa)
{
    ugol_focl1 = ugol_focl1 + 1;
    ugol_focl2 = - ugol_focl1;
    ugol_focl0 = ugol_focl0 + ugol_focl1;
    focl1.write(ugol_focl1);
    focl2.write(ugol_focl2);
}
```

```
focl3.write(ugol_focl1);  
focl4.write(ugol_focl2);  
delay(0.01*1000);  
}
```

Опис функції згортки фокліну:

```
void focl2(int alfa)  
{  
    ugol_focl1 = - ugol_focl0;  
    ugol_focl2 = ugol_focl0;  
    ugol_focl0 = ugol_focl0 + ugol_focl1;  
    focl1.write(ugol_focl1);  
    focl2.write(ugol_focl2);  
    focl3.write(ugol_focl1);  
    focl4.write(ugol_focl2);  
    delay(0.01*1000);  
}
```

Опис команди сбросу стану ФМ та повернення у початкове положення.

```
void resetty()  
{  
    baza1.write(ugol_baza0);  
    baza2.write(- ugol_baza0);  
    delay(1*1000);  
    kran1.write(ugol_kran0);  
    kran2.write(- ugol_kran0);  
    delay(1*1000);  
    focl1.write(ugol_focl0);  
    focl2.write(- ugol_focl0);  
    focl3.write(ugol_focl0);  
    focl4.write(- ugol_focl0);  
    delay(1*1000);  
}
```

Створення нескінченного циклу для моніторингу та оголошення  
обернення серводвигунів.

```
void loop ()
{
data = Serial.read();
delay(1*1000);
if (data = 1)
{
baza1();
}
else if (data = 2)
{
baza2()
}
else if (data = 3)
{
kran1()
}
else if (data = 4)
{
kran2()
}
else if (data = 5)
{
focl1()
}
else if (data = 6)
{
focl2()
}
else if (data = 7)
```

```
{  
resetty()  
}  
delay(1*1000);  
}
```

### 3.4 Висновки розділу 3

У третьому розділі на основі проведеної розробки:

– створено алгоритми роботи прошивки контролерів Arduino 3, обрано середовища програмування.

– розроблена прошивка кліматичного пристрою з якої отримуємо результат на ПК у вигляді: Освітленість : Кут повернення сервоприводу 1 : Кут нахилу сервоприводу 2. Наприклад: 900:320:95. Значення цих кутів надалі буде відправлено до пристрою автоматизації після обробки у ПЗ для ПК.

– розроблено ПО для пристрою автоматизації при команді рухатиме ФМ, змінювати його кут нахилу щодо горизонту, розгортати фокліни для концентрування сонячного випромінювання, зніматиме електричні параметри з ACS712-20A та надсилатиме їх для обробки до ПК.

## 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗБЕЧЕННЯ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРА

### 4.1 Структура програмного забезпечення

Програмне забезпечення має включати в себе основні функції, такі як підключення до модуля, управління навантаженням каналів, графічне відображення зміни параметрів ВАХ, управління режимами модулю, встановлення щоденних таймерів, калібрування та інші.

Створена структура головного вікна програми (рис. 4.1).

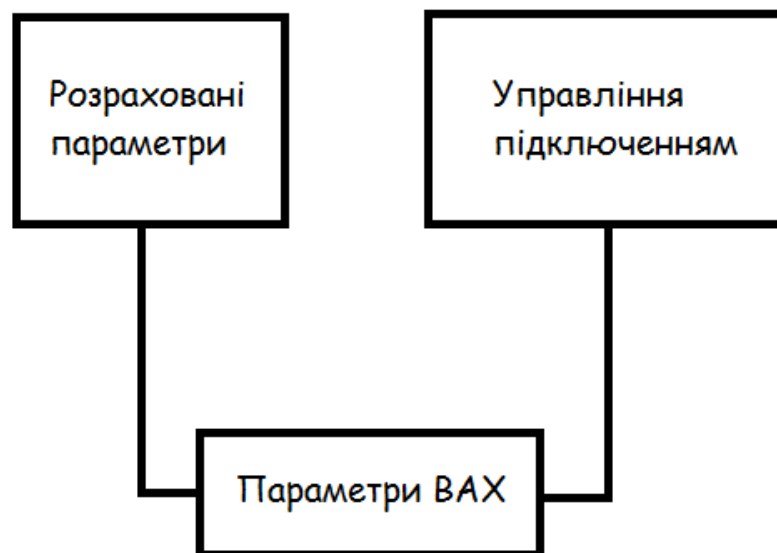


Рисунок 4.1 – Структура головного вікна ПЗ

Програма має надавати користувачеві простий і зрозумілий інтерфейс взаємодії з пристроєм, який дозволить користувачеві легко орієнтуватися та вибирати необхідні параметри роботи ФМ [18]. Тому розділено програму на три блоки:

- управління підключенням;
- параметри ВАХ;

– розраховані параметри.

Після цього створено структуру вікна режимів роботи (рис.4.2).

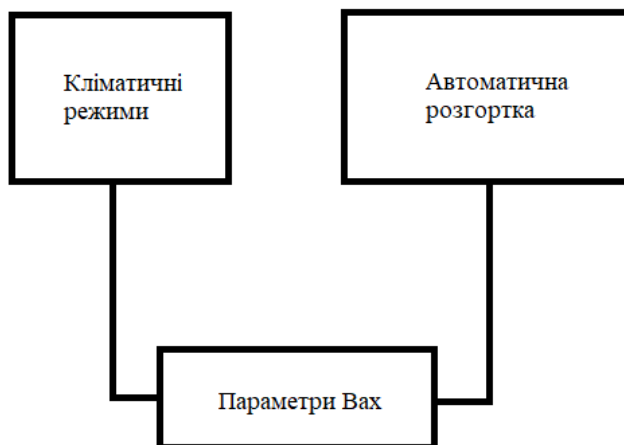


Рисунок 4.2 – Структура вікна режимів роботи

У вкладці Режими роботи мають бути реалізовані наступні пункти:

- кліматичний режим;
- автоматична перевірка клімату;
- режим Освітленості;
- авторозгортка;
- додаткові параметри.

Створено структуру масиву таймерів (рис. 4.3).

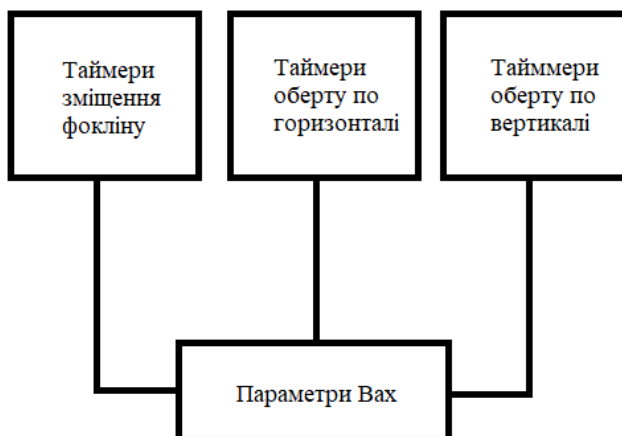


Рисунок 4.3 – Структура вікна масиву таймерів

У вкладці Масиву таймерів мають бути реалізовані наступні пункти:

- підключення масивів;
- таймер зміщення фокліну;
- таймер зміщення оберту ФМ по горизонталі;
- таймер зміщення нахилу ФМ по вертикалі;

Створено структуру вікна калібрувань (рис. 4.4).

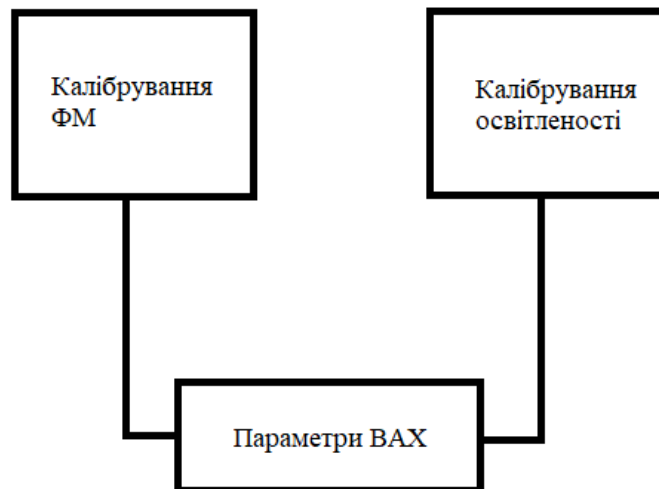


Рисунок 4.4 – Структура вікна калібрування

У вкладці Калібрування мають бути реалізовані наступні пункти:

- калібровка освітленості;
- розрахунок коефіцієнтів ВАХ, ККД та FF;
- еталонні та розраховані значення коефіцієнтів;

#### 4.2 Вибір середовища програмування

Програмне забезпечення розроблено в програмному середовищі Microsoft VS 17 за допомогою бібліотеки Microsoft Foundation Classes (MFC)v142 для Windows 10.

Microsoft Visual Studio – лінійка програмних комплексів компанії Microsoft, що включають інтегроване середовище для розробки програмного

забезпечення і ряд інших інструментальних засобів. Дані продукти дозволяють розробляти як консольні додатки, так і додатки з графічним інтерфейсом, а також веб-сайти, веб-додатки, веб-служби як в C++, так і в керованих кодах для всіх платформ, підтримуваних Xbox, Windows, Windows CE, Windows Mobile, .NET Framework, Windows Phone .NET Compact Framework та Silverlight [19–20].

Visual Studio включає в себе редактор вихідного коду з підтримкою технології IntelliSense і можливістю найпростішого рефакторінга та дебагування коду. Вбудований відладчик працює як відладчик рівня вихідного коду, так і як відладчик машинного рівня програмування. Решта вбудованих інструментів включають в себе редактор форм для спрощення створення графічного інтерфейсу додатку, веб-редактор, дизайнер класів і дизайнер схеми бази даних та багато інших. Visual Studio дозволяє створювати і підключати сторонні додатки (плагіни) для розширення функціональності практично на кожному рівні, включаючи додавання підтримки систем контролю версій вихідного коду (наприклад, Subversion і Visual SourceSafe), додавання нових наборів інструментів (наприклад, для редагування і візуального проектування коду на предметно-орієнтованих мовах програмування) або інструментів для інших аспектів процесу розробки ПЗ (наприклад, клієнт Team Explorer для роботи з Team Foundation Server) [21].

Бібліотеки MFC ефективно використовувать концепцію об'єктно-орієнтованого програмування, на відміну від підходу WinAPI, який орієнтовано на класичну мову C.

Абревіатуру MFC (Microsoft Foundation Classes) можна перекласти як Базові класи Microsoft [22].

MFC є набором класів C++, створених для реалізації функціональних можливостей програмних додатків, написаних Microsoft для операційних систем Windows 1, 8 та 10, але також може бути використано для Windows XP та Vista у режимі зворотної підтримки.

Бібліотека MFC містить більше 200 класів. MFC призначена для спрощення процесу програмування. Це спрощення, головним чином, полягає у

багаторазовому використанні одного й того ж самого коду, реалізації компонентів графічного інтерфейсу Windows (вікна, елементи керування, графічні пристрої та ін.), як об'єктів мови програмування C++, у реалізації функцій компонентів Windows [23–24].

### 4.3 Загальний опис програми «SolarControll 2020»

Розроблено інтерфейс програми керування SolarControll 2020 (рис.4.5).

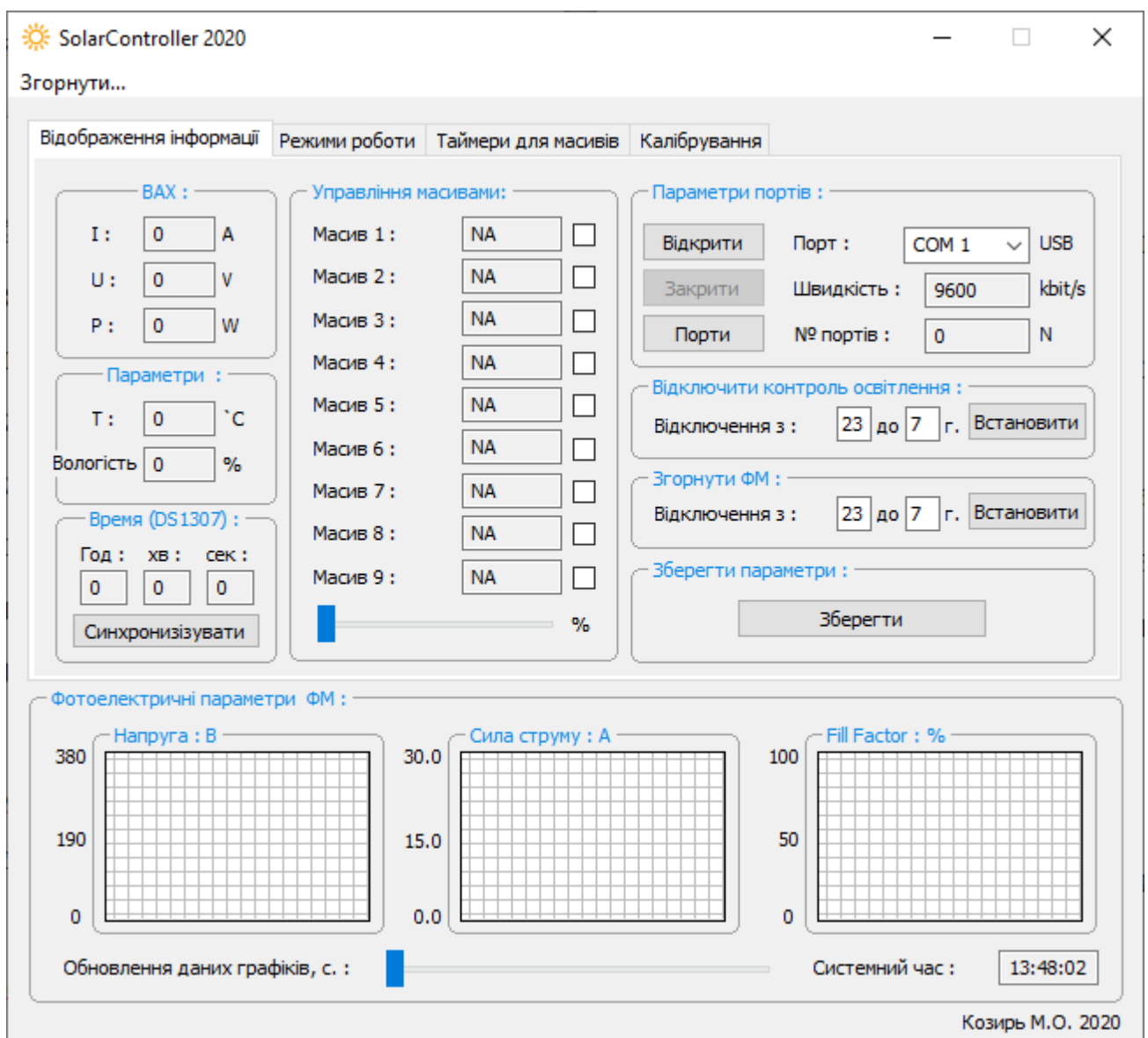


Рисунок 4.5 – Інтерфейс програми SolarController 2020  
(відображення інформації)

Розглянемо функціонал блоків ПЗ.

ВАХ:

- I середня сила струму між масивами, Ампер;
- U середня напруга між масивами, Вольт;
- P середня потужність між масивами, Ватт.

Параметри :

- T поточна температура навколишнього середовища, °C;
- Вологість повітря, %.

Время (DS1307):

- Поточний час записаного в елементу;
- Кнопка синхронізації часу зчитує при підключенні однойменного модулю, але при відсутності даного записується в пам'ять усіх підключених контролерів Ардуїно.

Управління масивами проходить шляхом перемикання флагової комірки та відображує поточну робочу потужність ФМ у масивах. Бігунок виконує функцію контролю коефіцієнту відмінності потужності підключених масивів і вмикає автоматичну корекцію положення ФМ коли відмінність перевищує певну задану межу.

Параметри портів дозволяють автоматично вибрати та прослідкувати роботу та переглянути статус будь якого з портів підключення модулю. Одночасно до програми можуть бути підключені до 9 модулів або їх масивів. Налаштування USB порту дозволяє вручну відкрити та закрити порт, прослідкувати швидкість підключення та кількість підключених портів.

Відключення контролю освітлення дозволяє встановити час в який всі датчики освітлення контролеру будуть вимкнені для всіх масивів.

Згорнути ФМ дозволяє встановити час в який буде автоматично згортатися і розгортатися фоклін у всіх масивах.

Зберегти налаштування в пам'ять дозволяє кнопка Зберегти.

Фотоелектричні параметри відображаються у всіх вікнах внизу програми:

- графік напруги за знятими показаннями;
- графік сили струму за знятими показаннями;

- графік коефіцієнту заповнення;
- бігунок налаштування часу зняття показань встановлює інтервал зняття показань з пристрою автоматизації;
- системний годинник;
- автор ПЗ та рік створення.

Створено інтерфейс вкладки Режими роботи (рис. 4.6).

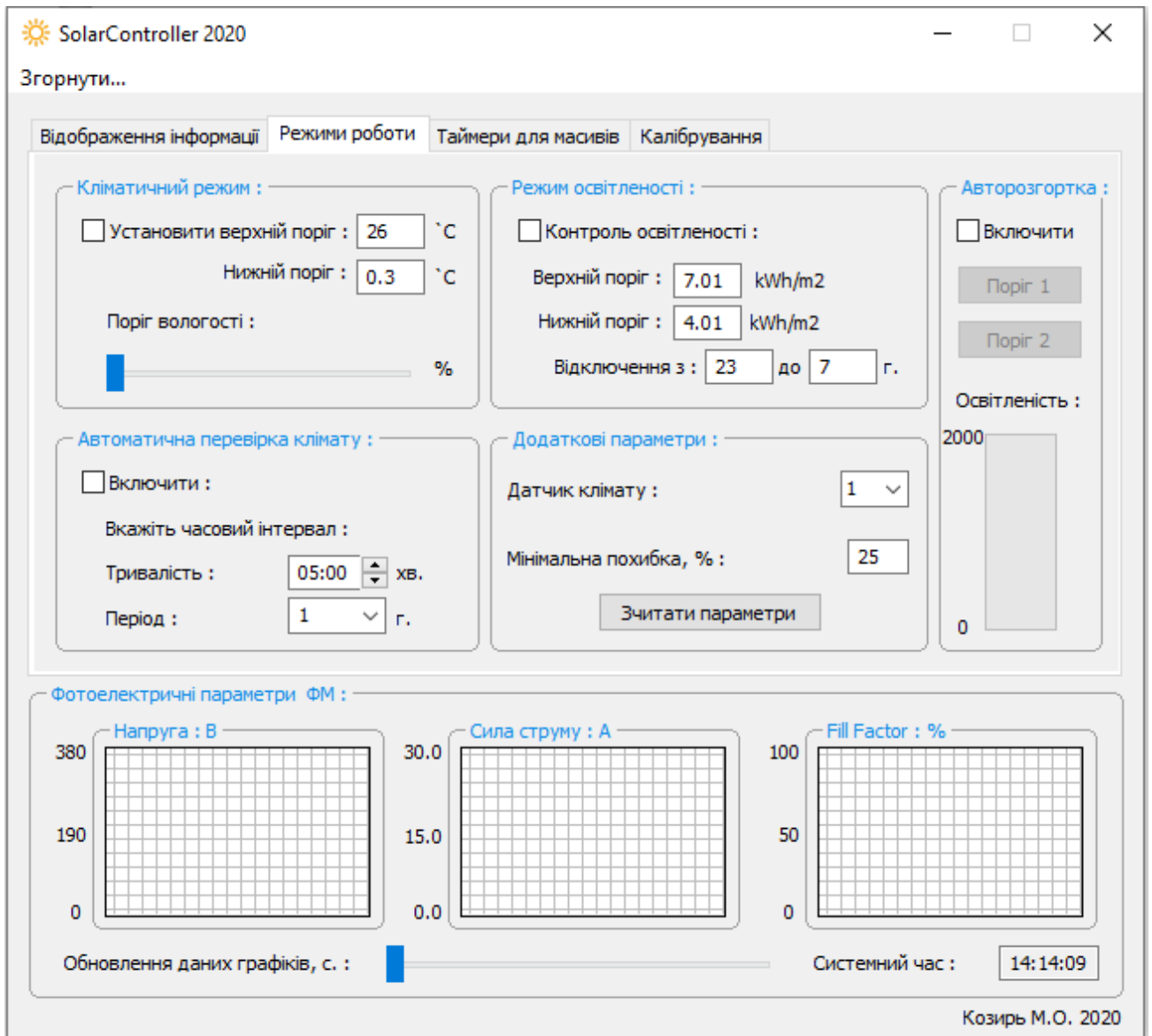


Рисунок 4.6 – Інтерфейс програми SolarController 2020 (Режими роботи)

Функціонал сторінки Режим роботи розподілено між 5 блоками.

Кліматичний режим існує для контролю автоматичного вимкнення системи при наявності екстремальних умов експлуатації, шляхом згортання

всіх масивів і вимкнення їх контролерів у випадку коли параметри температури або вологості навколишнього середовища виходять заздалегідь задані рамки.

Автоматична перевірка клімату встановити інтервали автоматичної перевірки кліматичних параметрів та його тривалість.

Режим освітленості дозволяє встановити максимальні і мінімальні параметри освітленості для автоматичного вимкнення ФЧ для збереження його від своєчасного руйнування.

Додаткові параметри дозволяють обрати пристрій оптимізації з якого будуть зніматися кліматичні показники, поріг помилки між двома пристроями при якому буде використано їх середнє арифметичне та зчитати параметри вручну у будь який час.

Авторозгортка передбачає два режими роботи ФЧ з заздалегідь збереженими параметрами кліматичних порогів, порогів освітленості та ін. Також відображено стовпець освітлення в якому графічно зображено середнє значення освітленості на даний момент.

Створено інтерфейс вкладки Таймери для масивів (рис. 4.7).

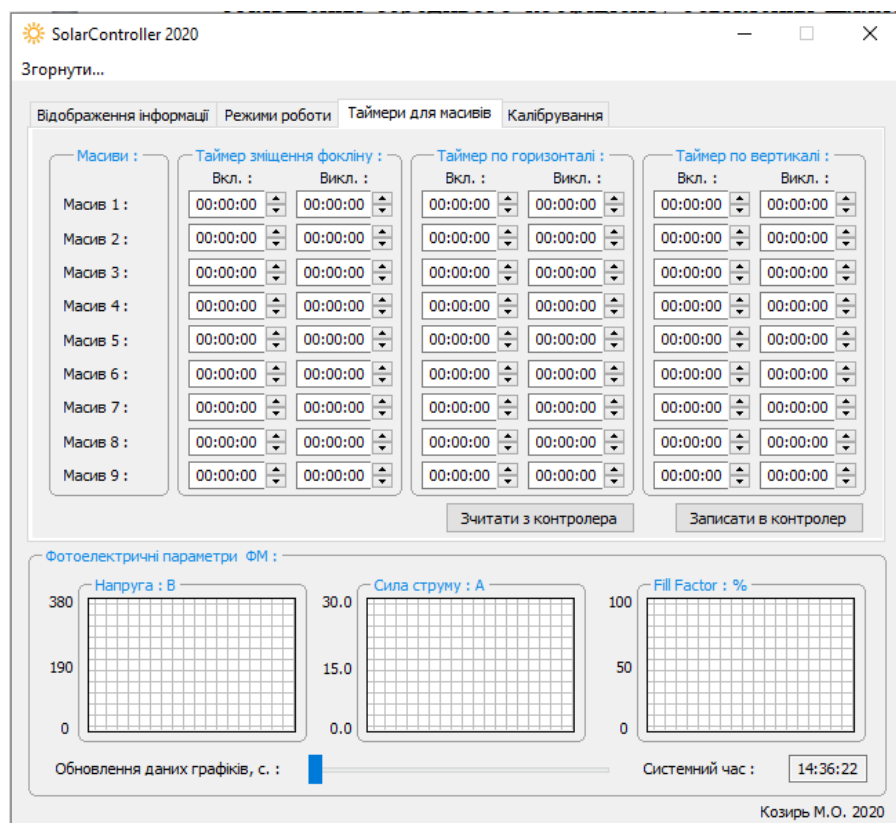


Рисунок 4.7 – Інтерфейс програми SolarController 2020  
(Таймери для масивів)

У вікні Таймери для масивів відображено поточні дані ввімкнення та вимкнення різних частин ФЧ. За допомогою двох кнопок в нижній частині листа можливо не тільки зберігати параметри таймерів встановлених у інтерфейсі в пам'ять контролерів, а також і зчитувати їх з вже підключених пристроїв автоматизації.

Створено інтерфейс вкладки Калібрування (рис. 4.8).

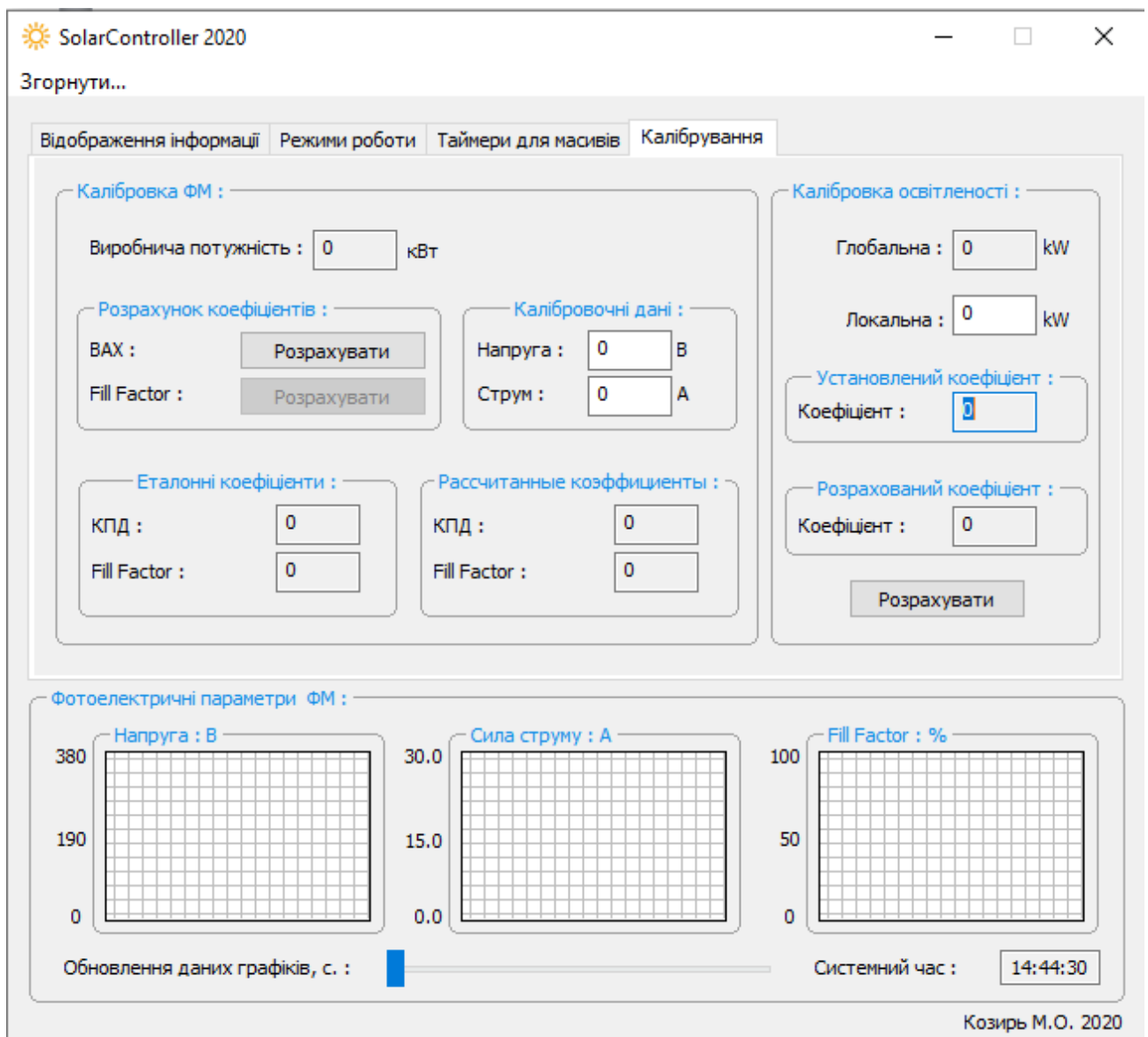


Рисунок 4.8 – Інтерфейс програми SolarController 2020 (Калібрування)

На вікні Калібрування проходять розрахунки різних коефіцієнтів таких, як ККД, FillFactor, ВАХ за внесеними, еталонними та знятим та вже розрахованими даними.

Програму SolarController 2020 можна згорнути в трей за допомоги верхнього меню. Після цього її можливо розвернути з трею або вибрати пункт Про програму для того щоб побачити вікно About (рис. 4.9).

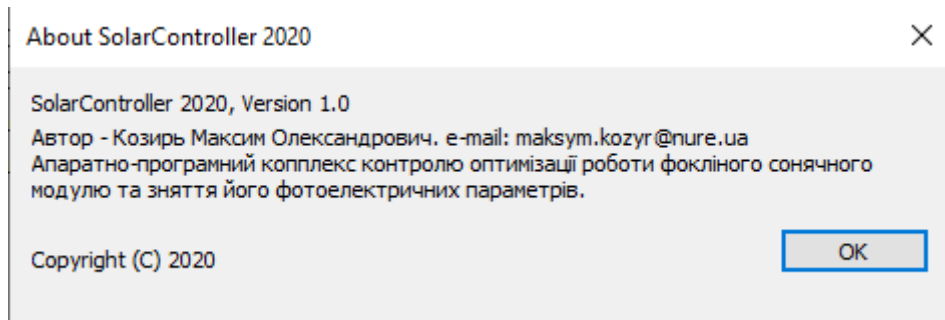


Рисунок 4.8 – Інтерфейс програми SolarController 2020 (About)

#### 4.4 Висновки розділу 4

У четвертому розділі:

– створили програмне забезпечення для ПК SolarController 2020, що включає в себе основні функції, такі як підключення до модуля, управління навантаженням каналів, графічне відображення зміни параметрів ВАХ, управління режимами модулю, встановлення щоденних таймерів, калібрування та інші.

– інтерфейс розробленого програмного забезпечення розділено на 4 вкладки: “Відображення інформації”, “Режими роботи”, “Таймери для масивів”, “Калібрування”.

– при будь якій відкритій на момент вкладці можна бачити графіки фотоелектричних параметрів підключених сонячних модулів у реальному часі внизу програми. Також наявна функція виклику справки About SolarController 2020 та згортка програми в трей.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Промислова безпека в лабораторії

Живлення комп'ютерів здійснюється від трифазної електричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 380/220 В з робочою частотою в 50 Гц.

Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 робоче місце можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, оскільки в приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом у приміщенні застосовується заземлення та захисні щитки безпеки.

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05 проводиться вступний, первинний на робочому місці, повторний, цільовий і позаплановий інструктажі. Зміст інструктажу відповідає вимогам НПАОП 0.00-4.12-05. Факт проведення інструктажу відзначається у відповідних журналах з підписами інструктованих і інструкторського персоналу.

Безпечна напруга – це напруга не більше 48 В змінного струму та не більше 120 В постійного струму, що застосовується в електричних ланцюгах для зменшення небезпеки серйозного ураження електричним струмом. Найбільший ступінь безпеки досягається за напруги до 12 Вольт, але виробництві частіше використовують мережі напругою 12 Вольт та 36 Вольт. Для створення таких невеликих показників напруги, використовують знижувальні трансформатори.

Розгалужена електрична мережа великої протяжності, має значну ємність і невеликий опір фаз відносно землі тому навіть короткочасний дотик до 1 фази є дуже небезпечним для здоров'я людини. Якщо єдину мережу розділити на декілька невеликих мереж такої ж напруги, то небезпека життю різко

знижується. Захисне розділення електромереж допускається лише для мереж до 1000 Вольт тому зазвичай, поділ мереж здійснюється шляхом приєднання окремих електроустановок крізь роздільні перетворювачі. Шар діелектрика, яким покривають поверхню струмопровідних елементів, або конструкція з непровідного матеріалу, для відокремлення струмопровідних частин від інших частин електрообладнання, називається електричною ізоляцією. Опір ізоляції завжди має бути не менше за 0,5 МОм.

Види ізоляції:

- робоча електрична ізоляція струмовідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;
- додаткова електрична ізоляція, що передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження або руйнування робочої ізоляції;
- подвійна ізоляція, яка складається з обох;
- посилена або поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує захист від ураження електричним струмом не менше ніж подвійна ізоляція, маючи найвищу безпеку при використанні.

Протипожежна профілактика розробляє заходи, що спрямовані на запобігання пожеж, перекриття шляхів розповсюдження вогню, забезпечення швидкої та безпечної евакуації людей і майна з приміщення та будівель.

## 5.2 Виробнича санітарія в лабораторії

Оптимальні норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень для категорії робіт Ia є наступними відповідно до ДСН 3.3.6.042-99:

- у холодний період: температура 28-32° С, відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря менше або дорівнює 0,1 м/с;
- у теплий період: температура 30-34° С, відносна вологість 40-60 %, швидкість руху менше або дорівнює 0,1 м/с.

Зорова робота користувача ПЗ є роботою високої точності, найменший

розмір об'єкта розрізнення повинен бути не менше 0,3-0,5 мм і розряд зорової роботи – III категорії.

Згідно вимог ДБН В.25-28-2006 величина коефіцієнта природного освітлення дорівнює двум відсоткам. Природне світло проникає до приміщення через бічні вікна, що відповідає вимогам, а штучне освітлення встановлено у вигляді суцільних або переривчастих ліній світильників, розташованих паралельно з лініями зору операторів. Освітленість під час роботи за екраном, у поєднанні з роботою над документами не менше 300 лк. В якості джерел світла застосовані люмінесцентні лампи. [25]

При впровадженні розробленого технологічного процесу механічної обробки деталі у виробництво, існуватиме пилове забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я працівників та довговічність обладнання. Однак, використання місцевої та загально-обмінної (природної та механічної) систем вентиляції, які забезпечують високий ступінь очищення відпрацьованого повітря від шкідливих домішок, за рахунок його багатоступеневого очищення у відповідних пристроях, дозволяє досягнути істотного покращення складу повітряного середовища виробничого приміщення.

Одним з варіантів контролювання температурних показників, а також різноманітних повітряних забруднень є використання системи кондиціонування.

### 5.3 Висновки розділу 5

У п'ятому розділі:

– розглянули вимоги НПАОП 0.00-4.12-05 створення безпечних умов праці та необхідні ряди організаційних і технічних заходів для їх реалізації. Безпечну напругу роботи та можливі небезпечні джерела ураження та як уникнути їх за допомогою ізоляції проводів та дотримання норм поведінки.

– розглянули правила та положення санітарії у лабораторії відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 та ДБН В.25-28-2006.

## ВИСНОВКИ

У атестаційній роботі розроблено модуль автоматизації зняття фотоелектричних параметрів з кремнієвого фокліного сонячного модуля на базі контролера Ардуіно.

Проведено аналіз аналогічних пристроїв та систем. Ознайомившись з літературними джерелами розглянув можливості оптимізації роботи сонячного модулю за допомогою додання фоклінів та збільшення середнього коефіцієнту освітлення шляхом обертання сонячного модулю у положення з оптимальним кутом, щодо сонця. На підставі чого була розроблена структурна частина модулю автоматизації зняття фотоелектричних параметрів з кремнієвого фокліного сонячного модуля на базі контролера Ардуіно Нано.

Розроблений програмний модуль розділено на три частини: прошивка для пристрою автоматизації, прошивка для кліматичного пристрою, а також програмне забезпечення для ПК.

Проведена апаратна реалізація віртуальних макетів розроблених пристроїв, розрахунок надійності та економічних параметрів модулю, а також досліджені фотоелектричні параметри ФМ з урахуванням підвищеної ефективності роботи завдяки розробленому модулю. Функціонал та завдання встановлені у ТЗ були розроблені та виконані, а всі вимоги до габаритів та інших параметрів дотримані.

Атестаційна робота була спрямована на розробку модулю автоматизованого контролю, який дозволить не тільки знімати показання, а також контролювати основні параметри і роботу сонячного модулю. Актуальність теми так само залишає простір для модернізації модулю та ПЗ, шляхом додання наступних покращень:

- зв'язок через Ethernet / Wi-Fi з організацією HTTP-сервера;
- наявність зовнішньої клавіатури для аварійного відключення або активації керованих каналів;
- можливість установки в один зі стандартних корпусів;

- розширення ПЗ шляхом додання нового функціоналу;
- створення бази даних в якій автоматично будуть занесені усі параметри;
- наявність можливості викликати “Допомогу” в якій чітко та лаконічно вказується весь функціонал модулю, а також крок-за-кроком інструкція про встановлення розробленого модулю до СЕС.

Аналіз існуючих аналогів дозволив чітко визначити основні характеристики, якими повинен мати розроблювальний модуль автоматизованого контролю.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Титко Р.П. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) [Текст] / Р.П. Титко, В.В. Калініченко : Видавництво OWG. Варшава, 2010. – 533 с.
2. Мищенко С. В. Пробоотбор в системах контролю показателів качества продукции [Текст] / С. В. Мищенко, М. М. Мордасов, А. В. Трофимов. – Тамбов : Издательство ТГТУ, 2003. – 125 с.
3. Невлюдов І.Ш. Методичні вказівки до магістерської атестаційної роботи [Текст] / В.А. Палагін, Є.А. Разумов-Фризюк, І.В. Жарікова – Мю: Харків, 2011. 53 с.
4. Основи наукових досліджень [Текст]: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
5. Васильев А.М. Полупроводниковые фотопреобразователи [Текст] / А.М. Васильев, А.П. Ландсман – М.: Сов. радио, 2001. – 246 с.
6. Мачулін В.О. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України [Текст] / В.О. Мачулін, В.Н. Литовченко, М.П. Стріха: Видавництво Вісник Національної академії наук України. Загальнонауковий та громадсько-політичний журнал.— 2011, №5
7. Слипченко Н.І. Комп'ютеризований стенд контролю параметрів елементів сонячних батарей. ІХ Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина та космос». [Текст] / Н.І. Слипченко, В.А. Письменецкий, М.О. Кирилюк, Н.Н.Яновська – М.: Дніпропетровськ 2007. – 268 с.
8. В.І. Бірюлін Автоматизированная система управления небольшой солнечной электростанцией [Текст]
9. Мисак Й. С. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія [Текст] / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Львів: Вид-во Львів.

політехніки, 2014. – 340 с. : іл. – Бібліогр.: с. 323 – 337 (176 назв). – ISBN 978-617-607-597-4

10. Український гідрометцентр – інформаційний центр погоди [] // «<https://meteo.gov.ua//climate/>». – Режим доступу: <https://meteo.gov.ua/ua/34300> – 20.10.2020.

11. Слипченко Н.И. Оперативный контроль параметров фотопреобразователей [Текст] / Н.И. Слипченко, В.А. Письменецкий, Н.Н. Яновская // Восточно–европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2007. – №4/3 (28). С. 39 – 42.

12. Ерохов В.Ю. Поверхнева функціональна мультитекстура для фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії [Текст] / В.Ю. Ерохов : Видавництво Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Научный журнал. – Харків: Технологічний цен

13. Москатов Е. А. Источники питания. [Текст] / Е. А. Москатов – .М: Киев.: "МК-Пресс", СПб.: "КОРОНА-ВЕК", 2011. – 208 с, ил. ISBN 978-5-7931-0846-1 ("КОРОНА-ВЕК") ISBN 978-966-8806-71-1 ("МК-Пресс")

14. Невлюдов І. Ш. Основи виробництва електронних апаратів. [Текст]: навч. посібник / І. Ш. Невлюдов. – Харків : СМІТ, 2009. – 400 с. – ISBN 978-966-2028-21-8.

15. Технічні засоби автоматизації [Текст]: підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, та ін. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

16. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень [Текст] / І. Ш. Невлюдов, В. О. Тимофєєв, В. М. Гурін та ін. - Х. : Компанія СМІТ, 2013. - 289 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 284-289. – ISBN 978-617-621-008-5

17. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами [Текст]: підручник / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 190 с.

18. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерні технології автоматизованого виробництва [Текст] : навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, М. А. Бережна. – Харків : Компанія СМІТ, 2014. – 367 с. : рис. - Бібліогр.: с. 366. – ISBN 978-617-621-

038-2

19. Microchip – сеть разработчиков Atmel [Электронный ресурс] // «<https://www.microchip.com/>». – Режим доступа: <http://ww1.microchip.com/download/en/DeviceDoc/Atmel-8155-8bitMicrocontrollerAVR-ATmega32A.pdf> – Заголовок з екрана на 20.05.2020.

20. ATMEL AVR Studio // AVR RISC microcontrollers handbook / by Claus Kühnel. – USA, 2006. – 146 с.

21. Ник Рендольф, Дэвид Гарднер, Visual Studio 2010 для профессионалов. [Текст] / Майкл Минутилло, Крис Андерсон. – М.: «Диалектика», 2011. – 1184 с.

22. Алекс Макки, Введение в .NET 4.0 и Visual Studio 2010 для профессионалов = Introducing .NET 4.0: with Visual Studio 2010. [Текст] / – М.: «Вильямс», 2010. – 416 с.

23. Карли Уотсон, Visual C# 2008: базовый курс. Visual Studio® 2008 = Beginning Visual C# 2008. [Текст] / Кристиан Нейгел, Якоб Хаммер Педерсен – М.: «Диалектика», 2009. — 1216. с.

24. Майо Д. Самоучитель Microsoft Visual Studio 2010: A Beginner's Guide [Текст]. – С.: «БХВ-Петербург», 2010.– 464 с.

25. Бородін В. НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ Охорона праці. Терміни та визначення основних понять ДСТУ 2293:2014 [Текст] / В. Бородін, В. Каньшин, М. Лисюк : наказ Мінекономрозвитку України від 02 грудня 2014 р. № 1429 з 2015– 05–01