

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет робототехніки та приладобудування

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

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

на тему: «Автоматизована система керування мобільним дахом»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПГ-21

Березенко Ольга Сергіївна _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Павловський Олексій Михайлович _____

Рецензент:

асистент,

Заєць Сергій Сергійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ - 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ДПБ.ПГ-21.01.1730.000 ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДПБ.ПГ-21.01.1730.001 ПЗ	Пояснювальна записка	111	
3	A1	ДПБ.ПГ-21.01.1730.002 СхС	Схема структурна	1	
4	A1	ДПБ.ПГ-21.01.1730.003 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
5	A1	ДПБ.ПГ-21.01.1730.004	Блок-схема алгоритму роботи програмного забезпечення	1	
6	A1	ДПБ.ПГ-21.01.1730.005 СК	Складальний кресленик внутрішнього блоку	1	
7	A3	ДПБ.ПГ-21.01.1730.006	Корпус внутрішнього блоку	1	
8	A3	ДПБ.ПГ-21.01.1730.007	Кришка внутрішнього блоку	1	
9	A4	ДПБ.ПГ-21.01.1730.008 ПЕЗ	Перелік елементів пристрою	1	
10	A1	ДПБ.ПГ-21.01.1730.009 СК	Складальний кресленик зовнішнього блоку	1	
11	A3	ДПБ.ПГ-21.01.1730.010	Корпус зовнішнього блоку	1	
12	A3	ДПБ.ПГ-21.01.1730.011	Кришка зовнішнього блоку	1	
13	A4	ДПБ.ПГ-21.01.1730.012 ПЕЗ	Перелік елементів пристрою	1	

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування мобільним
дахом»**

Київ - 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет робототехніки та приладобудування
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

_____ Березенко Ольга Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проєкту «Автоматизована система керування мобільним дахом», керівник проєкту, к.т.н. доцент Павловський Олексій Михайлович, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту _____ « 05 » червня 2026 р.
3. Вихідні дані до проєкту : Система автоматично проводить моніторинг параметрів мікроклімату та керує рухомим дахом оранжереї; параметри контролю середовища - температура, вологість та рівень освітленості всередині й зовні приміщення; на основі отриманих показників автоматична зміна положення даху для регулювання параметрів середовища; реалізація функції затінення даху за допомогою PDLC-плівки.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; 1. Аналітичний огляд та обґрунтування розробки системи керування мобільним дахом; 2. Проектування архітектури та обґрунтування вибору апаратної частини комплексу; 3. Розробка електричної принципової схеми, алгоритмічного та програмного забезпечення системи; 4. Розробка конструкції корпусу апаратної частини системи; 5. Випробування макетного зразку. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Схема структурна А1; схема електрична принципова А1; блок-схема алгоритму роботи системи А1; складальне креслення внутрішнього блоку А1; складальне креслення зовнішнього блоку А1; деталювання 4*А3; демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt)

6. Консультанти розділів проєкту* (читаємо примітку внизу сторінки)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 20 » квітня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Формування завдання на дипломне проєктування	20.04.2026	
2	Аналіз існуючих рішень за тематикою диплому	25.04.2026	
3	Розробка структурної схеми системи та вибір елементної бази для її реалізації	02.05.2026	
4	Розробка електричної принципової схеми	07.05.2026	
5	Проектування 3D-моделі макета оранжереї та механізму стулки даху	14.05.2026	
6	Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення	18.05.2026	
7	Оформлення текстової та графічної частини дипломного проєкту	30.05.2026	

Студент

(підпис)

Ольга БЕРЕЗЕНКО

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ПАВЛОВСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт на тему «Автоматизована система керування мобільним дахом» присвячений розробці автономного комплексу для підтримки та стабілізації мікроклімату в оранжереях і теплицях. Актуальність роботи зумовлена необхідністю надійного захисту агрокультур від раптових змін погодних умов, екстремальних температур та шкідливого ультрафіолетового випромінювання за допомогою доступних засобів сучасної електроніки.

Основною метою дослідження стало проєктування апаратної архітектури та розробка програмного забезпечення для модульної системи автоматизації. У рамках роботи було створено алгоритм, який у режимі реального часу аналізує різницю зовнішніх та внутрішніх метеорологічних показників, логічно перетворюючи їх у безпечні керуючі команди для електромеханічного приводу стулки даху та динамічного затінення за допомогою смарт-плівки (PDLC). Запропоновано структурну та електричну принципову схеми керуючого комплексу. До апаратної бази увійшли керуючий мікроконтролер, розгалужений масив цифрових та аналогових датчиків (опадів, освітленості, вологості, температури повітря), силовий драйвер керування двигуном, модуль реле та підсистема стабілізації живлення. У роботі додатково спроектовано панель користувацького інтерфейсу з OLED-дисплеєм для локального моніторингу та ручного керування.

Розроблена система має практичне значення як діючий прототип для створення надійних та енергоефективних кліматичних рішень. Інтегровані апаратні запобіжники та продумана логіка екстреного скидання тепла здатні суттєво знизити ризики втрати врожаю та забезпечити повну автономність експлуатації об'єкта.

Ключові слова: автоматизована система керування, мікроклімат, оранжерея, мобільний дах, мікроконтролер, сенсорна мережа, смарт-плівка (PDLC), автоматизація, датчики мікроклімату.

ABSTRACT

The diploma project on the topic "Automated Mobile Roof Control System" is devoted to the development of an autonomous complex for maintaining and stabilizing the microclimate in greenhouses and conservatories. The relevance of the work is driven by the need to reliably protect agricultural crops from sudden weather changes, extreme temperatures, and harmful ultraviolet radiation using accessible modern electronic components.

The main goal of the research was to design the hardware architecture and develop software for a modular automation system. Within the framework of the work, an algorithm was created that analyzes the difference between external and internal meteorological indicators in real-time, logically transforming them into safe control commands for the electromechanical roof actuator and dynamic shading using smart glass (PDLC) technology. A structural and schematic electrical circuit of the control complex was proposed. The hardware base includes a control microcontroller, a distributed network of digital and analog sensors (precipitation, light, humidity, air temperature), a power motor driver, a relay module, and a power stabilization subsystem. Additionally, a user interface panel with an OLED display was designed for local monitoring and manual control.

The developed system has practical significance as a functional prototype for creating reliable and energy-efficient climate control solutions. Integrated hardware safeguards and a well-thought-out logic for emergency heat release can significantly reduce the risks of crop loss and ensure full autonomy of the facility's operation.

Keywords: microclimate automation, mobile roof, microcontroller, sensor network, smart film (PDLC), thermoregulation, multi-criteria algorithm, embedded systems.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ОБ'ЄКТІВ ІЗ МОБІЛЬНИМ ПЕРЕКРИТТЯМ.....	13
1.1 Історія створення та розвиток конструкцій автоматизованих дахів	13
1.1.1 Перші механічні конструкції та ранні інженерні рішення	13
1.1.2 Розвиток електроприводів та автоматизації у ХХ столітті	15
1.1.1 Сучасні інтелектуальні системи мобільних дахів	16
1.2 Особливості функціонування автоматизованих дахів у цивільній архітектурі.....	19
1.2.1 Конструктивні моделі, матеріали та загальний принцип роботи мобільних покриттів	20
1.2.2 Застосування автоматизованих дахів у закритих цивільних будівлях	22
1.2.3 . Специфіка експлуатації мобільних покрівельних систем в оранжереях.....	24
1.2.4 Техніко-економічні проблеми та недоліки впровадження мобільних покрівельних систем	25
1.3 Аналіз методів і засобів сенсорного моніторингу мікроклімату	26
1.3.1 Методи та апаратні засоби виявлення атмосферних опадів.....	26
1.3.2 Методи вимірювання інтенсивності освітлення та УФ- випромінювання.....	27
1.3.3 Сенсори температури та вологості для розрахунку конвекційних потоків	28
Висновок до розділу 1	29
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ	31
2.1 Розробка та опис структурної схеми.....	31
2.1 Вимоги до компонентів та їх підбір.....	34
2.1.1 Мікроконтролер	35

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Березенко О.С.</i>			<i>Автоматизована система керування мобільним дахом</i>	Літ.	Аркуш
Перев.		<i>Павловський О.М.</i>					8
Н. Контр.							117
Затв.		<i>Павловський О.М.</i>				<i>КПІ ім. І. Сікорського, ПБФ</i>	

2.1.2 Датчики зовнішнього блоку.....	35
2.1.3 Датчики внутрішнього блоку	39
2.1.4 Виконавчий модуль	40
2.1.5 Система та індикації та керування смарт-плівкою.....	43
2.1.6 Підсистема живлення	44
2.2 Створення електричної принципової схеми.....	45
2.3 Розробка принципової електричної схеми	45
2.3.1 Реалізація блоку зовнішніх модулів та сенсорів	46
2.3.2 Реалізація підсистеми моніторингу внутрішнього середовища	50
2.3.3 Реалізація обчислювального ядра та системи індикації	51
2.3.4 Реалізація живлення та стабілізації напруги.....	52
2.3.5 Реалізація модуля виконавчого механізму.....	53
2.3.6 Реалізація модуля керування смарт-плівкою (PDLC).....	55
2.3.7 Реалізація модуля користувацького інтерфейсу (панелі керування) ..	56
Висновок до розділу 2	57
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ, КОНСТРУКТИВНЕ	
ОФОРМЛЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ	
3.1 Алгоритм роботи системи.....	59
3.1.1 Логіка алгоритму при ручному керуванні.....	60
3.1.2 Логіка алгоритму автоматичного керування	62
3.1.3 Реалізація інтерфейсу користувача	68
3.2 Розробка та конструювання корпусів системи	69
3.2.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення та матеріалу	69
3.2.2 Вибір технології виготовлення та матеріалу	69
3.2.3 Обґрунтування конструктивного виконання та матеріалів внутрішнього блока системи	70
3.2.4 Розробка кришки.....	72
3.2.5 Обґрунтування виконання зовнішнього блоку системи	73
3.2.6 Корпус зовнішнього блоку.....	74

3.2.7 Кришка зовнішнього блоку.....	75
3.2.8 Загальне компонування	77
3.3 Експериментальні випробування прототипу	79
3.3.2 Тестування інформаційних сторінок блоку моніторингу.....	80
3.3.3 Верифікація роботи логічного дерева в автоматичному режимі (AUTO).....	81
3.3.4 Тест терморегуляції та контролю парникового ефекту	82
3.3.5 Тестування системи за умов критичного ультрафіолетового опромінення.....	83
3.3.6 Дослідження чутливості сенсорної підсистеми в обмежених умовах	85
ВИСНОВОК.....	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	91
ДОДАТОК А	98
ДОДАТОК Б	117
ДОДАТОК В	118
ДОДАТОК Г	119
ДОДАТОК І	120
ДОДАТОК Д	121
ДОДАТОК Е	122
ДОДАТОК Є.....	123
ДОДАТОК Ж.....	124
ДОДАТОК З.....	125
ДОДАТОК И.....	126
ДОДАТОК І	127

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

ШИМ - широтно-імпульсна модуляція

PDLC - Polymer Dispersed Liquid Crystal

I²C - Inter-Integrated Circuit

UV - Ultraviolet Radiation

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі автоматизація перестала бути лише елементом промислових об'єктів, ставши невід'ємною частиною життєвого простору. Сьогодні інтелектуальні системи керування вимагають здатності до адаптації: вони повинні зчитувати стан навколишнього середовища, прогнозувати зміни та миттєво реагувати на них. Одним із таких перспективних напрямів є інтелектуальні мобільні конструкції, зокрема - автоматизовані рухомі дахи, що об'єднують у собі функціональність, енергоефективність та комфорт.

Інтерес до таких систем стрімко зростає у сферах сучасної урбаністики та будівництва. Рухомі дахи в наші дні створюються не тільки для спортивних арен чи атриумів - вони стають необхідним рішенням для оранжерейних комплексів та приватних господарств, будинків де важливий точний контроль мікроклімату. Можливість оперативного регулювання вентиляції, освітлення, вологості та температури дозволяє не лише забезпечити комфорт, а й суттєво зменшити витрати ресурсів на підтримку життєдіяльності внутрішнього простору.

У межах даного дипломного проєкту розроблено прототип автоматизованої системи керування мобільним дахом на базі мікроконтролера ATmega328P. Розроблений комплекс у режимі реального часу аналізує широкий спектр метеорологічних показників: від рівня ультрафіолетового випромінювання та освітленості до інтенсивності опадів та вологості повітря. На основі обробки цих даних система здійснює автономне керування положенням даху та активацію підсистеми інтелектуального затінення.

Актуальність проєкту зумовлена постійним запитом на доступні, надійні та водночас адаптивні інженерні рішення, здатні забезпечити автономний захист і стабільний моніторинг кліматичних умов для об'єктів різного цільового призначення.

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ОБ'ЄКТІВ ІЗ МОБІЛЬНИМ ПЕРЕКРИТТЯМ

1.1 Історія створення та розвиток конструкцій автоматизованих дахів

Ідея створення конструкцій, здатних змінювати своє положення або форму залежно від зовнішніх умов чи потреб людини, виникла ще в давні часи. Протягом багатьох століть подібні системи поступово вдосконалювалися від простих механічних конструкцій із ручним керуванням до сучасних автоматизованих комплексів із машинним керуванням і системами датчиків.

1.1.1 Перші механічні конструкції та ранні інженерні рішення

Перші історичні згадки про застосування масштабних покриттів належать до епохи античності. Одним із найвідоміших прикладів є давньоримський Колізей, у якому використовувався веларій (velarium). Він являв собою великий тканинний навіс, який складався з окремих секцій та розгортався над трибунами для захисту глядачів від сонця й опадів. Конструкція працювала за допомогою канатів, блоків і дерев'яних стовпів, а керування здійснювали вручну. Попри те, що система була виключно ручною і базувалася на фізичній силі людини, у ній вперше було здійснено принцип розсування та тимчасового захисту великої площі (рис. 1.1.) [1,2].

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

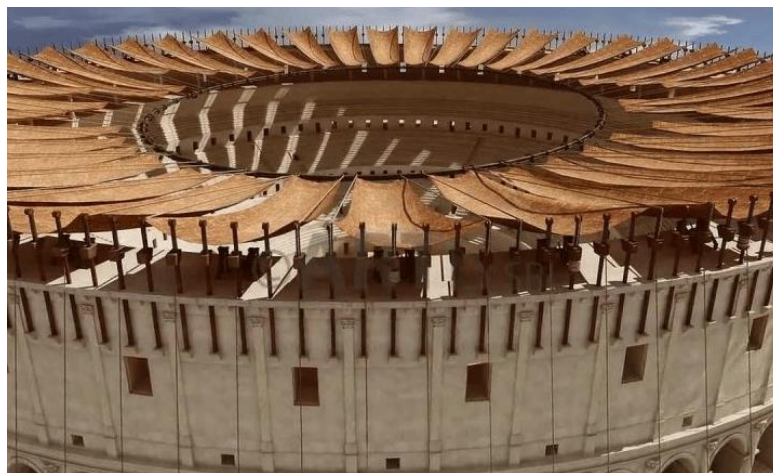


Рисунок 1.1 - Веларій

Подальший розвиток таких конструкцій відбувся у XIX столітті під час промислової революції. Завдяки розвитку металургії, появи конструкційної сталі та нових будівельних матеріалів стало можливим створення великих рухомих перекриттів. Перші подібні рішення використовувалися на залізничних вокзалах, промислових об'єктах, в наукових установах та обсерваторіях (рис. 1.2.) [3]. У таких спорудах необхідно було забезпечити відведення диму, гарячого повітря або пари, тому частини покрівлі могли механічно відкриватися.

У цей період для руху конструкцій почали застосовувати парові машини та гідравлічні механізми. Проте такі системи були громіздкими, мали низьку точність роботи та потребували постійного контролю з боку персоналу. Крім того, механізми характеризувалися великою інерційністю та складністю обслуговування [4].

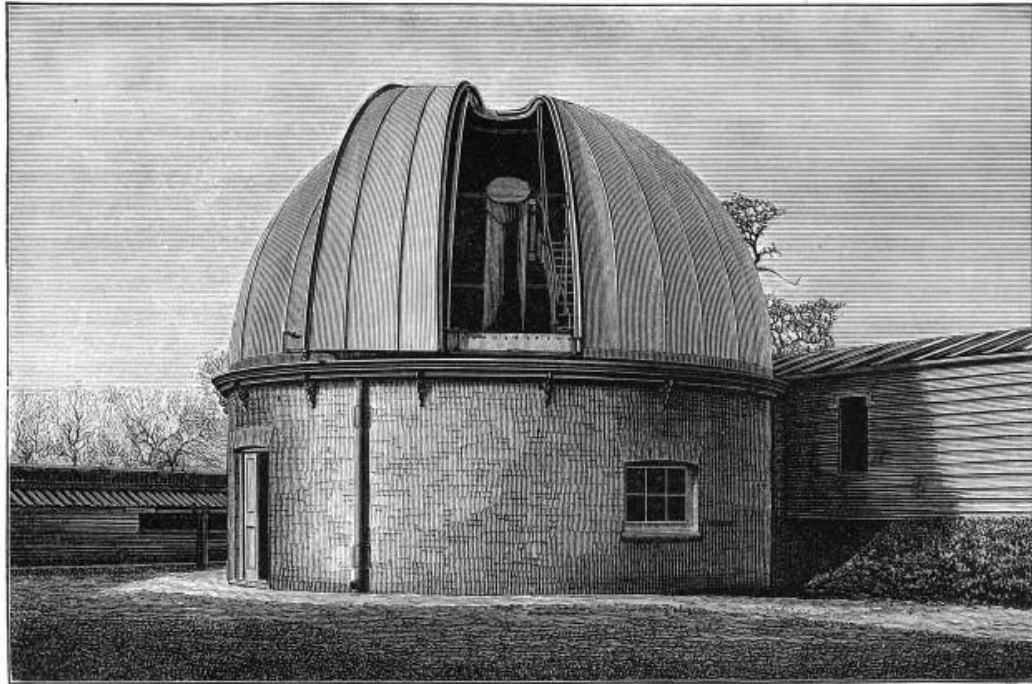


Рисунок 1.2 - Механічний дах лондонської обсерваторії 1870 р.

1.1.2 Розвиток електроприводів та автоматизації у XX столітті

У XX столітті розвиток технологій та початок ери використання електрики сприяли появі більш компактних і надійних систем керування. Парові та гідравлічні приводи поступово замінювалися електродвигунами. Для керування рухомими конструкціями почали використовувати релейно-контактні схеми, магнітні пускачі, реле та вимикачі.

У цей період рухомі дахи активно продовжували застосовувалися в наукових обсерваторіях, де куполи забезпечували відкриття оглядового простору для телескопів. Пізніше такі системи почали використовувати й у цивільному будівництві. Важливим етапом розвитку стало створення перших дистанційно керованих рухомих дахів для громадських житлових будівель та навіть автомобілів. Частіше за все подібні конструкції можна було побачити на стадіонах (рис. 1.3.) [5].



Рисунок 1.3 - Перший рухомий дах Сівік-Арена в Піттсбурзі, штат Пенсильванія, США 1961 р.

Разом із розвитком систем керування вдосконалювалися й механічні вузли. Канатні передачі поступово замінювалися зубчасто-рейковими механізмами та гвинтовими передачами, які забезпечували кращу точність і надійність роботи. Також у системи почали інтегрувати перші датчики дощу та вітру для автоматичного реагування на погодні умови.

Однак системи цього покоління мали й певні недоліки. Релейна логіка була складною для переналаштування, а механічні кінцеві вимикачі часто виходили з ладу через вплив вологи, пилу та механічного зношування.

1.1.1 Сучасні інтелектуальні системи мобільних дахів

На початку XXI століття мобільні покриття остаточно трансформувалися з унікальних, поодиноких архітектурних експериментів у масове, високотехнологічне інженерне рішення, що активно застосовується у цивільному та комерційному будівництві. Сучасна інтерпретація рухомого даху розглядає його не просто як механічний ізолюючий елемент споруди, а як

динамічну оболонку (dynamic building envelope), яка здатна гнучко адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища. Це стало можливим завдяки загальному прогресу в галузі цифрових керуючих систем, приладобудування та інтеграції кінетичної архітектури в єдині інформаційні мережі будівель.

Сьогодні сфера застосування автоматизованих мобільних покриттів охоплює широкий спектр об'єктів цивільного призначення, де ключовим завданням є забезпечення комфорту людей та оптимізація експлуатаційних витрат.

Зараз мобільні дахи активно використовують для великих спортивних споруд та багатофункціональні арен. Автоматизація дахів стадіонів дозволяє проводити заходи незалежно від погодних умов, забезпечуючи збереження природного трав'яного покриття за рахунок інсоляції у відкритому стані та захист глядачів під час опадів. Також подібні конструкції можна побачити в торгівельно-розважальних центрах, ділових комплексах та виставкових павільйонах, в критих плавальних басейнах (рис. 1.4.) та аквакомплексах, у цих об'єктах мобільні дахи стали стандартом проектування, оскільки вони дозволяють у теплий період року перетворювати закриті приміщення на відкритий курортний простір, а також ефективно вирішують проблему видалення надмірної вологи конвекційним шляхом. Приватна та готельна архітектура також часто застосовує розсувні скляні дахи та тераси, які дедалі частіше інтегруються в сучасні житлові комплекси та готелі преміум-сегменту для розширення корисної площі та створення експлуатованих покрівель [6].

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.4 - Приклад сучасного автоматизованого даху для басейну

Масове поширення та популяризація таких систем в останні десятиліття зумовлені посиленням світових стандартів щодо енергоефективності будівель (наприклад, концепції Net Zero Energy Buildings). Сучасні автоматизовані дахи (рис. 1.5) працюють як важливий інструмент пасивного екологічного контролю [7]. Замість постійного застосування потужного примусового кондиціонування та вентиляції, у будівлях використовують керовані природні цикли: провітрювання за рахунок різниці тисків, акумуляцію сонячного тепла взимку або захист від перегріву влітку. Таким чином, автоматизований дах став невід'ємною частиною інтелектуальних систем керування будівлею (BMS- Building Management System), де його рух синхронізується з роботою систем опалення та клімат-контролю.

Аналіз сучасної світової практики проєктування показує, що розвиток таких систем рухається в напрямку підвищення автономності, спрощення механічних вузлів та відмови від складних промислових рішень на користь локальних, адаптованих систем мікроконтролерного керування. Це дає змогу

істотно знизити вартість реалізації проєктів і підвищити їхню стійкість до агресивного впливу погодних умов [7,8].



Рисунок 1.5 - Приклад сучасного автоматизованого даху

1.2 Особливості функціонування автоматизованих дахів у цивільній архітектурі

Сьогодні розсувні дахи все частіше застосовуються не лише на великих стадіонах, а й у приватному секторі - для облаштування зимових садів, теплиць та оранжерей. Їхня головна перевага полягає у здатності швидко адаптувати приміщення до погодних умов: відкриватися для провітрювання у спеку та надійно закриватися під час дощу або різкого похолодання. Проте для безпечної експлуатації таких конструкцій звичайного ручного керування недостатньо, адже погода може змінитися раптово, коли нікого немає поруч. Тому сучасні мобільні дахи вимагають повної автоматизації. Використання мікроконтролерів у поєднанні з метеорологічними датчиками дозволяє системі безперервно аналізувати мікроклімат і самостійно керувати важкими електромеханічними приводами без участі людини [9,10].

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.2.1 Конструктивні моделі, матеріали та загальний принцип роботи мобільних покриттів

В основі функціонування будь-якого автоматизованого даху покладено принцип механічного переміщення жорстких або еластичних секцій по заздалегідь змонтованих напрямних. Залежно від траєкторії руху та геометричної конфігурації, конструктивні моделі традиційно поділяють на кілька типів. До першого належать розсувні системи, де секції зсуваються в протилежні або в один бік за межі світлового прорізу. Більш складними є телескопічні системи, які є найбільш поширеним варіантом для перекриття великих площ і при відкритті послідовно заходять одна під одну. Окрему нішу займають складні системи типу «акордеон» (рис. 1.6, рис.1.7), що базуються на використанні шарнірно з'єднаних панелей або м'яких мембран, які збираються в компактний пакет [9].



Рисунок 1.6 - Складна система типу «акордеон»

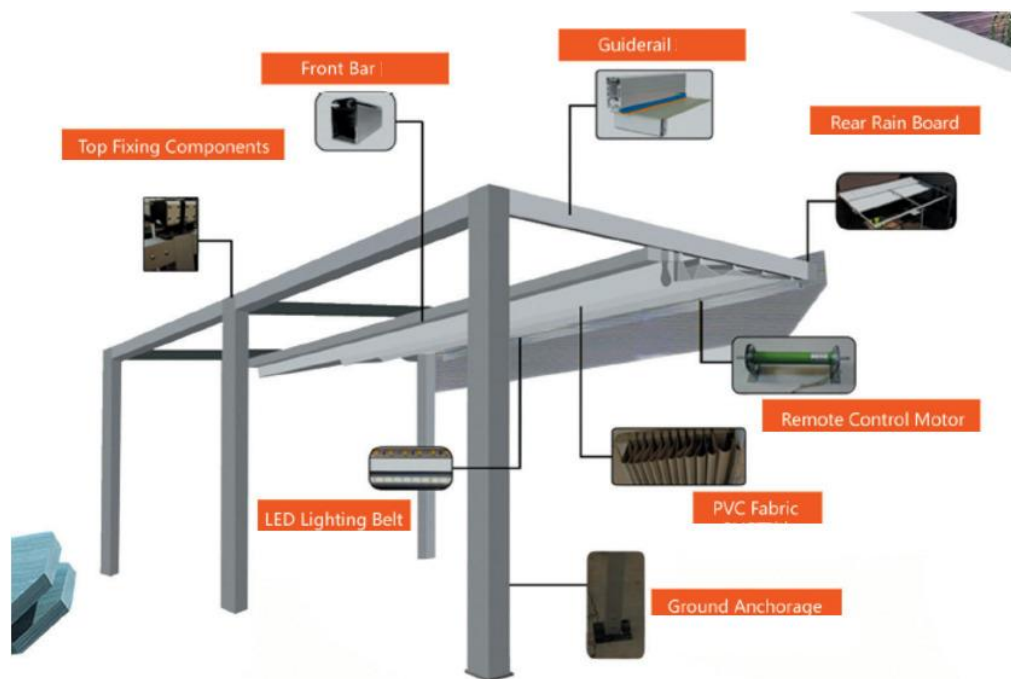


Рисунок 1.7 - Конструкція системи сучасного автоматизованого даху

Вибір матеріалів для мобільних дахів зумовлений жорсткими вимогами до міцності та максимального полегшення конструкції для зниження навантаження на приводні двигуни. Для виготовлення несучих каркасів найчастіше застосовують легкі алюмінієві сплави високої міцності або конструкційну сталь із антикорозійним покриттям. Як світлопрозоре заповнення рам використовують загартоване скло чи триплекс, що має високу прозорість і стійкість до абразивного зносу попри значну питому вагу. Альтернативою виступає стільниковий та монолітний полікарбонат, який є у 3-6 разів легшим за скло, має високі теплоізоляційні властивості та ударостійкість, що робить його оптимальним вибором для інженерних проєктів середнього бюджету [10].

Безпосередня механічна робота системи забезпечується силовими електроприводами, зазвичай двигунами постійного струму або асинхронними моторами з редукторами. Вони передають крутний момент на рухомі каретки через зубчасто-рейкові передачі, ланцюгові приводи або системи сталевих тросів. Швидкість та плавність ходу при цьому регулюються мікроконтролером за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що дозволяє мінімізувати

ударні пускові навантаження на механіку конструкції та продовжити термін її експлуатації [11].

1.2.2 Застосування автоматизованих дахів у закритих цивільних будівлях

У цивільній архітектурі автоматизовані рухомі дахи дедалі частіше інтегруються в конструкції приватних зимових садів, веранд, мансардних поверхів, застлених терас, тощо. Основною метою впровадження таких локальних систем є створення комфортного індивідуального мікроклімату шляхом оперативного регулювання природного освітлення та повітрообміну, що дозволяє значно знизити капітальні витрати на штучне опалення та примусове кондиціювання житлового простору.

Принцип роботи автоматизованих систем у малому житловому секторі базується на використанні полегшених рамних конструкцій, що мінімізує навантаження на огорожувальні стіни будівель. Механічне переміщення світлопрозорих стулок здійснюється за допомогою компактних лінійних двигунів постійного струму з черв'ячними редукторами, які передають зусилля через приводні вали або зубчасті паски. На відміну від промислових об'єктів, у житлових приміщеннях висувуються жорсткі вимоги до рівня акустичного шуму та вібрацій під час роботи механізмів. Для забезпечення безшумності та плавності ходу електроприводу мікроконтролер реалізує алгоритми м'якого пуску та гальмування за допомогою широтно-імпульсної модуляції, що повністю нівелює різкі удари та скрегіт механічних вузлів (рис. 1.8.) [12].

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

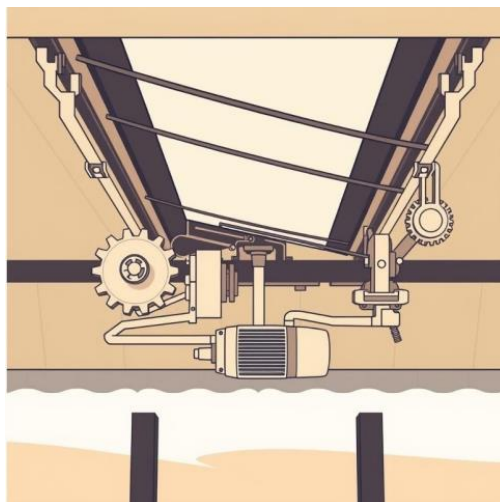


Рисунок 1.8 - Вузол електромеханічного приводу розсувної системи.

Функціонування та архітектура автоматизованих систем керування приватних рухомих дахів мають принципові відмінності порівняно з великомасштабними спорудами, такими як стадіони чи торгово-розважальні центри. Приватний мобільний дах характеризується низькою інерційністю і здатний повністю змінити своє положення за 10-30 секунд. Це дозволяє проектувати систему керування на базі компактних, доступних та енергоефективних мікроконтролерів, які працюють повністю автономно і не потребують складних промислових інтерфейсів [12].

Окрім того, системи керування приватними рухомими дахами мають зовсім інші експлуатаційні пріоритети. Якщо на великих аренах рішення про рух даху приймається на основі глобальних метеорологічних прогнозів та розраховується на години вперед, то у приватному секторі система повинна миттєво реагувати на локальні зміни погоди «тут і зараз» - наприклад, на раптову одиночну хмару чи перші краплі зливи (рис.1.9).

Також у житловому просторі значно вищі вимоги до безпеки експлуатації: система обов'язково повинна мати функцію виявлення перешкод (захист від защемлення пальців чи сторонніх предметів у рамі), що реалізується програмним моніторингом струму споживання двигуна через драйвер, тоді як у великих промислових системах безпека забезпечується суворим обмеженням доступу людей до зони приводів. Замість інтеграції у складні промислові

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

мережі, локальна автоматика приватного даху легко інтегрується в побутові мережі розумного будинку, забезпечуючи користувачеві зручний дистанційний контроль через мобільний інтерфейс [13].



Рисунок 1.9 - Система рухомого даху для ресторану

1.2.3 . Специфіка експлуатації мобільних покрівельних систем в оранжереях

Експлуатація автоматизованих дахів в тепличних комплексах та оранжереях має глибокі технологічні та біологічні відмінності порівняно зі звичайними цивільними будівлями. У цьому випадку рухомий дах виступає не просто елементом архітектури, а ключовим інструментом агропромислового клімат-контролю. Головне завдання системи полягає у підтриманні жорстко заданого теплового та вологісного балансу. На відміну від цивільних приміщень, де вентиляція потрібна для комфорту людей, у теплиці різка зміна температури навіть на кілька градусів може викликати термічний шок і знищити біологічні активи. Рослини не здатні самостійно покинути зону перегріву, тому алгоритм роботи даху має бути максимально чутливим, превентивним і багаторівневим [14].

Інтелектуальна система керування повинна забезпечувати гравітаційне охолодження, розраховуючи кут відкриття стулок для випуску гарячого повітря при перевищенні порогової температури. Водночас автоматика має гарантувати

превентивний аварійний захист від вітру та злив шляхом миттєвого згортання покриття при фіксації перших крапель опадів [13].

Ситуацію суттєво ускладнює специфіка самого мікроклімату закритого ґрунту. Постійна висока вологість повітря, інтенсивне сонячне випромінювання (парниковий ефект) та утворення конденсату на внутрішній стороні покрівлі створюють екстремальні умови для рослин. Саме тому звичайне механічне відкриття даху не завжди вирішує проблему: у пікові години літньої спеки відкритий дах пропускає прямий руйнівний ультрафіолет, а закритий - перетворює теплицю на теплову пастку. Це вимагає впровадження комбінованих методів керування інсоляцією.

1.2.4 Техніко-економічні проблеми та недоліки впровадження мобільних покрівельних систем

Попри очевидні переваги, масове впровадження автоматизованих дахів стримується низкою серйозних проблем технічного та економічного характеру. Насамперед, це висока капіталомісткість розробки та монтажу. Проектування вимагає проведення надзвичайно складних розрахунків на вітрові та снігові навантаження з урахуванням динаміки руху. Вартість прецизійних алюмінієвих профілів, потужних приводів і спеціальних склопакетів у кілька разів перевищує вартість встановлення класичного статичного перекриття.

Ще однією вагомою перепорою є складність герметизації та забезпечення належної теплоізоляції. Зазори між рухомими секціями потребують дорогих еластичних ущільнювачів, що неминуче деградують під дією ультрафіолетового випромінювання і створюють потенційні «містки холоду», здатні викликати промерзання механізму взимку. Додатковим недоліком є енергозалежність усієї системи: при аварійному знеструмленні під час зливи автоматика ризикує залишитися відкритою, що змушує інженерів впроваджувати додаткові резервні блоки безперебійного живлення або механізми ручного аварійного закриття.

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Проте найбільш критичною та вразливою ланкою залишається низька надійність традиційного периферійного обладнання. Класичні системи використовують механічні кінцеві вимикачі або магнітні геркони, які в умовах високої вологості оранжерей чи басейнів швидко окислюються та залипають. Неспрацювання такого датчика в крайній точці призводить до руйнування редукторів чи деформації несучих металоконструкцій двигуном. Саме тому актуальним завданням сучасного приладобудування є відмова від фізичних периферійних датчиків на користь інноваційних програмних методів контролю положення приводу, що дозволяє суттєво підвищити надійність та знизити експлуатаційні ризики системи [10].

1.3 Аналіз методів і засобів сенсорного моніторингу мікроклімату

Будь-яка сучасна система керування мобільним покриттям будівлі є класичною замкненою системою автоматичного керування (ЗСАК), ефективність якої критично залежить від якості, достовірності та швидкодії зворотного зв'язку з навколишнім середовищем. Прийняття рішень щодо відкриття чи закриття стулок даху вимагає безперервного збору кліматичних даних. Основною проблемою приладобудівного проектування таких систем є вибір сенсорної бази, здатної тривалий час працювати в умовах різких перепадів температур, високої вологості, прямих сонячних променів та електромагнітних завад, що генеруються силовими приводами конструкції. У зв'язку з цим виникає необхідність детального порівняльного аналізу існуючих методів детекції ключових метеорологічних параметрів [11].

1.3.1 Методи та апаратні засоби виявлення атмосферних опадів

Найбільш пріоритетним сигналом для системи керування дахом є сигнал про початок атмосферних опадів, оскільки потрапляння вологи всередину цивільного або комерційного приміщення веде до найбільших матеріальних збитків. Традиційно в бюджетних системах та проєктах початкового рівня

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

використовуються контактні резистивні або ємнісні датчики дощу. Їхня конструкція являє собою друковану плату з відкритими струмопровідними доріжками у вигляді гребінки. При потраплянні краплі води на поверхню плати електричний опір між провідниками різко падає, що фіксується аналоговим компаратором.

Попри свою низьку вартість та простоту інтеграції, такі датчики мають критичний конструктивний недолік -занадто швидку деградацію в реальних умовах експлуатації. Під дією постійної напруги та вологи на відкритих мідних контактах відбувається інтенсивний процес електрохімічної корозії (електролізу), внаслідок якого струмопровідний шар руйнується за один-два сезони. Крім того, резистивні датчики схильні до хибних спрацьовувань через осідання ранкової роси або накопичення вологого пилу та пташиного посліду, що створює паразитну провідність.

Альтернативним інженерним рішенням є застосування безконтактних оптичних датчиків дощу, принцип дії яких базується на явищі повного внутрішнього відбиття через спеціальну призму. Цей метод забезпечує абсолютну стійкість сенсора до корозії, оскільки всі електронні компоненти герметично залиті компаундом. Проте, зважаючи на критерій економічної доцільності при створенні лабораторного макета, у даному проєкті застосовано аналоговий резистивний сенсор, але з інтеграцією програмного захисту [13].

1.3.2 Методи вимірювання інтенсивності освітлення та УФ-випромінювання

Другим за важливістю завданням є моніторинг рівня інсоляції для керування оптичними властивостями даху (наприклад, для активації розумного затінення) та оптимізації природного освітлення. Історично для цих цілей використовувалися аналогові фоторезистори (найчастіше на основі сульфід кадмію, CdS). Їхній опір змінюється обернено пропорційно інтенсивності

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

падаючого світла, а сигнал знімається через аналого-цифровий перетворювач (АЦП) мікроконтролера. Проте використання фоторезисторів у точних системах керування будівлями визнано неефективним через високу нелінійність їхньої характеристики, вузький динамічний діапазон та сильну температурну залежність. Окрім того, передача слабкого аналогового сигналу від даху до центрального контролера по довгих кабельних трасах супроводжується наведенням значних електромагнітних завад.

Сучасний підхід до вирішення цієї задачі полягає у використанні високоінтегрованих цифрових датчиків освітленості (наприклад, мікросхем сімейства BH1750 або TSL2561) та спеціалізованих УФ-сенсорів (VEMML6070). Ці пристрої містять на одному кристалі вбудований фотодіод, підсилювач, прецизійний 16-бітний АЦП та логічний інтерфейс. Головною перевагою таких сенсорів є їхня спектральна чутливість, яка завдяки апаратним оптичним фільтрам максимально наближена до кривої спектральної чутливості людського ока (функції $V(\lambda)$). Цифрові сенсори виконують апаратне придушення оптичних завад (мерехтіння ламп із частотою 50/60 Гц) і передають на мікроконтролер готові відкалібровані значення у люксах (lx). Обмін даними здійснюється по перешкодостійкій цифровій шині I2C. Це дозволяє гарантувати високу точність вимірювань незалежно від довжини комутаційних дротів та наявності потужних наведень від силових кабелів двигунів приводу [11].

1.3.3 Сенсори температури та вологості для розрахунку конвекційних потоків

Для забезпечення адекватної реакції системи на явище термічного перегріву та парникового ефекту необхідний безперервний моніторинг термодинамічних параметрів внутрішнього та зовнішнього повітря. Класичні термістори (NTC) хоча й відрізняються низькою вартістю, вимагають складної програмної лінеаризації за рівнянням Стейнхарта-Харта і не дають інформації

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

про вологість повітря, яка є критичною для запобігання утворенню конденсату на конструкціях.

Оптимальним інженерним рішенням для сучасних систем клімат-контролю є використання інтегрованих цифрових датчиків середовища високої роздільної здатності. Зокрема, у даному проєкті інтегровано мультисенсорні модулі стандартів HTU21DF та DHT11. Вони поєднують у собі ємнісний сенсор відносної вологості полімерного типу та кремнієвий датчик температури, забезпечуючи високу точність і стабільність показників у часі. Використання цифрових мультисенсорів дозволяє мікроконтролеру не лише фіксувати поточну температуру, але й в режимі реального часу вираховувати різницю градієнтів температур всередині й зовні об'єкта. Знаючи ці параметри, алгоритм керування здатний превентивно відкрити стулки даху для збільшення кратності повітрообміну ще до того, як у приміщенні настане критичний перегрів. Таким чином, перехід від аналогової до цифрової сенсорної бази є ключовою вимогою для побудови надійної архітектури апаратної частини мобільних покриттів [11,13].

Висновок до розділу 1

Аналіз еволюції систем мобільних покриттів демонструє чіткий перехід від статичних архітектурних рішень до динамічних систем автоматичного керування мікрокліматом. Традиційний підхід до проєктування захищеного ґрунту, що базується на нерухомих огорожувальних конструкціях, повністю вичерпав свій потенціал у контексті сучасних вимог до енергоефективності, ресурсозбереження та екологічного моніторингу.

Особливо гостро потреба в адаптивних кінетичних покриттях постає в агропромисловому секторі -при проєктуванні сучасних тепличних комплексів, промислових оранжерей та зимових садів. Специфіка цих об'єктів полягає у складному синергетичному поєднанні термодинамічних будівельних чинників та біологічних параметрів життєдіяльності флори. Велика площа скління або

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

покриття сучасними полімерними матеріалами неминуче створює стійку проблему «парникового ефекту». За рахунок селективного пропускання сонячного випромінювання та теплового випромінювання всередині, внутрішній простір споруди здатний до критичного перегріву за лічені хвилини. Це призводить до порушення вологісного режиму, інтенсифікації транспірації рослин та утворення небезпечних застійних зон, а надмірний рівень сонячного випромінювання та жорсткого ультрафіолету викликає незворотний фотохімічний стрес, руйнування хлорофілу та термічні опіки тканин.

Проведений аналіз показав, що класичні системи з ручним керуванням є принципово неефективними і нездатними гарантувати безпеку біологічних активів. Стандартне провітрювання за рішенням оператора часто призводить до небажаних наслідків -виникнення різких протягів, температурного шоку та переохолодження.

Таким чином, сучасний тепличний комплекс повинен розглядатися як складний багатовимірний об'єкт керування із взаємопов'язаними параметрами. Ефективне вирішення проблеми стабілізації мікроклімату вимагає розробки інтелектуальної керуючої системи, яка б функціонувала у режимі реального часу, безперервно аналізувала динаміку внутрішніх та зовнішніх температурних градієнтів, інтегральні рівні оптичного випромінювання, а також критичні агрометеорологічні фактори ризику, такі як поява атмосферних опадів. Ключовою вимогою до архітектури такої системи є реалізація алгоритмів превентивного автоматичного керування, що дозволяє компенсувати зовнішні впливи навколишнього середовища ще до моменту виходу параметрів середовища за межі зони біологічного комфорту флори.

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

На основі проведеного в першому розділі аналізу кліматичних факторів та конструктивних особливостей об'єкта автоматизації, сформовано загальну структуру пристрою, виконано інженерний розрахунок і підбір елементної бази. Основна увага приділена вибору центрального обчислювального вузла, мікрокліматичних та оптичних сенсорів із цифровими інтерфейсами передачі даних, а також силових модулів для керування приводом і PDLC-плівкою.

2.1 Розробка та опис структурної схеми

Для визначення загального принципу роботи автоматизованої системи керування мобільним дахом оранжереї була розроблена структурна схема, наведена на рисунку 2.1. Вона відображає склад системи, взаємозв'язки між її основними елементами та напрямки передачі інформації і керуючих сигналів. Структурна схема дозволяє наочно представити архітектуру пристрою та визначити функції кожного з його блоків [14].

Під час розробки було використано модульний принцип побудови. Такий підхід дає можливість розділити систему на окремі функціональні вузли, кожен з яких виконує власне завдання. Це спрощує проєктування, налагодження та подальшу модернізацію пристрою, а також підвищує його надійність і зручність обслуговування. Кожен функціональний блок виконує визначене коло завдань і може бути замінений або вдосконалений без необхідності суттєвої зміни структури всієї системи. Такий підхід підвищує надійність роботи пристрою, полегшує його обслуговування та створює можливість для подальшого розширення функціональних можливостей системи.

До складу розроблюваного пристрою входять наступні блоки та компоненти:

- Центральний мікроконтролер;
- Загальний блок живлення;

- Зовнішній блок датчиків (включає датчик опадів, УФ-сенсор, датчик освітленості та датчик вологості);
- Внутрішній блок датчиків (включає датчик вологості та датчик температури);
- Блок керування;
- Блок моніторингу;
- Блок виконавчих пристроїв (включає драйвер двигуна, двигун постійного струму з редуктором, механізм переміщення та реле з PDLC-плівкою).

Головним обчислювальним вузлом системи є мікроконтролер, який відповідає за збір даних з датчиків, їх обробку та формування команд для виконавчих пристроїв. Живлення всієї схеми йде від загального блоку живлення, який видає необхідну напругу для логічної частини та силових контурів двигуна. Інформаційна взаємодія з користувачем та відображення стану системи реалізовані через блок моніторингу та блок керування, які підключені безпосередньо до портів мікроконтролера.

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

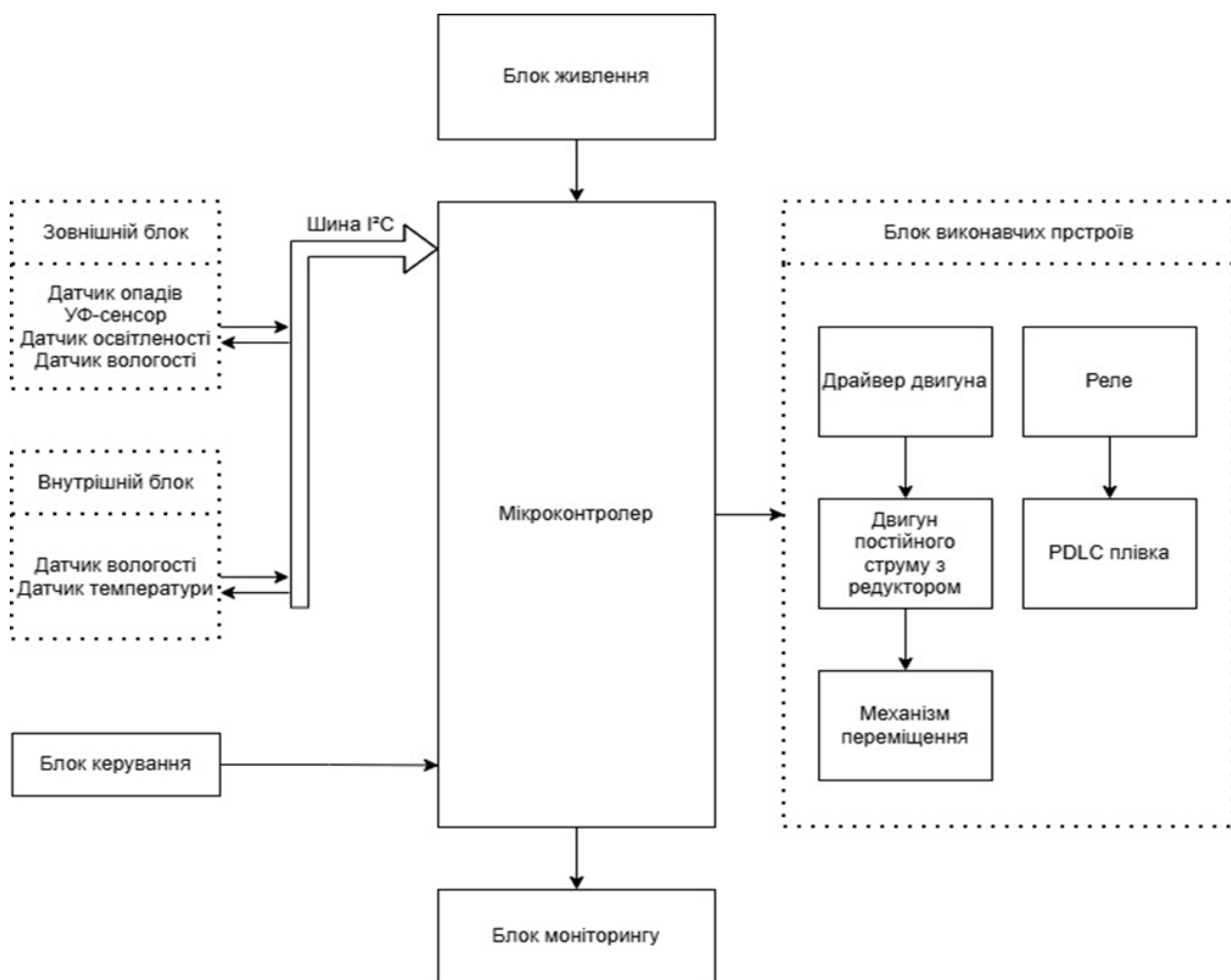


Рисунок 2.1 - Структурна схема

Сенсорна підсистема пристрою розділена на два окремі блоки для аналізу умов середовища з різних сторін. Зовнішній блок призначений для збору погодних даних на вулиці і складається з датчика опадів, УФ-сенсора, датчика освітленості та датчика вологості.

Взаємодія користувача із системою реалізується за допомогою блоку керування та блоку моніторингу. Блок керування надає можливість встановлювати режими роботи системи, змінювати параметри керування та виконувати ручне керування виконавчими механізмами за потреби. Блок моніторингу використовується для відображення поточного стану системи, показників датчиків, режимів роботи та іншої службової інформації, необхідної для контролю функціонування пристрою.

Виконавча частина системи представлена блоком виконавчих пристроїв, до складу якого входять драйвер двигуна, електродвигун постійного струму з редуктором, механізм переміщення мобільного даху, а також реле керування PDLC-плівкою. Після обробки отриманих даних мікроконтролер формує відповідні сигнали керування, які надходять до драйвера двигуна. Драйвер забезпечує необхідний рівень струму для роботи електродвигуна та здійснює його комутацію відповідно до заданого алгоритму. Обертальний рух двигуна через редуктор передається на механізм переміщення, який забезпечує відкривання або закривання мобільного даху залежно від умов навколишнього середовища.

Додатковою функцією системи є керування PDLC-плівкою, яка використовується для регулювання світлопроникності оранжереї. Керування плівкою здійснюється через реле, що дозволяє автоматично змінювати її стан відповідно до рівня освітленості або інших параметрів, визначених алгоритмом роботи системи.

Розподіл системи на окремі функціональні блоки сприяє підвищенню її надійності та ремонтпридатності. У разі виникнення несправності локалізація проблемного вузла значно спрощується, що зменшує час на проведення діагностики та технічного обслуговування. Крім того, запропонована структура допускає підключення додаткових датчиків або виконавчих пристроїв без необхідності суттєвої зміни архітектури системи.

2.1 Вимоги до компонентів та їх підбір

Для забезпечення надійної та безперебійної роботи системи керування дахом оранжереї необхідно сформулювати технічні вимоги до кожного функціонального блоку та підібрати відповідну елементну базу. Апаратна база повинна мати відповідний температурний діапазон, стійкість до зовнішніх збурень, а також бути повністю сумісною за логічними рівнями й напругою

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

живлення (5 В та 12 В). Головним завданням є пошук оптимального балансу між вартістю, доступністю та надійністю для роботи в умовах оранжереї.

2.1.1 Мікроконтролер

Головний блок керування має швидко обробляти дані з багатьох датчиків, потребуючи від 32 КБ постійної та 2 КБ оперативної пам'яті для стабільної роботи без зависань. Обов'язковою є наявність апаратного модуля шини I2C, аналого-цифрового перетворювача (від 10 біт), підтримка ШІМ та апаратних переривань для миттєвої реакції на зовнішні події.

Цим вимогам повністю відповідає 8-бітний мікроконтролер ATmega328P. Його об'єм пам'яті та апаратна периферія ідеально підходять для нашої схеми. Для практичної реалізації обрано плату Arduino Nano, яка містить необхідну обв'язку та перетворювач USB-UART для зручного програмування, включаючи кварцовий резонатор на 16 МГц, систему фільтрації живлення та лінійний регулятор напруги [15]. Дворядне розташування виводів робить її зручною для макетування. Arduino Nano зображено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 - Arduino Nano

2.1.2 Датчики зовнішнього блоку

Сенсори цього блоку монтуються на вулиці, тому мають бути стійкими до перепадів температур, вологості та забезпечувати стабільну передачу даних по провідниках.

Датчику температури та вологості потрібен цифровий сенсор, що стабільно працює на відкритому повітрі без сильних похибок при довготривалій роботі. (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Основні вимоги до вуличного датчика клімату

Параметр	Вимога
Напруга живлення	3.3 - 5 В
Діапазон температур	-40 ... +50 °C
Діапазон вологості	20 ... 90 %
Тип інтерфейсу	Цифровий (однодротовий)

Обрано модуль DHT11 [16], який об'єднує термістор та вимірювач вологості. Його заводський діапазон повністю перекриває весняно-літній сезон. Наявність 8-бітного АЦП дозволяє передавати відкалібрований сигнал, стійкий до перешкод. Датчик вологості та температури DHT11 зображено на рисунку 2.3.

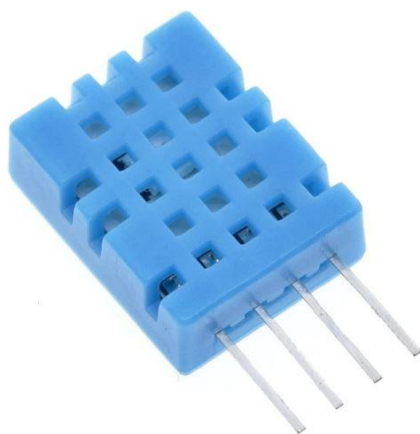


Рисунок 2.3 - Датчик вологості та температури DHT11

Датчик освітленості повинен мати широкий динамічний діапазон, оптичний фільтр для відсікання інфрачервоного шуму та інтерфейс I2C.

Таблиця 2.2 - Основні вимоги до датчика освітленості

Параметр	Вимога
Напруга живлення	3.3 - 5 В
Діапазон вимірювання	1 - 65535 лк
Спектральна чутливість	Наближена до людського ока
Тип інтерфейсу	Цифрова шина I2C

Цифровий датчик BH1750 (модуль GY-302) [17] повністю задовольняє ці вимоги. Завдяки фізичному оптичному фільтру та 16-бітному АЦП він видає точні показники навіть під прямими сонячними променями. BH1750 зображено на рисунку 2.4.

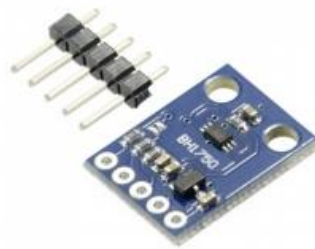


Рисунок 2.4 - Цифровий датчик освітленості GY-302

Від датчику інтенсивності УФ-випромінювання вимагається лінійна залежність вихідної напруги від інтенсивності УФ; використання аналогового інтерфейсу є цілком прийнятним. Обрано модуль GUVA-S12SD, що фіксує УФ-спектр у діапазоні 240-370 нм. Його аналоговий сигнал легко зчитується мікроконтролером, що розвантажує загальну шину I2C [18]. GUVA-S12SD зображено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - Аналоговий датчик ультрафіолету GUVVA-S12SD

Датчик опадів має складатися із зовнішньої пластини з антикорозійним покриттям та внутрішньої плати компаратора з регулюванням чутливості. Обрано датчик (FC-37/YL-83) із компаратором LM393 [19]. Нікельована пластина стійка до окислення, а цифровий вихід компаратора дозволяє використовувати апаратне переривання мікроконтролера для екстреного закриття даху. Датчик опадів зображений на рисунку 2.6.

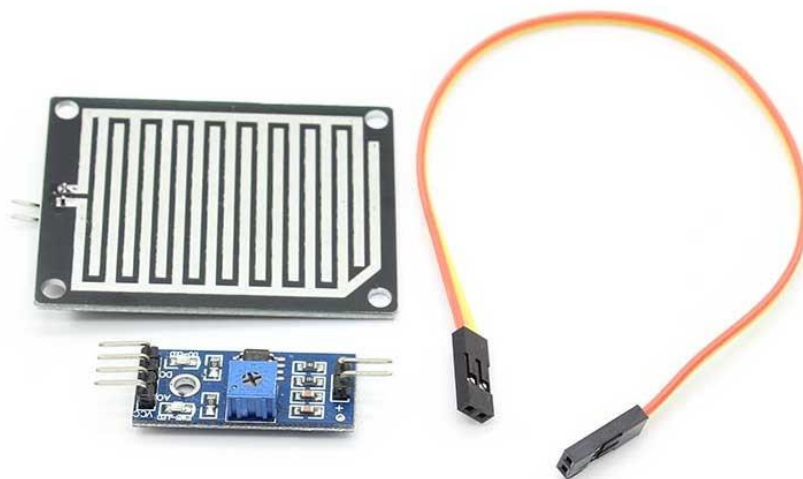


Рисунок 2.6 - Датчик опадів

2.1.3 Датчики внутрішнього блоку

Оскільки парникові рослини чутливі до мікроклімату, внутрішні датчики вимагають високої точності, мінімальної похибки та низької теплової інерційності. Передача даних повинна здійснюватися по цифровій шині I2C.

Таблиця 2.3 Основні вимоги до внутрішнього датчика мікроклімату

Параметр	Вимога
Напруга живлення	3.3 - 5 В
Діапазон вимірювання температури	-10 ... +85 °С
Похибка вимірювання температури	Не більше ± 0.4 °С
Діапазон вимірювання вологості	0 ... 100 %
Похибка вимірювання вологості	Не більше ± 3 %
Час відгуку	Менше 5 секунд
Тип інтерфейсу	Цифрова шина I2C

Для повітря обрано високоточний сенсор HTU21D (модуль GY-21) [20], що має похибку температури лише ± 0.3 °С та майже миттєво реагує на нагрівання. Він ідеально інтегрується на спільну шину I2C разом із вуличним датчиком. Датчик вологості та температури HTU21D зображено на рисунку 2.7.

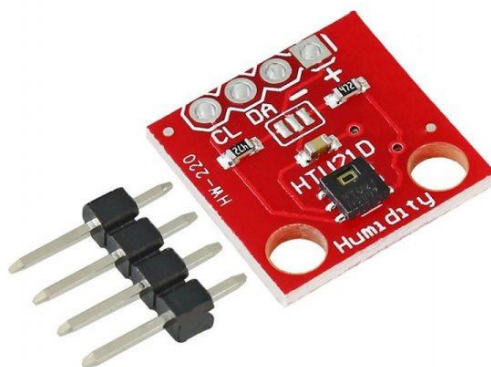


Рисунок 2.7 -Цифровий датчик вологості та температури HTU21D

Для моніторингу температури ґрунту обрано герметичний цифровий датчик DS18B20 [21]. Його водонепроникний корпус із нержавіючої сталі дозволяє занурення в мокрий ґрунт без ризику корозії. Підтримка протоколу 1-Wire дозволяє паралельно підключати кілька зондів на один провідник. DS18B20 зображено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 - Температурний датчик водонепроникний DS18B20

2.1.4 Виконавчий модуль

Для живлення силового двигуна (12 В) від логіки (5 В) необхідний драйвер типу Н-міст (H-bridge) з підтримкою ШІМ-керування та вбудованими захисними діодами для розсіювання зворотної ЕРС.

Таблиця 2.4 Основні вимоги до драйвера двигуна

Параметр	Вимога
Напруга живлення силової частини (VM)	Не менше 12 В
Напруга живлення логічної частини (VCC)	5 В
Постійний робочий струм	Не менше 1.2 А
Піковий струм (пусковий)	Не менше 3.0 А
Архітектура силового каскаду	Н-міст (H-bridge)
Інтерфейс керування	Цифрові рівні + підтримка ШІМ
Вбудовані системи захисту	Захист від зворотної ЕРС, термозахист

Обрано модуль драйвера на базі сучасного чипа TB6612FNG з MOSFET-транзисторами [22]. Він має високий ККД, мінімальне тепловиділення та витримує пускові струми до 3.2 А, повністю підтримуючи високочастотну ШІМ для плавного розгону. Драйвер двигуна зображено на рисунку TB6612FNG.

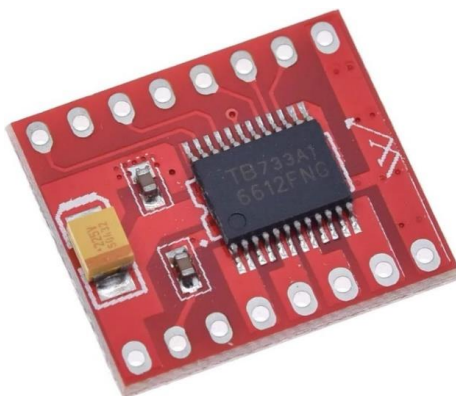


Рисунок 2.9 - Драйвера на базі мікросхеми TB6612FNG

Для фізичного приведення у рух кінематичного механізму переміщення рухомої стулки мобільного даху оранжереї та забезпечення точного лінійного позиціонування було проведено попередній аналіз масо-габаритних параметрів конструкції та виконано інженерний розрахунок необхідного крутного моменту. Вихідними даними для проєктування прототипу виступали маса світлопрозорої стулки на базі стільникового полікарбонату (приблизно 50 г) та безпосередня маса інтегрованої рідкокристалічної PDLC-плівки, яка дорівнює 50 г. З урахуванням додаткових конструктивних елементів, включаючи ходову гайку, елементи фіксації, напрямні каретки та кабель-менеджмент силових ліній смарт-плівки, загальна маса рухомої конструкції становить близько 150–200 г.

З огляду на незначну масу робочих елементів та низьку інерційність розроблюваного лабораторного макета, використання потужних промислових крокових приводів або серводвигунів було визнано технічно та економічно недоцільним через їхню надлишковість та ускладнення схемотехніки керування. Натомість, для забезпечення плавного лінійного ходу стулки було обрано гвинтову передачу типу «гвинт-гайка» з прямим приводом від колекторного двигуна постійного струму серії ТТ. Головною перевагою

обраного гвинтового механізму є ефект самогальмування різьбової пари, що гарантує надійну фіксацію даху в будь-якому проміжному положенні та виключає його самовільне зсунення під дією зовнішніх факторів (вітрового навантаження чи опадів) навіть за повної відсутності живлення на двигуні.

Таблиця 2.5 Основні вимоги до двигуна

Параметр	Вимога
Номінальна робоча напруга	3 - 6 В
Наявність механічної передачі	Обов'язкова (інтегрований редуктор)
Максимальний струм споживання	Не більше 0.5 А
Тип керування	Реверсивне (можливість зміни напрямку)
Регулювання швидкості	Пропорційне (підтримка ШІМ)

Для цього застосовано колекторний двигун "ТТ-motor" із редуктором 1:48 [23], що знижує швидкість та збільшує зусилля для стабільного руху стулки без заклинювань. Споживання струму мотором є безпечним для драйвера (до 300 мА). Двигун з редуктором зображено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 - Двигун з редуктором

2.1.5 Система та індикації та керування смарт-плівкою

Для локального візуального контролю обрано графічний OLED-дисплей (контролер SSD1306) [24]. OLED-матриця забезпечує високу контрастність під будь-яким кутом та низьке енергоспоживання завдяки відсутності загальної підсвітки. Підключення екрана по шині I2C економить цифрові порти мікроконтролера. OLED-дисплей зображено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 - OLED-дисплей

Для створення системи інтелектуального затінення оранжереї без перекриття вентиляційних каналів та без використання громіздких механічних штор (жалюзі) у проєкті використано технологію «розумного скла» на базі смарт-плівки PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal) [27]. Застосування даного матеріалу дозволяє керувати оптичними властивостями світлопрозорого покриття на молекулярному рівні, змінюючи рівень світлопропускання залежно від подачі керуючого електричного сигналу. Загальний вигляд інтегрованої в систему смарт-плівки наведено на рисунку 2.12.

Фізичний принцип функціонування PDLC-структури базується на зміні просторової орієнтації рідких кристалів у полімерній матриці під дією зовнішнього електричного поля. За відсутності напруги мікрокраплі рідких

кристалів розташовані всередині рідкокристалічного шару хаотично. Світловий потік, що проходить крізь плівку, заломлюється на межі розділу середовищ «полімер-кристал» і хаотично розсіюється в усіх напрямках. Візуально плівка переходить у матовий стан, забезпечуючи ефективне затінення рослин від прямих сонячних променів, але зберігаючи високий рівень дифузного (розсіяного) природного освітлення, що виключає утворення зон тіні.

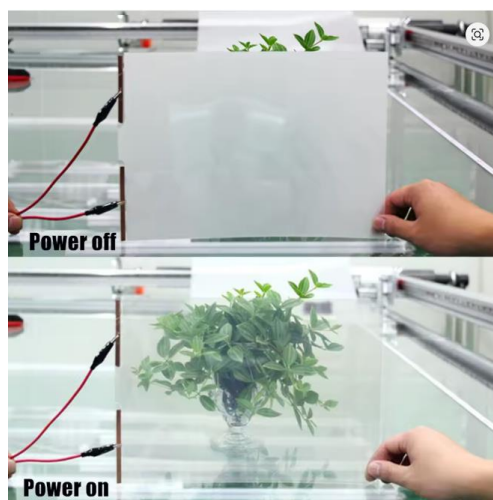


Рисунок 2.12 - Смарт-плівка

Оскільки плівка живиться від автономних підвищувальних джерел, для керування нею передбачено електромагнітне реле. Воно забезпечує надійну гальванічну розв'язку кіл та нульовий опір у замкненому стані, виключаючи струми витоку, що можуть пошкодити плівку [26].

2.1.6 Підсистема живлення

Система потребує стабільного живлення від електромережі: 12 В для силових ланцюгів (не менше 2 А) та 5 В для цифрової логіки [25]. Використання лінійних стабілізаторів є недоцільним через сильний перегрів при перетворенні з 12 В у 5 В.

Тому було обрано імпульсний понижуючий DC-DC перетворювач на базі LM2596. Він має високий ККД та гарантує стабільні 5 В без пульсацій навіть

під час імпульсних навантажень від двигуна, захищаючи цифрові шини від перешкод. Перетворювач зображено на рисунку 2.13.

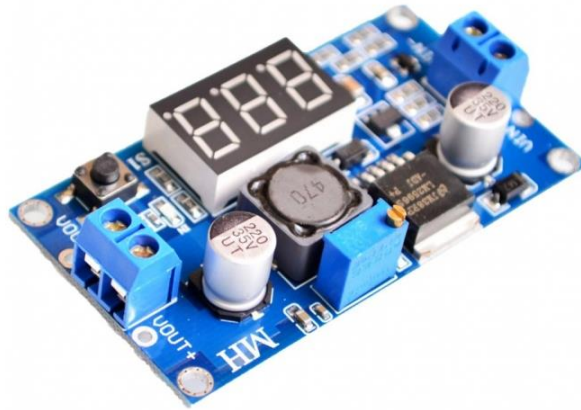


Рисунок 2.13 - Перетворювач на базі мікросхеми LM2596

2.2 Створення електричної принципової схеми

Розробка електричної принципової схеми та програмної логіки є ключовим етапом створення системи клімат-контролю теплиці. Оскільки комплекс об'єднує цифрові сенсори, інтерфейси візуалізації та силове обладнання, головним завданням схемотехнічного проектування є забезпечення їхньої завадостійкої та безконфліктної спільної роботи.

На перший план висуваються вимоги щодо надійності контурів живлення, захисту цифрових шин від наведень при роботі з віддаленими блоками датчиків, а також ізоляції слабкострумової логіки мікроконтролера.

Апаратна реалізація є фізичним фундаментом системи, на базі якого розробляється алгоритм автономного функціонування комплексу. Програмне забезпечення здійснює циклічний збір даних із сенсорів, їх математичну агрегацію та аналіз параметрів мікроклімату для формування превентивних команд керування виконавчими механізмами.

2.3 Розробка принципової електричної схеми

Електрична принципова схема комплексу - це не просто сукупність з'єднаних радіоелектронних компонентів, а графічне відображення фізики

					ДІПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

взаємодії всіх вузлів системи. Оскільки розроблюваний прототип керування мобільним дахом поєднує в собі абсолютно різні за своєю природою електричні кола (чутливі високочастотні цифрові шини, слабкострумові аналогові лінії та потужні силові контури електродвигуна), підхід до проєктування схеми має бути строго структурованим.

Спроба звести всі з'єднання в єдиний нерозривний моноліт є технічно неграмотною. Це неминуче ускладнює читабельність документації, створює проблеми при подальшому трасуванні друкованої плати та, найголовніше, призводить до порушення електромагнітної сумісності. Наприклад, імпульсні завади та зворотна електрорушійна сила від колекторного двигуна можуть легко викликати збій у роботі мікроконтролера або спотворити показники прецизійних датчиків, якщо їхні контури живлення та "землі" не будуть грамотно розділені [28].

З огляду на це, під час розробки принципової електричної схеми було застосовано чіткий модульний принцип. Усю апаратну архітектуру пристрою логічно та візуально поділено на окремі функціональні блоки (модулі). Кожен із цих блоків виконує свою вузькоспеціалізовану задачу - від підготовки та стабілізації напруги до безпосередньої комутації силових навантажень. Такий поділ дозволяє оптимізувати розведення сигналів, забезпечити гальванічну або логічну розв'язку критичних вузлів та значно спрощує алгоритм пошуку несправностей під час налагодження прототипу.

Нижче наведено детальний схемотехнічний аналіз кожного з цих апаратних модулів та обґрунтовано логіку їхньої електричної взаємодії в межах загальної системи.

2.3.1 Реалізація блоку зовнішніх модулів та сенсорів

Для забезпечення своєчасної реакції системи на зміни погодних умов, частину сенсорної апаратури винесено в окремий вуличний блок. З точки зору схемотехніки, головною проблемою при підключенні зовнішніх датчиків є

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

мінімізація втрат сигналу та наведень на довгих з'єднувальних провідниках. Блок об'єднує чотири різні модулі, кожен з яких має специфічний інтерфейс підключення до мікроконтролера.

Для фіксації опадів використовується модуль з компаратором LM393, що видає дискретний цифровий сигнал (рис.3.1). Згідно з розробленою принциповою схемою, його виводи живлення підключені до загальної стабілізованої шини 5 В. Інформаційний вихід (OUT) компаратора заведено на цифровий порт D2 мікроконтролера (на схемі позначений як лінія Raindrops). Вибір саме цього порту є критично важливим і технічно обґрунтованим: пін D2 в архітектурі ATmega328P підтримує обробку зовнішніх апаратних переривань (INT0) [29]. Це дозволяє системі не витрачати ресурси на постійне опитування датчика, а миттєво реагувати на появу логічного нуля при перших краплях дощу, екстрено зупиняючи інші процеси та закриваючи дах.

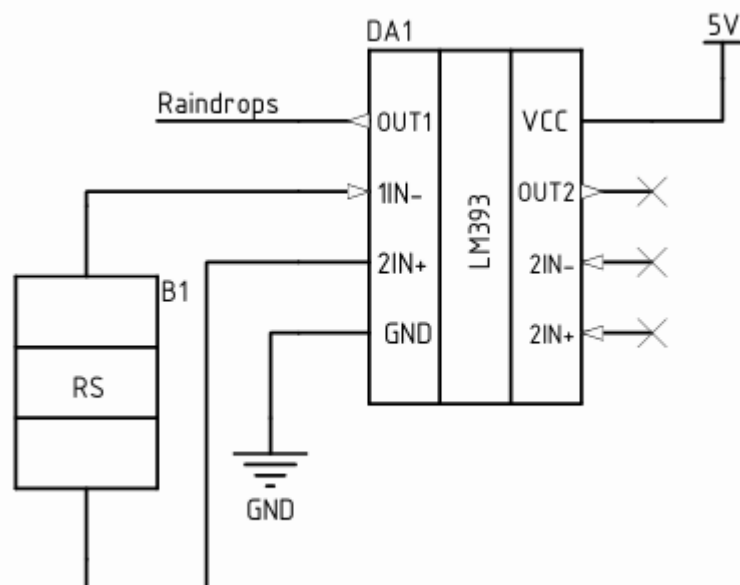


Рисунок 2.14 - Модуль датчика опадів

Датчик освітленості (BH1750) є цифровим, його підключення реалізовано через системну шину I2C. Лінії SDA (дані) та SCL (тактування) модуля підключені до відповідних апаратних виводів мікроконтролера (A4 та A5). На принциповій схемі чітко видно важливу апаратну конфігурацію: вивід вибору

адреси (ADDR) датчика жорстко з'єднаний із контуром "землі" (GND) (рис.3.2). Таке стягування апаратно фіксує I2C-адресу пристрою на значенні 0x23, що запобігає будь-яким адресним конфліктам на спільній шині та гарантує стабільну ідентифікацію датчика мікроконтролером [30].

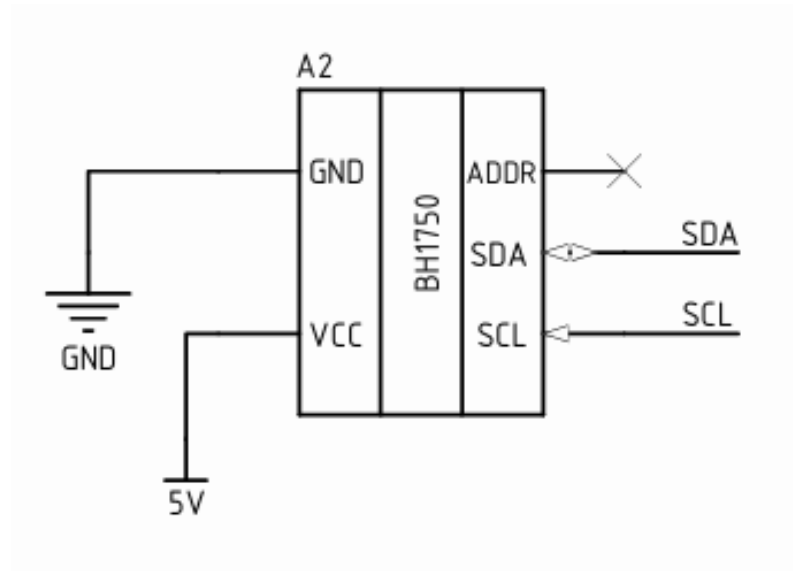


Рисунок 2.15 - Модуль датчика освітленості

Зовнішній метеорологічний датчик DHT11 спілкується з мікроконтролером за допомогою специфічного однодротового цифрового протоколу. Сигнальний вивід модуля (OUT) підключено до цифрового порту D4 (лінія DHT) (рис.3.3). Для забезпечення коректної роботи цього інтерфейсу на схемі між лінією живлення (5 В) та інформаційною лінією встановлено підтягувальний резистор (R5) номіналом 10 кОм. Він є обов'язковим елементом, оскільки вихідний каскад датчика побудований за схемою з відкритим колектором (open-drain) [31]. Цей резистор гарантує стабільний рівень логічної одиниці на шині у стані спокою, унеможливаючи появу хибних сигналів від електромагнітних наведень на вуличному шлейфі.

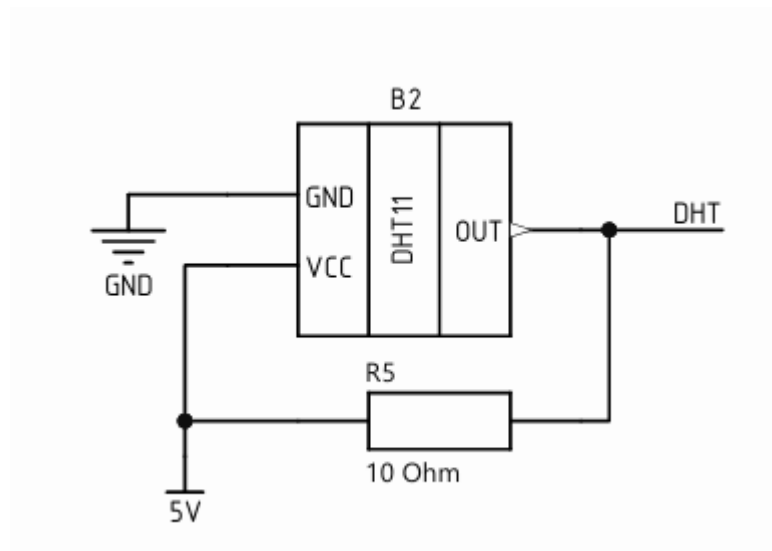


Рисунок 2.16 - Модуль зовнішнього датчика температури

Датчик ультрафіолетового випромінювання (GUVA-S12SD), на відміну від попередніх модулів, має аналоговий вихід. Його підключено до аналогово-цифрового перетворювача мікроконтролера (порт A1). Оскільки рівень вихідної напруги датчика прямо пропорційний інтенсивності ультрафіолету і рідко перевищує 1-2 В, пряме аналогове підключення без додаткових ділників напруги є цілком безпечним для 5-вольтової логіки контролера. Використання вбудованого АЦП мікроконтролера дозволяє отримувати точні показники сонячної радіації для подальшого алгоритмічного керування смарт-плівкою.

Таким чином, схемотехнічна реалізація зовнішнього метеорологічного блоку забезпечує комплексний збір усіх критично важливих кліматичних даних. Використання змішаної архітектури інтерфейсів (цифрові шини I2C та 1-Wire, апаратні переривання та аналогові лінії) дозволило оптимально розподілити навантаження на порти мікроконтролера та уникнути конфліктів при паралельному опитуванні датчиків. Наявність необхідної апаратної обв'язки у вигляді підтягувальних резисторів та фіксованих адрес гарантує стійкість системи до електромагнітних наведень під час передачі сигналів по довгому вуличному шлейфу до головної плати керування.

2.3.2 Реалізація підсистеми моніторингу внутрішнього середовища

Для контролю параметрів безпосередньо всередині оранжереї використовується прецизійна сенсорна база, яка електрично інтегрована в загальну мережу мікроконтролера. До цієї групи належать датчики для вимірювання мікроклімату повітря та температури ґрунту. Датчик температури та вологості (HTU21D)

Цей модуль застосовується для зчитування високоточних показників повітря під куполом даху. Конструктивно він підключається до загальної цифрової шини I2C. Лінії SDA (дані) та SCL (тактування) модуля заведені на апаратні порти A4 та A5 мікроконтролера паралельно з вуличним датчиком освітленості. Оскільки інтерфейс I2C підтримує апаратну адресну маршрутизацію (кожен чип має свій унікальний заводський ідентифікатор), паралельне підключення кількох пристроїв на одні й ті самі фізичні контакти контролера не викликає електричних чи програмних конфліктів. Живлення модуля здійснюється від загальної стабілізованої лінії 5 В.

Для моніторингу температури кореневої зони або води в резервуарі для поливу застосовано герметичний датчик DS18B20 (рис.3.4), що працює за асинхронним протоколом 1-Wire. Його інформаційний вивід (OUT) підключено до цифрового порту D6 (лінія Temperature) мікроконтролера. Ключовою інженерною особливістю схемотехнічного рішення для цього модуля є встановлення обов'язкового підтягувального резистора номіналом 4.7 кОм між лінією передачі даних та шиною живлення (5 В). Згідно зі специфікацією протоколу 1-Wire, шина працює за принципом відкритого стоку. Цей підтягувальний резистор є критично необхідним для формування чітких логічних рівнів "одиниці" під час інформаційного обміну [32]. Без його наявності мікроконтролер не зможе коректно дешифрувати цифрові імпульси, що призвело б до повної втрати зв'язку з датчиком ґрунту.

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

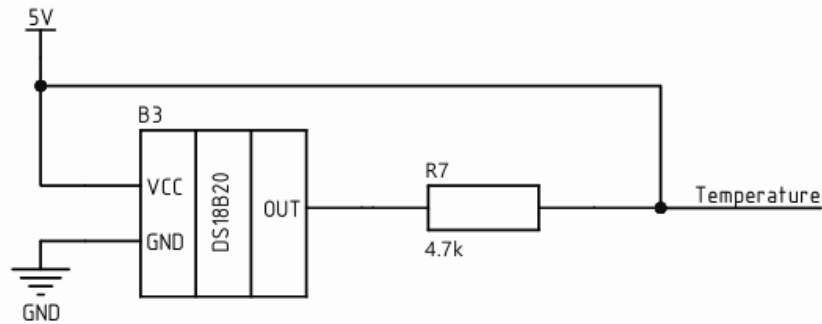


Рисунок 2.17 - Модуль датчика температури ґрунту

2.3.3 Реалізація обчислювального ядра та системи індикації

Центральним вузлом, що координує роботу всього програмно-апаратного комплексу, є обчислювальне ядро на базі мікроконтролерної плати Arduino Nano. Зі схемотехнічної точки зору, цей модуль виконує функцію комутаційного та логічного хаба, до якого сходяться всі сигнальні магістралі від периферійних пристроїв. Живлення логічної частини плати здійснюється безпосередньо від стабілізованої шини 5 В. На принциповій схемі напруга подається на апаратний вивід 5V, оминаючи вбудований лінійний стабілізатор плати (вивід VIN не задіяно). Це схемотехнічне рішення дозволяє уникнути подвійного перетворення напруги та знижує загальне теплове навантаження на мікроконтролер у закритому корпусі панелі керування. Виводи загального контуру GND надійно об'єднані із «землею» всієї системи для забезпечення єдиного еталонного потенціалу при зчитуванні аналогових і цифрових сигналів. Для забезпечення візуального контролю за станом мікроклімату безпосередньо на пристрої, до обчислювального ядра підключено підсистему індикації - графічний OLED-дисплей. Цей модуль органічно інтегрований у загальну архітектуру, оскільки використовує ту саму цифрову шину I2C, що й датчики освітленості та внутрішньої вологості. Лінії тактування (SCL) та даних (SDA) дисплея підключені паралельно до виводів A5 та A4 мікроконтролера відповідно. Конфліктів на загальній шині не виникає, оскільки дисплей має

власну унікальну апаратну адресу (стандартно 0x3C). Живлення екрана (VCC) також заведено на загальну 5-вольтову лінію. Таке топологічне рішення (використання спільної шини I2C для датчиків і дисплея) дозволило суттєво зекономити кількість використаних портів вводу-виводу на мікроконтролері, залишивши їх вільними для підключення силових драйверів та кінцевих вимикачів.

2.3.4 Реалізація живлення та стабілізації напруги

Оскільки система керування оранжереєю працює зі змішаними навантаженнями (чутлива логіка та потужна електромеханіка), на принциповій схемі реалізовано дворівневу архітектуру живлення (рис. 3.5). Такий підхід гарантує, що просадки напруги під час старту двигуна не призведуть до перезавантаження мікроконтролера.

Первинне живлення надходить від зовнішнього мережевого адаптера (12 В) через вхідний конектор. Ця силова лінія 12В є нерозривною магістраллю, яка йде безпосередньо до модуля виконавчого механізму (драйвера двигуна) для забезпечення максимального тягового зусилля на валу.

Для живлення логічної частини комплексу (мікроконтролера, дисплея та всіх сенсорних модулів) використовується інтегрований модуль DC-DC перетворювача (імпульсний понижуючий стабілізатор). На принциповій схемі він позначений як «Модуль живлення» (A1). На його вхідні контакти подається нестабілізована напруга 12В, а з вихідних контактів (OUT+ та OUT-) знімається ідеально стабілізована напруга 5 В.

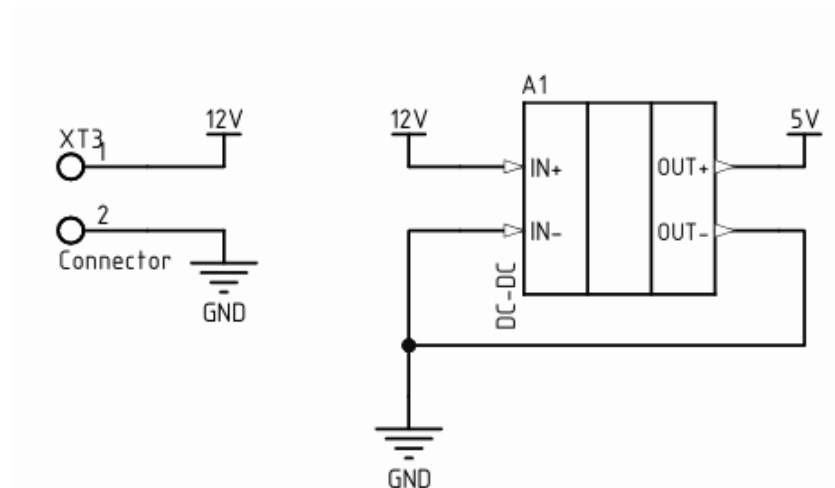


Рисунок 2.18 - Модуль живлення

Використання саме імпульсного перетворювача, а не класичних лінійних стабілізаторів (наприклад, 7805 або вбудованого регулятора самої плати Arduino), є жорсткою інженерною необхідністю. При зниженні напруги з 12В до 5 В лінійний стабілізатор розсіював би зайву енергію у вигляді великої кількості тепла. Імпульсний DC-DC модуль має високий коефіцієнт корисної дії, що виключає перегрів панелі керування та забезпечує струмовий запас, достатній для одночасної роботи всіх датчиків, дисплея та котушки електромагнітного реле [33]. Усі контури «землі» (GND) силової та логічної частин надійно об'єднані після перетворювача для забезпечення єдиного еталонного потенціалу.

2.3.5 Реалізація модуля виконавчого механізму

Для забезпечення фізичного переміщення стулки мобільного даху в схемі реалізовано ізольований силовий каскад на базі мікросхеми драйвера двигуна. Використання окремого драйвера є критичною апаратною необхідністю, оскільки цифрові порти мікроконтролера здатні комутувати струм лише до 40 мА, чого абсолютно недостатньо для живлення електродвигуна, а пряме підключення індуктивного навантаження неминуче призвело б до теплового пробоя мікропроцесора зворотною електрорушійною силою. Як видно з

розробленої принципової схеми (рис. 3.6), модуль виконавчого механізму має суворе розділення ліній живлення. Логічна частина мікросхеми драйвера (VCC) живиться від загальної стабілізованої шини 5 В, що гарантує ідеальне узгодження логічних рівнів керуючих сигналів з виходами Arduino Nano. Натомість силова магістраль живлення моста драйвера (VM) підключена безпосередньо до вхідної лінії 12 В. Таке апаратне розв'язування захищає мікроконтролер від критичних просадок напруги під час виникнення великих пускових струмів у момент старту двигуна. Для додаткового придушення високочастотних імпульсних завад, що генеруються щітковим вузлом колекторного мотора, силова лінія додатково зашунтована фільтруючими конденсаторами.

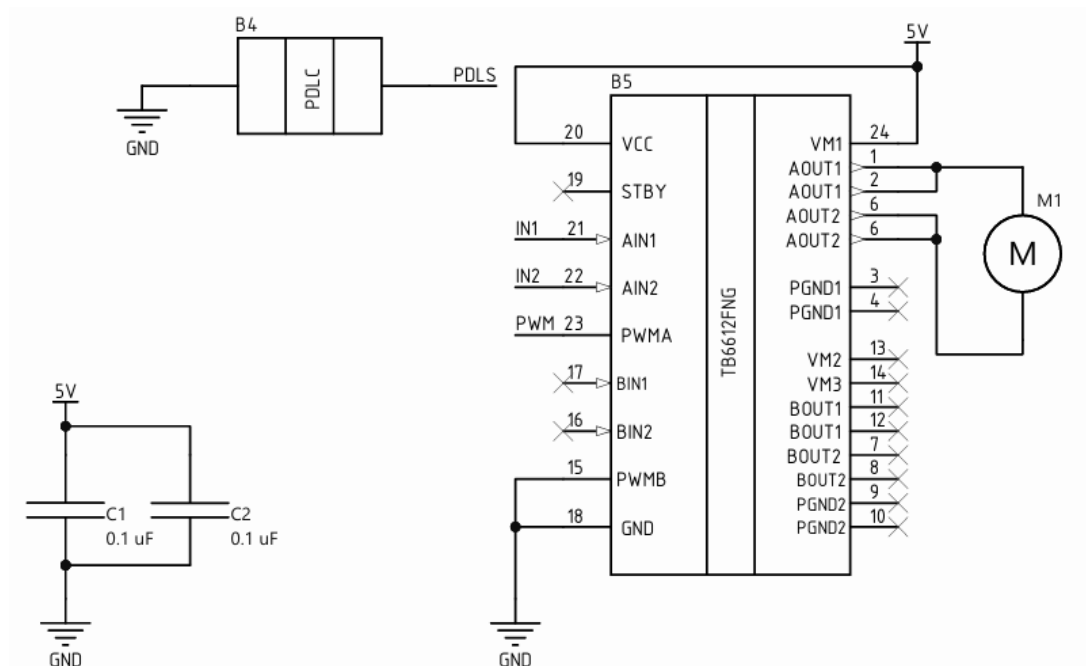


Рисунок 2.19 - Модуль виконавчого механізму

Керування внутрішніми Н-мостами драйвера здійснюється через виділені цифрові порти мікроконтролера. Для зміни напрямку обертання валу двигуна (реалізації реверсу для відкриття чи закриття стулки) використовуються логічні керуючі лінії, заведені на входи напрямку драйвера (наприклад, AIN1 та AIN2). За керування швидкістю обертання відповідає лінія широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), підключена до входу PWMA [34]. Використання ШІМ-

сигналу дозволяє алгоритмічно реалізувати плавний розгін та гальмування ступки даху, значно знижуючи ударні механічні навантаження на шестерні редуктора. Безпосередньо сам двигун постійного струму підключається до силових вихідних клем драйвера AOOUT1 та AOOUT2.

2.3.6 Реалізація модуля керування смарт-плівкою (PDLC)

Для реалізації інтелектуального затінення оранжереї принципова схема передбачає окремий комутаційний вузол - модуль електромагнітного реле. Головна інженерна задача цього блоку полягає у забезпеченні повної гальванічної розв'язки між слабкострумовою 5-вольтовою логікою мікроконтролера та ізольованим контуром живлення PDLC-плівки, який працює від автономних джерел живлення з підвищувальним перетворювачем.

Оскільки цифровий вивід мікроконтролера не здатен забезпечити струм, достатній для прямого вмикання котушки електромагнітного реле, у схемі модуля реалізовано проміжний підсилювальний каскад на базі біполярного транзистора (VT1). Керуючий сигнал від мікроконтролера надходить з цифрового порту D7 на базу транзистора через струмообмежувальний резистор. При появі логічної "одиниці" транзистор відкривається і комутує струм від шини 5 В через котушку реле на "землю" (рис. 3.7).

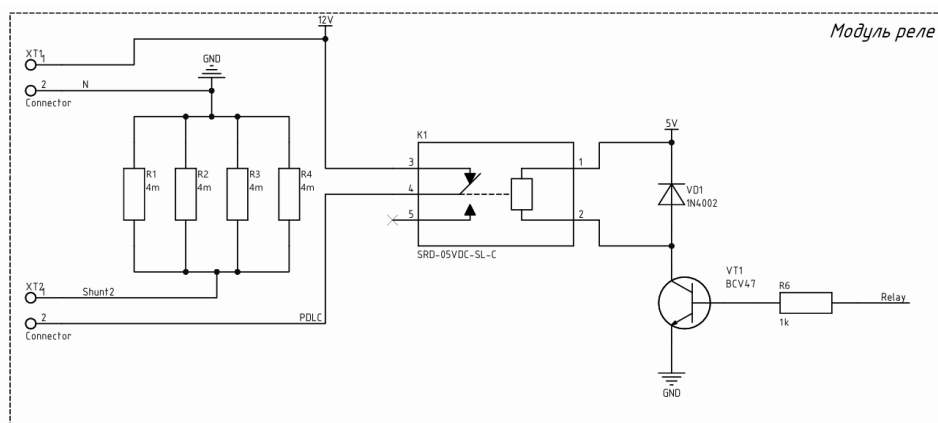


Рисунок 2.20 - Модуль реле

Критично важливим елементом захисту в цій схемі є діод (VD1), підключений паралельно до котушки реле у зворотному напрямку. Він виконує функцію гасіння зворотної електрорушійної сили (ЕРС) самоіндукції, яка виникає в момент зняття напруги з котушки [35]. Без цього захисного діода високовольтний імпульс неминуче пробив би транзисторний ключ і міг би пошкодити порт мікропроцесора.

Виконавча частина модуля реле (контакти) підключена до зовнішніх роз'ємів (ХТ3, ХТ4). Як видно з принципової схеми, навантаження складається з чотирьох паралельно з'єднаних сегментів смарт-плівки. Таке паралельне підключення гарантує, що на кожен фрагмент плівки розміром 10х10 см буде подаватися однакова робоча напруга, забезпечуючи рівномірне та синхронне перемикання всієї площі затінення з матового стану у прозорий при замиканні контактів реле.

2.3.7 Реалізація модуля користувацького інтерфейсу (панелі керування)

Для забезпечення інтерактивної взаємодії людини з системою та можливості локального керування оранжереєю, принципова схема комплексу містить апаратний модуль користувацького інтерфейсу. Він побудований на базі трьох тактових кнопок (на схемі позначені як SW1, SW2, SW3), що дозволяє реалізувати повноцінне меню керування без використання складних матричних клавіатур, економлячи цифрові порти мікроконтролера. З точки зору схемотехніки, кнопки підключені до цифрових виводів D8, D9 та D10 мікроконтролера Arduino Nano. Критично важливою деталлю цього вузла є наявність зовнішніх резисторів, які з'єднують сигнальні лінії з контуром загальної «землі» (GND).

Така конфігурація називається схемою зі стягувальними резисторами (pull-down). Вона є необхідною для жорсткої фіксації логічного "нуля" на входах мікроконтролера у моменти, коли кнопки не натиснуті. Без цих

					<i>ДІПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

резисторів виводи перебували б у «підвішеному» стані (floating) і збирали б електромагнітні наведення від силового блоку, що призводило б до хибних, хаотичних спрацьовувань системи [36]. При натисканні на кнопку контакти замикаються, і на відповідний порт подається напруга 5 В, формуючи чітку логічну "одиницю". Програмно-апаратна логіка панелі керування розподілена наступним чином: кнопки 1 та 2 (SW1, SW2) виконують подвійну функцію. Їх синхронне використання або утримання може перемикає систему між автоматичним (робота за показниками датчиків) та ручним режимами. У ручному режимі ці ж кнопки забезпечують пряме керування модулем виконавчого механізму - ініціюють примусове відкриття або закриття мобільного даху, що є необхідним для технічного обслуговування оранжереї. Кнопка 3 (SW3) відповідає за керування модулем індикації. Оскільки OLED-дисплей фізично не може одночасно вмістити весь масив даних з усіх шести метеорологічних датчиків та статус реле, натискання цієї кнопки генерує програмне переривання для гортання "екранів" інтерфейсу (наприклад, перемикає між екраном вуличних показників та екраном внутрішнього мікроклімату). Така реалізація забезпечує повний контроль над системою у випадках позаштатних ситуацій або відсутності потреби в автоматичному алгоритмі, роблячи розроблений прототип повноцінним автономним пристроєм.

Висновок до розділу 2

У даному розділі було виконано розробку структурної та апаратної частини автоматизованої системи керування мобільним дахом оранжереї. На основі аналізу функціональних вимог сформовано модульну архітектуру пристрою, що забезпечує чіткий розподіл системи на сенсорні, керуючі, виконавчі та інтерфейсні блоки.

Проведено обґрунтований вибір елементної бази, виконавчих компонентів, таких як драйвер двигуна, колекторний двигун з редуктором та

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

модуль керування PDLC-плівкою. Окрему увагу приділено підсистемі живлення, де застосовано імпульсний DC-DC перетворювач LM2596 для забезпечення стабільних рівнів напруги 5 В і 12 В при різних навантаженнях.

Також розроблено принципову електричну схему системи з урахуванням вимог електромагнітної сумісності, розділення силових і сигнальних ланцюгів, а також підвищення завадостійкості. Реалізовано модульний підхід до побудови кожного функціонального вузла, що дозволяє спростити діагностику, модернізацію та масштабування системи.

У результаті сформовано апаратну платформу, яка забезпечує надійну взаємодію між сенсорами, керуючою логікою та виконавчими механізмами, створюючи основу для подальшої реалізації алгоритмів автоматичного керування мікрокліматом оранжереї.

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ, КОНСТРУКТИВНЕ ОФОРМЛЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Алгоритм роботи системи

Для керування апаратною частиною прототипу було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, що виконує роль логічного ядра системи. Роботу алгоритму можна розділити на два базові етапи: первинну ініціалізацію та виконання безперервного головного циклу. При подачі живлення на мікроконтролер система проходить етап апаратного завантаження. З метою дотримання концепції безпеки (Fail-Safe), алгоритм встановлює жорстко детермінований початковий стан. За замовчуванням система переходить у «Ручний режим» керування; силовий драйвер двигуна знеструмлюється (механізм даху фіксується у поточному положенні для запобігання самовільному руху), а лінія керування смарт-плівкою залишається неактивною (PDLC == OFF), що гарантує її матовий (затінений) стан. Цей безпечний режим утримується до моменту фізичної взаємодії оператора з панеллю керування (зміни режиму на «Автоматичний» або подачі прямої команди руху). Після успішної ініціалізації мікроконтролер переходить до виконання головного програмного циклу [37]. Такий вибір архітектури зумовлений необхідністю безперервного моніторингу: програма постійно опитує сенсори, обробляє метеорологічні показники та керує виконавчими механізмами, не зупиняючись ні на мить. Даний підхід є критично важливим, оскільки мікроклімат закритого середовища -це вкрай чутлива система, що сильно залежить від мінливості зовнішніх факторів. В умовах помірно-континентальної кліматичної зони погода часто характеризується різкими перепадами: інтенсивна сонячна активність може швидко змінитися раптовою зливою або суттєвим зниженням температури. Тому програмне забезпечення спроектовано так, щоб воно не просто фіксувало поточні показники, а забезпечувало миттєву адаптацію конструкції до цих змін, превентивно

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

захищаючи внутрішній простір від термічного шоку, переохолодження чи затоплення. Особливої уваги заслуговує алгоритм керування механічним приводом даху. Замість використання класичних апаратних кінцевих вимикачів чи енкодерів, які в реальних умовах підвищеної вологості та перепадів температур часто виходять з ладу через корозію або механічне зношення контактів, у прототипі реалізовано розрахунковий метод програмного позиціонування (Dead Reckoning). Суть методу полягає у вимірюванні часового інтервалу, необхідного для повного ходу ступки [38]. Маючи ці емпіричні константи, мікроконтролер генерує ШІМ-сигнал (PWM) на силовий драйвер рівно на той час, який потрібен для крайнього відкритого або закритого положення. Цей підхід дозволив суттєво спростити електричну принципову схему макета, зробивши її надійнішою та стійкішою до агресивного середовища оранжереї, забезпечивши при цьому достатню точність позиціонування ступки.

3.1.1 Логіка алгоритму при ручному керуванні

Після апаратного завантаження система за замовчуванням перебуває у ручному режимі. Її головним завданням є забезпечення прямого контролю оператора над виконавчими механізмами (електродвигуном ступки та смарт-плівкою) без втручання логіки кліматичних сенсорів. Для мінімізації кількості фізичних ліній вводу-виводу мікроконтролера та спрощення електричної схеми панель оператора була оптимізована до двох електромеханічних тактових кнопок: «режим» та «дія». Оскільки в апаратній частині використовуються стандартні контакти без апаратних RC-фільтрів, алгоритм інтерфейсу містить вбудовану програмну обробку часових інтервалів на базі системних таймерів. Це дозволяє ефективно усувати апаратне брязкання контактів та чітко диференціювати типи команд, розширюючи функціонал фізичних кнопок [39]. В основу ручного керування покладено принцип кінцевого автомата станів, завдяки чому алгоритм (рис. 3.1) безпомилково диференціює команди користувача без ризику апаратних конфліктів [40].

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Керування стулкою (одинарний клік): кнопка «дія» працює як тригер перемикач. При фіксації одинарного натискання алгоритм оцінює поточне положення даху і виконує реверсивну команду. Якщо система фіксує, що дах закритий - формується сигнал на відкриття (з урахуванням позиціювання). Якщо дах вже відкритий - подається команда на закриття. У випадку, коли кнопка не натиснута, алгоритм утримує базовий стан, повністю знеструмлюючи силовий драйвер двигуна. Це виключає ризик самовільного або інерційного руху механізму.

Керування затіненням (подвійний клік): для керування локальним затіненням без необхідності встановлення додаткових перемикачів в алгоритм інтегровано обробку подвійного натискання для кнопки «режим». Мікроконтролер вимірює інтервал між двома замиканнями контакту. Якщо цей інтервал не перевищує заданої програмної константи (наприклад, 400 мс), фіксується подвійний клік, який ініціює програмну інверсію стану смарт-плівки. З огляду на апаратну логіку модуля, зміна стану означає або подачу робочої напруги для забезпечення прозорості (PDLC = ON), або примусове зняття живлення для переходу плівки у захисний матовий стан (PDLC = OFF).

Такий підхід до програмування інтерфейсу дозволив реалізувати повноцінне та інтуїтивно зрозуміле керування двома незалежними виконавчими механізмами, використовуючи мінімальний набір електронних компонентів, що суттєво підвищує відмовостійкість макета.

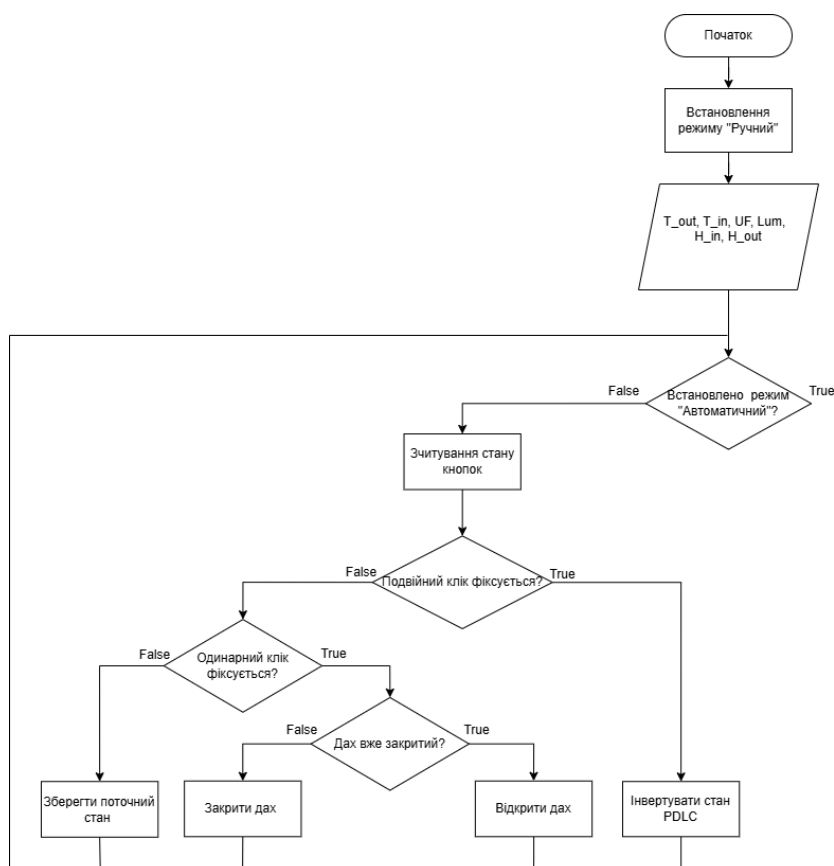


Рисунок 3.1 - Частина блок-схеми з алгоритмом ручного керування

3.1.2 Логіка алгоритму автоматичного керування

Після активації автоматичного режиму система переходить до циклічного опитування розгалуженої мережі сенсорів. Для того щоб система була не просто абстрактною моделлю, а практичним прототипом, усі порогові константи алгоритму були адаптовані спеціально для помірно-континентального клімату середніх широт. Це дозволяє забезпечити оптимальний мікроклімат для більшості тепличних агрокультур без перевитрати енергії. Оскільки високочутливі датчики (зокрема оптичні сенсори освітленості та модулі детекції опадів) схильні до незначних коливань сигналу та апаратного шуму, пряме використання їхніх миттєвих значень може призвести до хаотичного спрацьовування виконавчих механізмів («деренчання» системи). Для усунення цієї проблеми в алгоритм було інтегровано програмну фільтрацію даних. Для аналогових сигналів застосовано метод плинного середнього: мікроконтролер

накопичує масив вимірювань за визначений проміжок часу і розраховує середнє арифметичне значення. Це згладжує випадкові стрибки сигналу та гарантує стабільність вхідних даних перед їх подальшою обробкою [41]. Перед тим як відфільтровані дані потрапляють до логічних блоків прийняття рішень, сирі значення з аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера конвертуються у фізичні величини за допомогою математичних функцій [42]. Наприклад, для визначення індексу ультрафіолетового випромінювання (параметр UF) система спочатку перераховує 10-бітне значення АЦП у напругу за формулою 3.1:

$$V_{out} = ADC \cdot \frac{V_{ref}}{1023}, \quad (3.1)$$

де:

V_{out} - вихідна напруга сенсора, В;

ADC - цифрове значення, отримане з АЦП (у діапазоні від 0 до 1023);

V_{ref} - опорна напруга мікроконтролера (5.0 В).

Оскільки передавальна характеристика датчика ультрафіолетового випромінювання не є ідеально лінійною, використання спрощеної формули з єдиним коефіцієнтом було визнано неточним. Замість цього в алгоритмі реалізовано метод порогової класифікації на основі емпіричних даних із технічної специфікації сенсора. Розрахована напруга переводиться в мілівольти ($mV = V_{out} \cdot 1000.0$), після чого мікроконтролер порівнює це значення із заданими діапазонами. Програмний код використовує каскад умовних операторів, які зіставляють рівень напруги з цілочисельним УФ-індексом (від 0 до 11+). Наприклад, алгоритм фіксує безпечний індекс 0 при напрузі менше 50 мВ, індекс 3 - у діапазоні від 318 мВ до 408 мВ, а критичні значення (індекс 7 і вище) реєструються при напрузі понад 881 мВ. Такий підхід дозволяє уникнути складних математичних обчислень, значно пришвидшуючи роботу алгоритму

та забезпечуючи відповідність показників заводському калібруванню датчика. Зіставлення рівнів напруги з відповідним індексом ультрафіолетового випромінювання, реалізоване у вигляді програмних умов, наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Програмна класифікація порогових значень УФ-індексу

Діапазон розрахункової напруги (U), мВ	УФ-індекс	Рівень інтенсивності
$U < 50$	0	Відсутній
$50 \leq U < 227$	1	Низький
$227 \leq U < 318$	2	Низький
$318 \leq U < 408$	3	Помірний
$408 \leq U < 503$	4	Помірний
$503 \leq U < 606$	5	Помірний
$606 \leq U < 696$	6	Високий
$696 \leq U < 795$	7	Високий
$795 \leq U < 881$	8	Дуже високий
$881 \leq U < 976$	9	Дуже високий
$976 \leq U < 1079$	10	Дуже високий
$U \geq 1079$	11	Екстремальний

На відміну від аналогового УФ-сенсора, збір даних про мікроклімат (температура T , відносна вологість H) та рівень освітленості (Lum) здійснюється за допомогою інтегрованих цифрових модулів. Мікроконтролер отримує від цих сенсорів уже відкалібровані цифрові значення, тому вони не потребують математичного перетворення через АЦП. Однак, оскільки високочутливі датчики схильні до незначних коливань сигналу та апаратного шуму, пряме використання їхніх миттєвих значень може призвести до хаотичного спрацьовування виконавчих механізмів. Для усунення цієї проблеми було створено єдиний алгоритм агрегації даних для решти сенсорів.

Процес обробки поділено на два етапи: часове усереднення та цілочисельну дискретизацію. Алгоритм не приймає рішень на основі одиничного зрізу даних, натомість мікроконтролер накопичує масив вимірювань за визначений програмний цикл і розраховує середнє арифметичне значення за формулою 3.2:

$$X_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (3.2)$$

де:

X_{avg} - розраховане середнє значення (результат роботи фільтра);

N - кількість вимірювань, які беруться для розрахунку;

x_i - поточний показник датчика під час одного конкретного зчитування.

Для того, щоб оновлення даних на OLED-дисплеї не відбувалося занадто часто, а система не реагувала на кожну десяту частку градуса, алгоритм виконує округлення показників до цілих чисел. Математично це реалізовано через формулу 3.3 округлення та відсікання дробової частини за допомогою математичної функції floor [43]:

$$X_{out} = \lfloor X_{avg} + 0.5 \rfloor, \quad (3.3)$$

де:

X_{out} - розраховане ціле значення;

X_{avg} - розраховане середнє значення;

Завдяки цьому мікроконтролер працює лише з цілими градусами та відсотками. Це захищає двигуни даху від постійних зайвих рухів. Відфільтровані дані передаються далі, для вибору системою пріоритетів. Ієрархія прийняття рішень містить п'ять базових рівнів відповідно до розробленої блок-схеми (рис. 3.2).

Пріоритет I - аварійний захист (дощ). Найвищий пріоритет має апаратне переривання від датчика опадів. Якщо логічний рівень на виході модуля свідчить про наявність дощу, алгоритм блокує обробку будь-яких інших кліматичних параметрів і миттєво генерує команду на закриття ступки. Це

критичний рефлекс системи, спрямований на захист внутрішнього простору, електроніки та рослин від затоплення.

Пріоритет II - екстрене охолодження ($T_{in} > 35^{\circ}\text{C}$). За відсутності опадів система перевіряє загрозу критичного перегріву. Алгоритм оцінює не лише внутрішню температуру, але й наявність позитивного температурного градієнта ($T_{out} < T_{in}$). Якщо на вулиці прохолодніше, ніж усередині, система відкриває дах для інтенсивної конвекції. Одночасно смарт-плівка (PDLC) переводиться у матовий стан (Matte mode) для блокування прямого інфрачервоного та теплового випромінювання.

Пріоритет III - оптичний захист ($UF > 7$ або $Lum > 50000$). Якщо загрози екстреного перегріву немає, алгоритм аналізує рівень сонячної радіації. Використання логічного оператора АБО (||) дозволяє системі реагувати як на небезпечний рівень ультрафіолету ($UF > 7$), так і на надмірну яскравість освітлення (понад 50000 лк). При виконанні хоча б однієї з умов дах закривається, а PDLC-плівка виконує функцію затінюючого екрана, захищаючи рослини від фотохімічного стресу.

Пріоритет IV - помірна терморегуляція ($T_{in} > 26^{\circ}\text{C}$ і $T_{out} < T_{in}$) АБО ($T_{in} > 22$ і $T_{out} < T_{in}$ і $H_{in} < 43\%$). Це - робочий діапазон підтримки мікроклімату, поріг якого (26°C) обрано з урахуванням термодинаміки закритого ґрунту та біології рослин. Оптимальна температура для активного фотосинтезу більшості агрокультур становить $22-25^{\circ}\text{C}$ [44]. Значення 26°C виступає верхньою межею зони комфорту та діє як превентивний тригер. Через високу теплову інерцію оранжереї запуск охолодження на більш високих температурах призвів би до неминучого перегріву до моменту повної заміни повітряних мас. Тому при досягненні цього порогу система працює на випередження: активує м'яке провітрювання (відкриває дах) та переводить PDLC-плівку в матовий стан (Matte Mode). Це забезпечує розсіяне освітлення та плавне зниження температури без термічного шоку для рослин.

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Температурні пороги 22°C та 26°C обрано з урахуванням термодинаміки закритого ґрунту та фізіології рослин, оскільки оптимальний діапазон для активного фотосинтезу більшості агрокультур становить 22...25°C. Значення 26°C виступає верхньою критичною межею зони комфорту. Через високу теплову інерцію оранжереї запуск вентиляції на більш високих температурних номіналах призвів би до неминучого перегріву внутрішнього простору. Впровадження додаткової умови за вологістю $H_{in} < 43\%$ при досягненні температури 22°C дозволяє системі працювати на випередження та запобігати критичному висушуванню повітря. При спрацюванні будь-якого з тригерів пріоритету IV, мікроконтролер переходить у режим превентивного керування: активує функцію провітрювання (відкриття стулок мобільного даху) та переводить реле керування PDLC-плівкою в матовий стан (Matte Mode). Це комплексне рішення забезпечує формування розсіяного світлового потоку та плавне зниження температури, повністю нівелюючи ризик виникнення термічного шоку у рослин.

Пріоритет V- контроль вологості. Останній етап алгоритму спрямований на профілактику утворення конденсату та розвитку грибкових захворювань. Якщо відносна вологість усередині перевищує 80% ($H_{in} > 80\%$), а зовнішнє повітря є сухішим ($H_{out} < H_{in}$), алгоритм приймає рішення про скидання зайвої вологи шляхом відкриття даху. Для захисту розсади від термічного шоку в цю гілку інтегровано програмний запобіжник: провітрювання дозволено лише за умови зовнішньої температури $T_{out} > 14^\circ\text{C}$.

У випадку, коли всі кліматичні показники знаходяться в межах норми (немає дощу, перегріву, надмірного випромінювання та надлишкової вологості), алгоритм підтримує базовий стан системи: стулка замкнута, PDLC-плівка прозора.

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

3.2 Розробка та конструювання корпусів системи

3.2.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення та матеріалу

Після завершення етапу розробки електричної принципової схеми та підбору компонентної бази виникає об'єктивна необхідність у створенні надійної фізичної оболонки для апаратної частини прототипу. Використання стандартних універсальних пластикових корпусів промислового виробництва у даному проєкті є технічно недоцільним. Це пов'язано зі специфічними вимогами до нашої системи: необхідністю точного позиціювання елементів керування (OLED-дисплея та тактових кнопок) на лицьовій панелі, забезпеченням безперешкодного доступу повітря до внутрішнього прецизійного датчика мікроклімату, а також необхідністю організації індивідуального кабель-менеджменту для зв'язку із зовнішнім блоком та виконавчими механізмами мобільного даху. З огляду на це, було прийнято рішення про індивідуальне проєктування базового блоку з урахуванням усіх ергономічних та експлуатаційних вимог.

3.2.2 Вибір технології виготовлення та матеріалу

Для фізичної реалізації корпусу головного керуючого блоку системи автоматизації було обрано метод FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-друку. Як основний матеріал обрано полілактид (PLA-пластик) [46]. Вибір цього матеріалу обґрунтований його високою розмірною точністю при друці, відсутністю термічної усадки (що критично для збірки деталей з мінімальними допусками) та достатньою механічною міцністю для стаціонарного використання в умовах закритого приміщення. Оскільки базовий блок розташовується всередині оранжереї і не піддається прямому впливу атмосферних опадів чи екстремальних температур, температурний поріг деформації PLA (близько 60 °C) є абсолютно достатнім.

					ДІПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

3.2.3 Обґрунтування конструктивного виконання та матеріалів внутрішнього блоку системи

Внутрішній блок системи автоматизованого керування (рис. 3.3) призначений для розміщення центральної плати мікроконтролера, засобів користувацького інтерфейсу (кнопок керування, OLED-дисплея) та первинного перетворювача параметрів внутрішнього мікроклімату (цифрового датчика HTU21DF). Конструкція блока складається з двох основних елементів: корпусу та кришки, які утворюють захисну оболонку.

Спроектований базовий блок має зовнішні габаритні розміри 170x100x45 мм. Дані габарити створені згідно розрахунку внутрішнього компонуванням електронних вузлів.

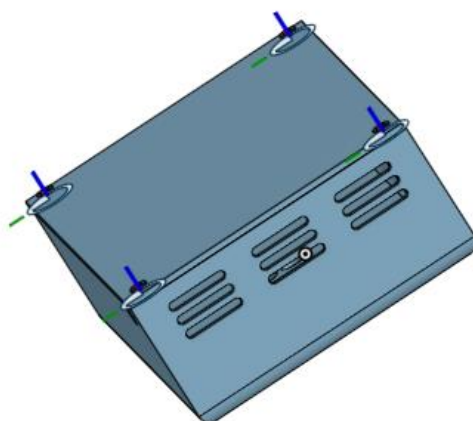


Рисунок 3.3 - 3D-модель збірки елементів корпусу внутрішнього блоку

Корпус внутрішнього блоку (рис. 3.4) є основною частиною захисної оболонки пристрою. Конструктивно всередині корпусу передбачені спеціальні циліндричні стійки-припливи з внутрішніми отворами під нарізь М3×0,5 для нарізання гвинтів. На панелях корпусу спроектовано круглі наскрізні отвори діаметром 7 мм та 8 мм для виведення штовхачів тактових кнопок користувацького інтерфейсу, а також вікно під OLED-екран. Усі отвори виконані з урахуванням технологічного допуску на похибку позиціонування

екструдера, що дозволяє змонтувати елементи без додаткового підпилювання пластику вручну.

Окрему увагу приділено питанню термодинаміки та вентиляції. Оскільки всередині блока знаходиться датчик HTU21DF, повністю герметична оболонка створила б ефект «теплової пастки» через виділення тепла від мікроконтролера та плати екрана під час роботи. Для забезпечення вільної природної конвекції повітря на гранях корпусу виконано 9 вентиляційних пазів розміром 20×3 мм та 9 пазів радіусом 1,5 мм. Ця перфорація дозволяє повітрю теплиці безперешкодно циркулювати через об'єм блока, завдяки чому датчик фіксує реальні поточні параметри мікроклімату, а не штучно перегріте середовище всередині коробки.

Граничні відхилення розмірів корпусу відповідають середньому класу точності для пластмасових вимірювальних виробів.

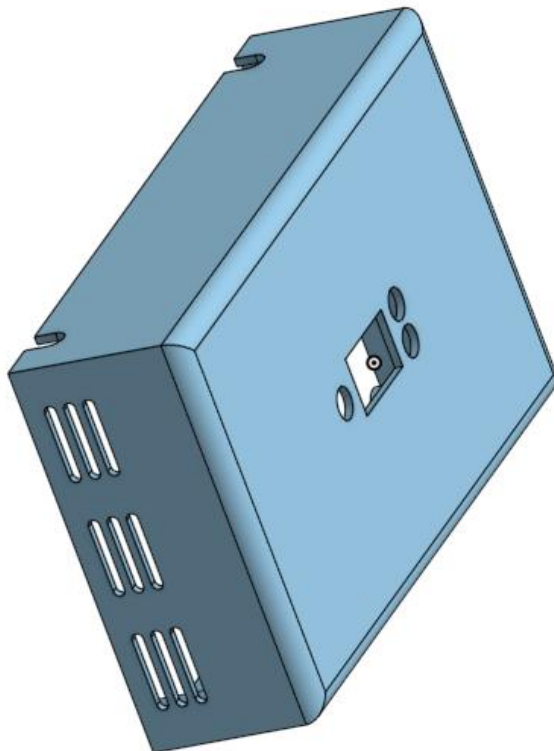


Рисунок 3.4 - 3D-модель основної частини корпусу внутрішнього блоку

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

3.2.4 Розробка кришки

Кришка внутрішнього блоку (рис. 3.9) є запірним елементом захисного корпусу контролера. Вона забезпечує механічний захист друкованої плати мікроконтролера, OLED-дисплея та комутаційних ліній від пилу та випадкових бризок вологи, що актуально для умов теплиці.

Деталь є плоскою прямокутною пластиною з габаритними розмірами 170×100 мм. Номінальна товщина стінки становить 2 мм, такий параметр обрано для забезпечення достатньої жорсткості деталі на вигин. Це гарантує, що кришка не буде деформуватися при механічному натисканні на штовхачі тактових кнопок, які виведені на лицьову панель.

Для монтажу кришки на основу корпусу по кутах передбачено чотири наскрізні отвори діаметром 4 мм. Їхні координати суворо прив'язані до стійок корпусу: міжцентрова відстань становить 158 мм по довжині та 88 мм по ширині. Діаметр отворів 4 мм розрахований під кріпильні гвинти М3 з урахуванням технологічного запасу. Цей запас необхідний для компенсації можливої похибки позиціонування екструдера 3D-принтера та теплової усадки матеріалу, щоб гвинти проходили вільно, без напруження і розтріскування пластику.

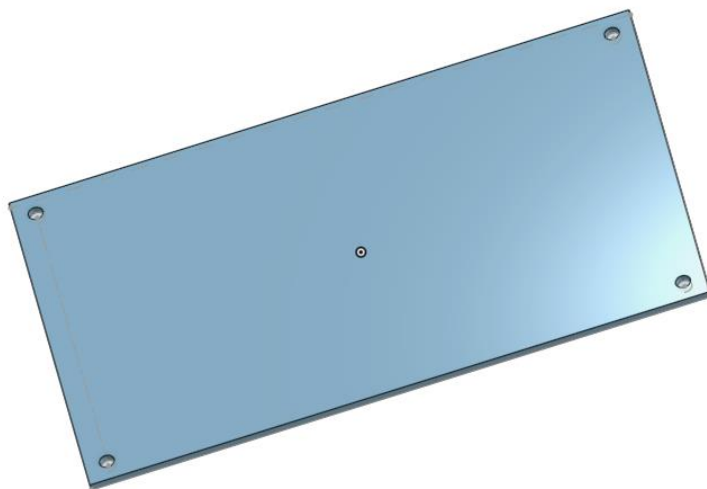


Рисунок 3.5 - 3D-модель кришки корпусу внутрішнього блоку

					ДІПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

3.2.5 Обґрунтування виконання зовнішнього блоку системи

Зовнішній блок системи автоматизованого керування (рис. 3.6) розроблений для збору метеорологічних даних безпосередньо з вулиці, поза межами внутрішнього простору теплиці. На відміну від внутрішнього модуля, цей блок працює у значно жорсткіших умовах, тому його головна конструктивна задача -захистити чутливу залізничну начинку, місця пайки дротів та шини обміну даними від агресивного впливу навколишнього середовища.

Головна інженерна проблема при проєктуванні такого вузла полягає в тому, що блок не можна зробити повністю герметичним, як глуху коробку, адже тоді датчики погоди опиняться в ізоляції й показуватимуть «погоду всередині корпуса», а не реальний стан атмосфери. Тому конструкція зовнішнього блоку розділена на два функціональні елементи: суцільну основу та спеціальну лицьову панель.

Разом вони утворюють захисний кожух із габаритними розмірами 113×80×63 мм. Такі компактні розміри дозволяють легко змонтувати пристрій на будь-якій тримальній стійці каркаса теплиці або на зовнішній стіні за допомогою стандартних металевих кронштейнів або хомутів [47].

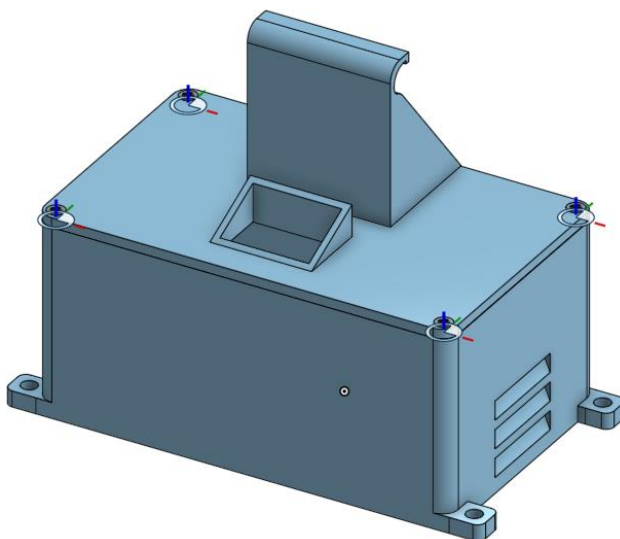


Рисунок 3.6 - 3D-модель основної частини корпусу внутрішнього блоку

3.2.6 Корпус зовнішнього блоку

Корпус зовнішнього блоку (рис. 3.7) спроектований у вигляді глибокої прямокутної чаші з висотою стінок 63 мм. Це основна тримальна деталь, яка бере на себе все механічне та кліматичне навантаження. Оскільки блок постійно знаходиться під відкритим небом, геометрія корпусу виконана повністю монолітною -на його нижній та бічних гранях немає жодних вентиляційних отворів, що практично виключає потрапляння косого дощу чи бруду всередину вузла.

Товщина стінок корпусу становить від 2 до 3 мм. Такий запас міцності закладений свідомо для того, щоб конструкція витримувала сильні пориви вітру, падіння гілок чи випадкові удари садовим інструментом під час обслуговування теплиці. Висота корпусу у 63 мм обрана для того, щоб сформувати достатній внутрішній об'єм. Усередині блока необхідно вільно розмістити плати узгодження сигналів, колодки для підключення дротів та захисні петлі кабельних вводів. Завдяки такій глибині, сигнальні кабелі від чотирьох різних датчиків можна розвести без критичних перегинів, зламів та взаємних наведень струму.

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

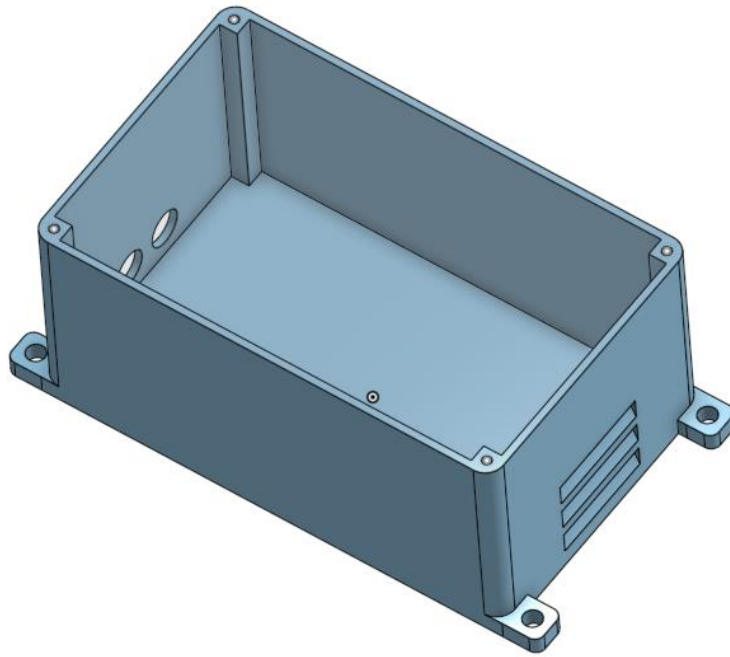


Рисунок 3.7 - 3D-модель основної частини корпусу внутрішнього блоку

Всередині корпусу, в його кутових зонах, виконані спеціальні вертикальні циліндричні стійки-припливи. Вони виконують подвійну функцію: слугують технологічними упорами для правильної посадки кришки й мають глухі внутрішні отвори. Ці отвори призначені для нарізання внутрішньої різьби під кріпильні гвинти М3. Використання стійок дозволяє відмовитися від окремих металевих гайок, що спрощує процес збирання та розбирання блоку в польових умовах.

3.2.7 Кришка зовнішнього блоку

Кришка зовнішнього блоку (рис. 3.8) закриває корпус і є головною робочою панеллю, на якій монтуються всі метеорологічні сенсори. Вона має габаритні розміри 113×80 мм та номінальну товщину 2 мм (позначення S2 на кресленику). Товщини у 2 мм цілком достатньо, щоб плоска деталь тримала форму, не прогиналася від вітру та надійно фіксувала датчики у своїх гніздах.

Конструктивно кришка є найскладнішою деталлю зовнішнього модуля, оскільки на ній розрахована ціла система специфічних вікон та отворів під кожен датчик окремо.

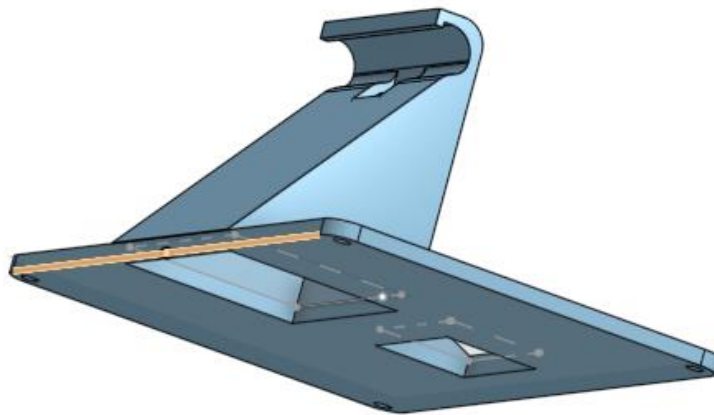


Рисунок 3.8 - 3D-модель кришки корпусу внутрішнього блоку

Прямокутне вікно 40×36 мм призначене для виведення назовні чутливої друкованої плати датчика опадів (дощу). Воно спроектоване так, щоб текстолітова пластина з доріжками лежала чітко врівень із зовнішньою площиною кришки, що забезпечує швидке стікання та потрапляння крапель води на сенсор.

Центральне прямокутне вікно розраховане під габарити датчика температури й вологості DHT11. Оскільки цей датчик має власний пластиковий перфорований кожух, вікно дозволяє виставити його безпосередньо в повітряне вуличне середовище для уникнення затримки вимірювань.

Круглі отвори діаметром 7,5 мм та 5 мм призначені під оптичні сенсори - цифровий датчик освітленості BH1750 та аналоговий ультрафіолетовий датчик GUVA-S12SD. Отвори підібрані точно під діаметри їхніх фотодіодів, щоб сонячне світло безперешкодно потрапляло на лінзи, але вода не могла затекти повз них всередину. По кутах кришки виконано чотири наскрізні гладкі отвори діаметром 3 мм. Їхні координати (міжцентрові відстані 50 мм по ширині та 80

					ДІПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

мм по довжині) ідеально збігаються зі стійками корпусу. Діаметр 3 мм забезпечує щільне входження гвинтів М3. При повному затягуванні кріплення кришка рівномірно притискається до торців корпусу по всьому периметру, утворюючи жорсткий, геометрично стабільний вузол, готовий до довгострокової роботи під відкритим небом.

Результат практичної реалізації спроектованого зовнішнього блоку після 3D-друку та монтажу всіх метеорологічних сенсорів представлено на рисунку 3.9. Як видно з фотографії, розроблена геометрія кришки забезпечила точне та щільне позиціонування плати датчика опадів. Це гарантує їхній прямий контакт із навколишнім середовищем для отримання неспотворених метеорологічних даних, при цьому всі внутрішні електронні компоненти, плати узгодження та лінії зв'язку залишаються надійно захищеними в об'ємі монолітної чаші корпусу.

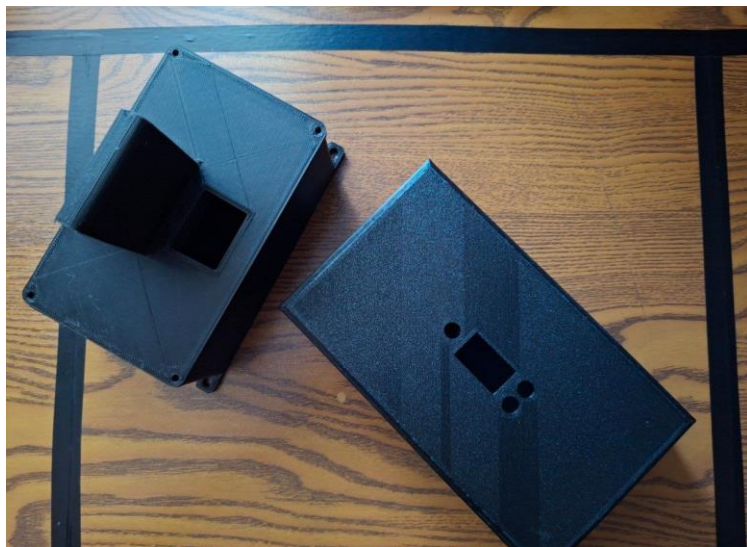


Рисунок 3.9 - Загальний вигляд виконаного корпусу

3.2.8 Загальне компонування

Окремим елементом загальної збірки є виконавчий блок, який являє собою зменшений фізичний макет розсувної покрівлі. Його конструкція містить тримальний каркас, рухому прозору стулку (PDLC-плівку) та кінематичний

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

вузол на базі електродвигуна з редуктором. Оскільки ця механічна частина виконує виключно функцію експериментального стенда для верифікації керуючих алгоритмів та оцінки крутного моменту, її геометрія має демонстраційний характер.

Однак, для наочного подання архітектури розробленого прототипу та візуалізації просторового компонування системи було сформовано загальну збірну модель апаратно-механічного комплексу (рис. 3.10). Вона відображає кінцеве взаємне розташування ключових вузлів: виконавчого механізму мобільного даху, базового блоку керування та виносного сенсорного модуля. Таке просторове подання дозволяє комплексно продемонструвати габарити готового пристрою та концепцію кріплення електронних блоків до тримального каркаса теплиці.

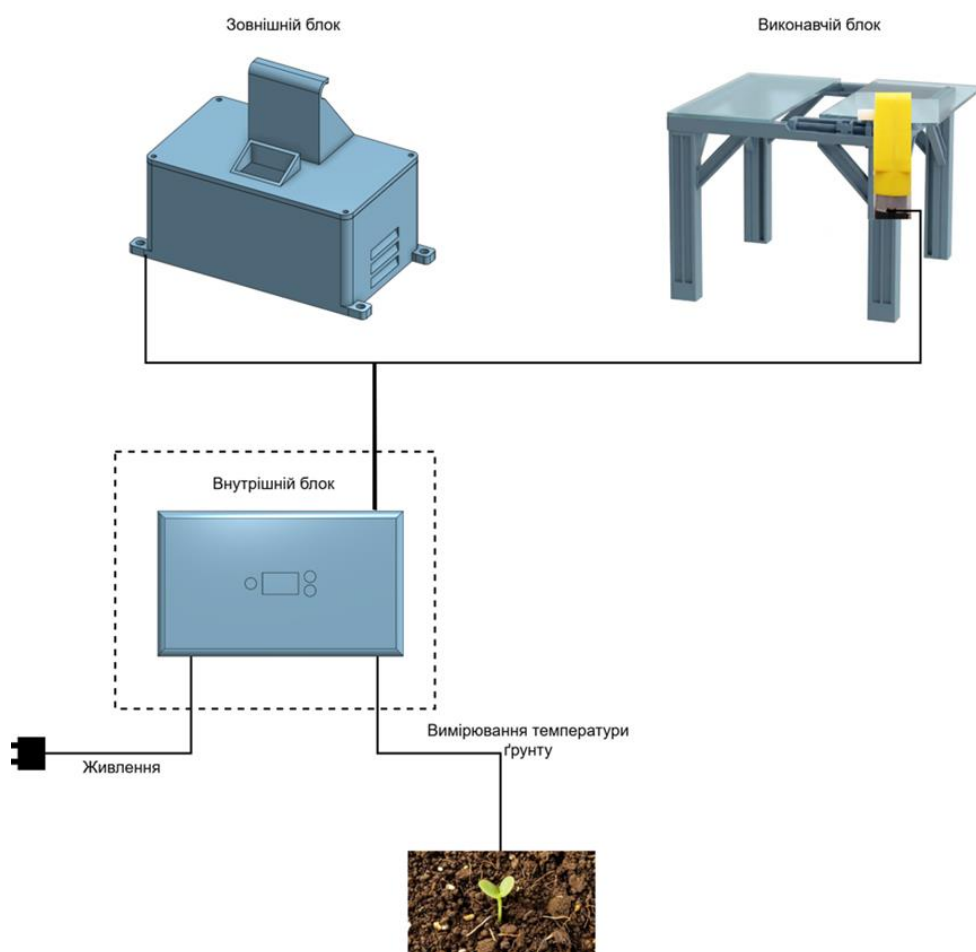


Рисунок 3.10 - Компонування прототипу автоматизованої системи керування мобільним дахом

3.3 Експериментальні випробування прототипу

алгоритмів керування, коректності зчитування даних із сенсорної підсистеми та оцінки швидкодії пристрою було створено експериментальний макет. На етапі первинних випробувань відладка системи проводилася у безкорпусному варіанті (рис. 11) з використанням еквівалентів навантаження для виконавчих механізмів.

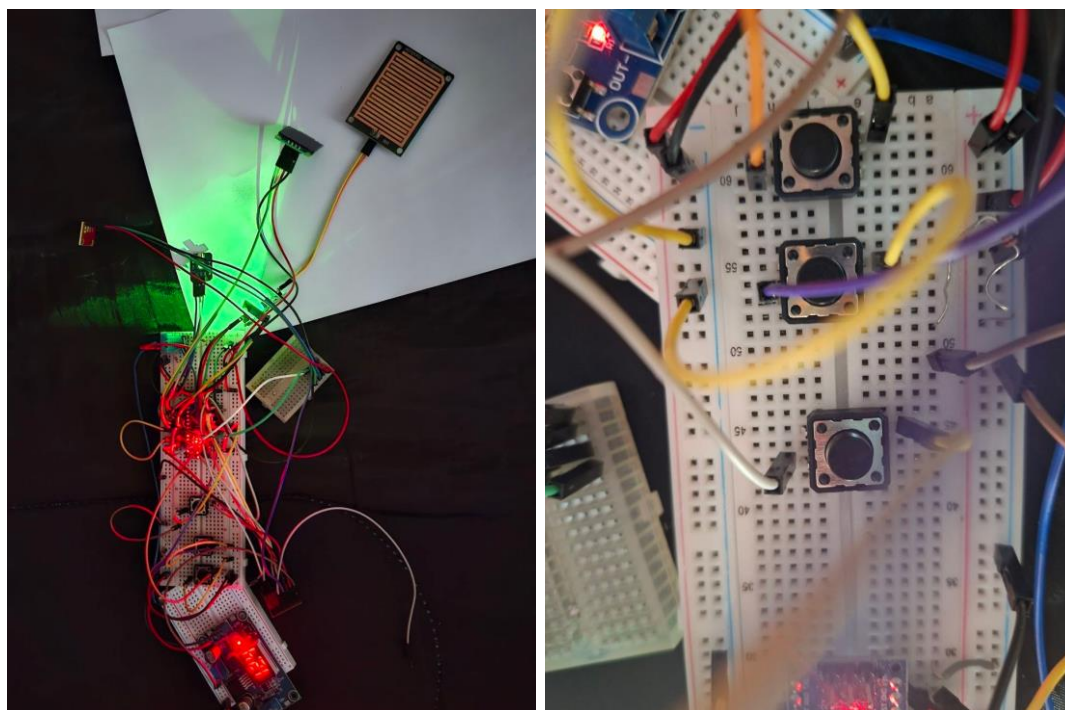


Рисунок 3.11 - безкорпусний макет системи керування мобільним дахом

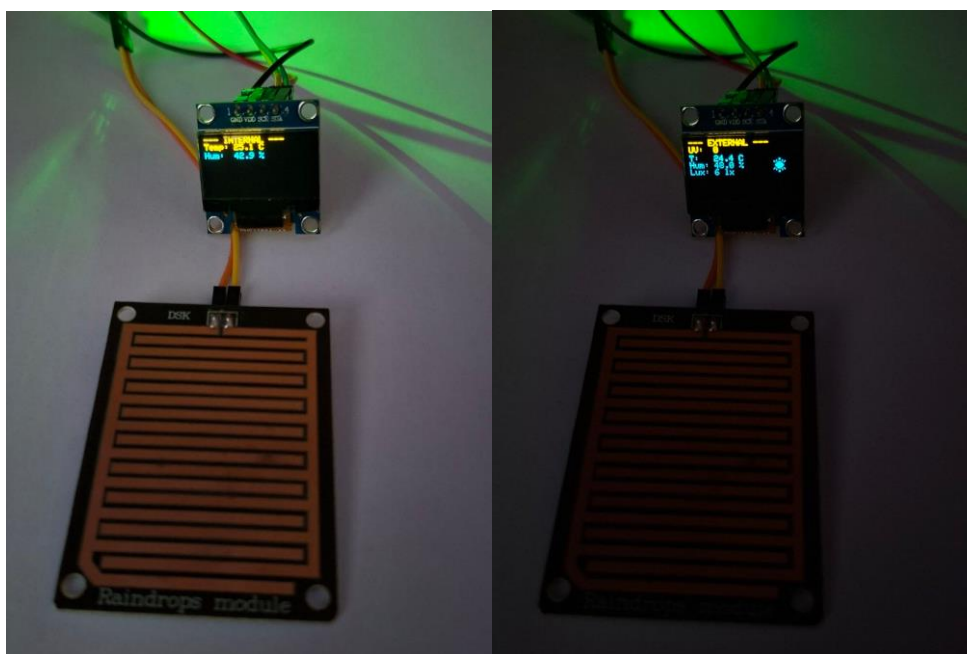
Оскільки метою етапу є верифікація логіки керування, фізичний привод переміщення стулки даху було замінено на інформаційний моніторинг вихідних сигналів драйвера двигуна (контроль наявності керуючої напруги на силових клеммах) та імітацію роботи двигуна. Комутація живлення рідкокристалічної PDLC-плівки здійснювалася через релейний модуль. Імітація змін погодних умов та параметрів мікроклімату (T_{in} , H_{in} , інтенсивність опадів та ультрафіолетового випромінювання) проводилася шляхом локального впливу на сенсори штучними чинниками.

У ході лабораторних тестів було покроково відтворено та зафіксовано роботу інформаційних екранів інтерфейсу користувача, відпрацювання автоматичних пріоритетів та роботу виконавчого привода.

3.3.2 Тестування інформаційних сторінок блоку моніторингу

Перемикання сторінкових індексів здійснювалося за допомогою тактової кнопки. Екран 1 (---INTERNAL---) (рис. 3.12, а): зафіксовано коректне зчитування внутрішніх параметрів оранжереї з датчика HTU21DF. На OLED-дисплей виведено стабільні значення: температура $T_{in} = 25.1^{\circ}\text{C}$, відносна вологість $H_{in} = 42.9\%$.

Екран 2 (---EXTERNAL---) (рис. 3.12, б): зафіксовано роботу зовнішньої сенсорної підсистеми. При штучній інсоляції зафіксовано рівень освітленості $Lux = 6\text{ lx}$, температуру $T_{out} = 24.4^{\circ}\text{C}$ та вологість $H_{out} = 48.0\%$. Завдяки логічній змінній `isRaining` у правому нижньому кутку дисплея успішно генерується графічне зображення сонця або дощу.



а)

б)

Рисунок 3.12 - а) моніторинг внутрішніх параметрів; б) моніторинг зовнішніх параметрів

3.3.3 Верифікація роботи логічного дерева в автоматичному режимі (AUTO)

Для переходу в режим автомата було задіяно кнопку. Було проведено серію тестів на критичні спрацьовування. Тест Пріоритету I (Імітація зливи): на поверхню сенсора опадів Raindrops було нанесено краплі води, що призвело до падіння аналогової напруги нижче порогового значення 800 одиниць. Реакція системи: змінна isRaining набула стану true. Драйвер отримав команду на зміну полярності для реверсного обертання двигуна. Привод відпрацював ідентичний часовий проміжок (2000 мс) у зворотному напрямку, що гарантувало повернення стулки у вихідне закрите положення. Також активувався прозорий стан плівки



а)



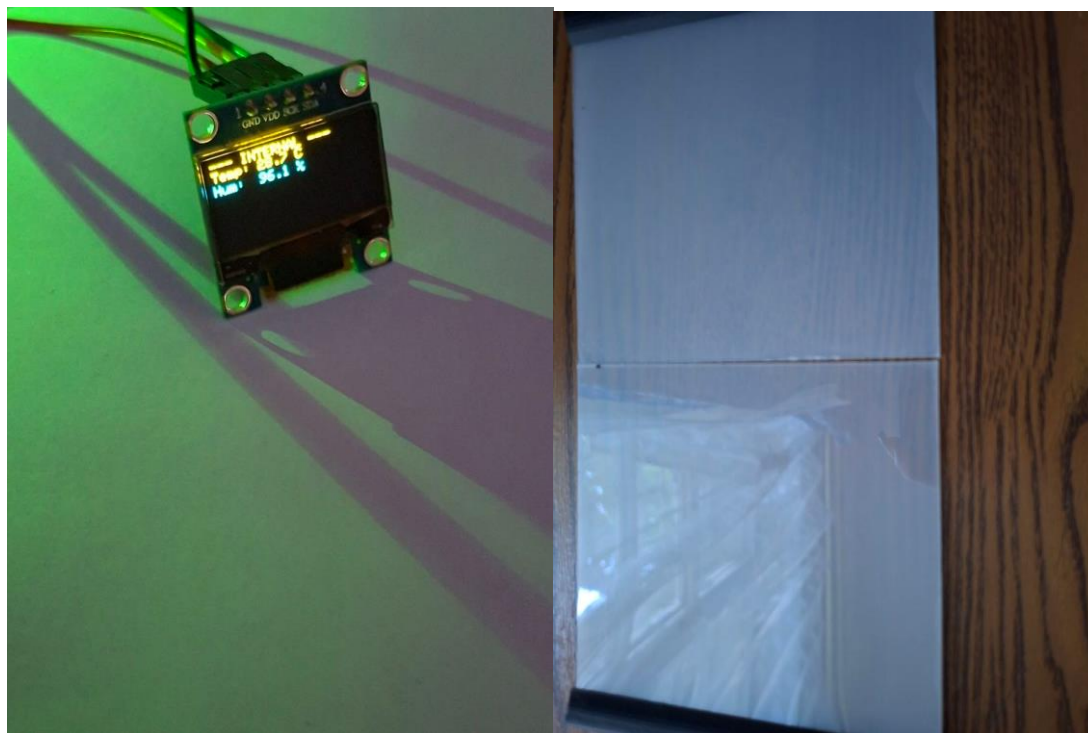
б)

Рисунок 3.13 - а) спрацювання датчика опадів; б) зміна стану плівки на «прозорий»

3.3.4 Тест терморегуляції та контролю парникового ефекту

Окремим етапом експериментальних досліджень стала перевірка працездатності програмних алгоритмів при імітації критичного зниження температури та різкого зростання відносної вологості повітря (парникового ефекту). Для цього було проведено серію локальних стрес-тестів безпосередньо на сенсорну підсистему макета.

Тест Пріоритету IV (Робочий діапазон терморегуляції) був проведений за умов сухої поверхні датчика дощу було виконано штучний підігрів датчика HTU21DF до рівня $T_{in} = 28^{\circ}\text{C}$, при цьому зовнішня температура становила $T_{out} = 24.4^{\circ}\text{C}$ ($T_{in} > 26^{\circ}\text{C}$ і $T_{out} < T_{in}$), рівень вологості піднявся до 96% (рис. 3.14, а). Автомат перейшов у режим превентивного охолодження. Стан даху змінився на «відкритий», а реле плівки перейшло в знеструмлений стан матування (рис. 3.14, б). На OLED-дисплеї відображено статус: Roof: OPEN, PDLC: OFF (MATTE).



а)

б)

Рисунок 3.14 - а) зміна показань вологості; б) зміна стану PDLC-плівки на матовий

					ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Для перевірки реакції системи на зниження температурних показників, цифровий датчик HTU21DF було піддано штучному охолодженню (рис. 3.15,а). На інформаційному екрані (рис. 3.15, б) внутрішнього моніторингу зафіксовано плавну стабілізацію температурного показника на рівні $T_{in} = 19.2^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості $H_{in} = 49.6\%$. Оскільки поточна температура всередині оранжереї впала нижче за комійні тригери превентивного провітрювання ($T_{in} < 22^{\circ}\text{C}$), мікроконтролер автоматично заблокував роботу драйвера двигуна на відкриття. Це підтверджує коректність відпрацювання логіки енергозбереження: система закриває мобільний дах для утримання внутрішнього тепла в оранжереї та подає живлення на PDLC-плівку для забезпечення максимального пропускання природного сонячного світла.



а)



б)

Рисунок 3.15 - а) штучне охолодження внутрішнього датчика вологи та температури; б) вивід даних на екран

3.3.5 Тестування системи за умов критичного ультрафіолетового опромінення

Критичним фактором для життєдіяльності рослин в умовах закритого ґрунту є рівень сонячної радіації, зокрема її ультрафіолетової складової. Для перевірки алгоритму превентивного захисту біологічних активів від

радіаційних опіків (Пріоритет III автоматичного дерева рішень) було проведено лабораторний стрес-тест із використанням штучного джерела короткохвильового випромінювання.

На аналоговий УФ-сенсор було спрямовано спрямований потік світла від ультрафіолетової лампи (рис. 3.16, а). Вбудований у мікроконтролер алгоритм математичного перерахунку напруги у фізичні величини (функція `getUVIndex`) миттєво зафіксував зростання напруги на аналоговому вході, що відповідає екстремальному індексу опромінення -UV: 11. При цьому рівень загальної освітленості на екрані EXTERNAL становив Lux: 12 lx, а температурні показники залишалися в межах норми (рис. 3.16, б). Спрацював програмний тригер критичного ультрафіолетового фону (умова $UF > 7$). Система автоматично перевела виконавчі механізми в режим захисту оранжереї: команда на закриття стулок для створення фізичного бар'єра (рис. 3.17).



а)

б)

Рисунок 3.16 - Експериментальна верифікація захисних алгоритмів при високому УФ-індексі: а) опромінення сенсора УФ-лампою; б) Телеметрія екрана (UV: 11).



Рисунок 3.17 - Стан вихідних тригерів на екрані STATUS

3.3.6 Дослідження чутливості сенсорної підсистеми в обмежених умовах

Важливою частиною тестування програмно-апаратного макета стало визначення меж спрацювання датчиків при моделюванні екстремальних погодних умов (інтенсивна сонячна інсоляція та критичні зовнішні кліматичні зміни) у штучному домашньому середовищі. У ході експериментів було виявлено певні апаратні обмеження імітаційних методів.

Тестування датчика освітленості BH1750 на максимальних порогах, для верифікації Пріоритету III (захист рослин від надмірного сонячного світла при $Lum > 50000 \text{ lx}$) було здійснено спробу імітації яскравого сонячного дня за допомогою штучного джерела спрямованого світла -світлодіодної лампи локального підсвічування (рис. 3.18).

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

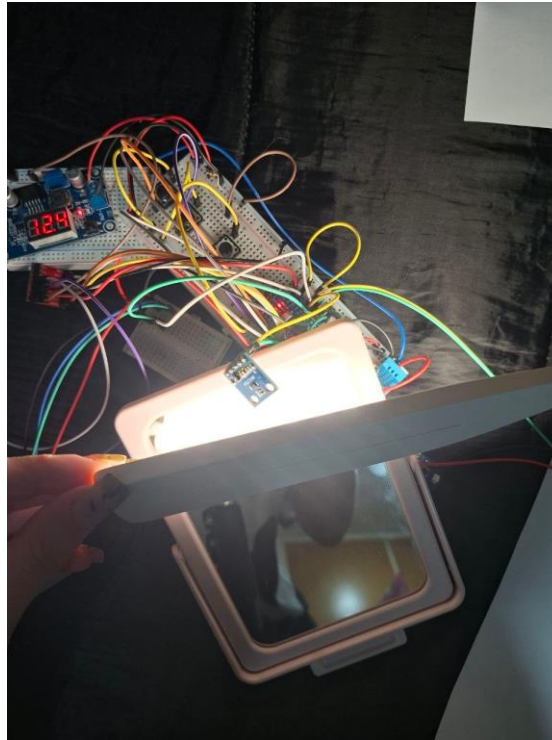


Рисунок 3.18 - Імітація сонячної інсоляції лампою штучного світла

Незважаючи на максимальне наближення датчика BH1750 до випромінювача, зафіксовані показники на екрані моніторингу не перевищили межу 12000-15000 lx. Порогове значення алгоритму автоматики (50000 lx) не було досягнуто. Отриманий результат пояснюється обмеженою потужністю та специфікою спектра побутових напівпровідникових освітлювальних приладів. Світловий потік штучного джерела є локалізованим і швидко згасає з відстанню, на відміну від прямого сонячного випромінювання, яке має колосальну енергетичну освітленість. Для повноцінної верифікації цього критерію в лабораторних умовах необхідне використання спеціалізованих освітлювальних стендів або проведення тестів під відкритим сонцем.

В результаті аналізу динамічного діапазону зовнішнього датчика DHT11 було зафіксовано аналогічне обмеження при спробі імітації критичних погодних змін для зовнішнього блоку датчиків на базі компонента DHT11. При тестуванні датчика в умовах житлового приміщення показники температури T_{out} та відносної вологості H_{out} коливалися у вузькому діапазоні (23...25°C та 45...50% відповідно). Спроби локального теплового впливу безпосередньо на

чутливий елемент не дозволили досягти стійкого розгалуження за Пріоритетом IV через високу швидкість теплообміну з навколишнім кімнатним повітрям.

Датчик DHT11 має вищу інерційність та нижчу роздільну здатність порівняно з внутрішнім сенсором HTU21DF. В умовах обмеженого лабораторного простору без герметичної кліматичної камери практично неможливо створити стійку та ізольовану різницю температур між двома точками на одній макетній платі.

Висновок до розділу 3

У даному розділі було здійснено комплексну програмно-алгоритмічну реалізацію системи автоматизованого керування мобільним дахом оранжереї, а також виконано розробку конструктивного оформлення та експериментальну перевірку працездатності прототипу. Розроблено структурований алгоритм роботи системи, який включає етапи ініціалізації та безперервного циклічного керування. Запропонована архітектура базується на принципі безпечного стартового стану (Fail-Safe), що гарантує стабільність роботи виконавчих механізмів при подачі живлення. Реалізовано два основні режими функціонування -ручний та автоматичний, що забезпечують як операторське керування, так і автономну адаптацію до змін мікроклімату. В автоматичному режимі розроблено ієрархічну систему прийняття рішень із п'ятьма пріоритетними рівнями, яка дозволяє оперативно реагувати на критичні зміни погодних умов, зокрема опади, перегрів, надлишкове ультрафіолетове випромінювання та порушення вологості. Для підвищення стабільності роботи системи впроваджено алгоритми фільтрації сигналів на основі методу ковзного середнього та дискретизації вимірюваних величин. Окрему увагу приділено реалізації користувацького інтерфейсу, який побудовано на принципах мінімізації апаратних ресурсів та використання кінцевого автомата станів. Це дозволило забезпечити зручне керування системою за допомогою обмеженої кількості кнопок із розширеним програмним функціоналом.

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

На етапі конструювання розроблено корпусні рішення для внутрішнього та зовнішнього блоків системи з урахуванням умов експлуатації, вимог до герметичності, вентиляції, механічної міцності та зручності монтажу сенсорів і електронних модулів. Обґрунтовано вибір технології FDM 3D-друку та матеріалу PLA як оптимального рішення для виготовлення прототипу.

Експериментальні випробування підтвердили працездатність розробленого програмно-апаратного комплексу. Система коректно реагує на зміну ключових метеорологічних параметрів, стабільно виконує алгоритми керування виконавчими механізмами та забезпечує надійне перемикання режимів роботи. Виявлені обмеження лабораторного тестування пов'язані переважно з неможливістю повної імітації природних зовнішніх умов у штучному середовищі.

Отримані результати підтверджують, що розроблена система є працездатним автономним прототипом із потенціалом подальшого масштабування та впровадження у реальні агротехнічні об'єкти.

					<i>ДПБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено автоматизовану систему керування мобільним дахом оранжереї, призначену для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату шляхом автоматичного регулювання положення покрівлі та керування покриттям. Під час виконання роботи було проведено аналіз сучасних систем мобільних покриттів та засобів автоматизації мікроклімату споруд захищеного ґрунту, визначено основні фактори, що впливають на ефективність вирощування рослин, а також сформульовано вимоги до структури та функціональних можливостей системи.

На основі проведеного аналізу розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою, виконано обґрунтований вибір елементної бази та спроектовано апаратну частину системи. Розроблене програмне забезпечення реалізує алгоритми автоматичного аналізу параметрів мікроклімату та прийняття рішень щодо відкривання або закривання мобільного даху. Додатково реалізовано функцію керування PDLC-плівкою, що дозволяє змінювати прозорість покриття залежно від рівня освітленості та сприяє захисту рослин від надмірної сонячної радіації. Передбачено також захисні алгоритми, спрямовані на забезпечення надійної роботи виконавчих механізмів та підвищення загальної безпеки експлуатації системи. У межах проєкту виконано розробку конструкції корпусу апаратної частини з урахуванням особливостей експлуатації в умовах підвищеної вологості та температурних коливань. Також створено лабораторний макет системи, на якому проведено експериментальні випробування основних режимів роботи. Результати випробувань підтвердили працездатність розробленої системи та відповідність її функціональних можливостей поставленим вимогам. Система забезпечує автоматичний моніторинг параметрів навколишнього середовища, своєчасно реагує на їх зміну та виконує керування мобільним дахом без постійного втручання оператора.

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Таким чином, поставлена мета дипломного проєкту досягнута, а всі основні завдання, визначені технічним завданням, виконані в повному обсязі. Розроблена система може бути використана як основа для створення повноцінних автоматизованих комплексів керування мікрокліматом теплиць та оранжерей, а також для подальшого розширення функціональних можливостей шляхом інтеграції додаткових сенсорів, засобів дистанційного моніторингу та технологій Інтернету речей.

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Velarium - Colosseum [Електронний ресурс] // The Free Encyclopedia. - 2026. - Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Velarium>
2. The Colosseum was covered by a giant awning that weighed 24 tons and was operated by 1000 expert sailors [Електронний ресурс] // Italy Rome Tour Official Website. - 2024. - Режим доступу: <https://www.italyrometour.com/the-colosseum-was-covered-by-a-giant-awning-that-weighed-24-tons-and-was-operated-by-1000-expert-sailors/>
3. The Retractable Roofs of the Royal Observatory Greenwich [Електронний ресурс] // Royal Observatory Greenwich Articles. - 2023. - Режим доступу: <https://www.royalobservatorygreenwich.org/articles.php?article=920>
4. A Brief History of Awnings and Retractable Shade Structures [Електронний ресурс] // Ozsun Awnings Sydney. - 2025. - Режим доступу: <https://ozsun.com.au/sydney-awnings/a-brief-history-of-awnings/>
5. Retractable roof systems in modern architecture [Електронний ресурс] // Wikipedia: The Free Encyclopedia. - 2026. - Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Retractable_roof
6. Retractable Pool Roofs and Enclosures: Architectural Solutions [Електронний ресурс] // Rollamatic Retractable Roofs Official Website. - 2025. - Режим доступу: <https://rollamatic.com/retractable-pool-roofs/>
7. Sensors: International Open Access Journal [Електронний ресурс] // MDPI Publishing. - 2026. - Режим доступу: <https://www.mdpi.com/journal/sensors>
8. Culture and Sports Facilities Movable Installation: Retractable Roof Systems [Електронний ресурс] // Mitsubishi Heavy Industries Machinery Systems. - 2024. - Режим доступу: <https://www.mhi.com/business/products-services/building-equipment-structures/retractable-roof>
9. Retractable Patio Roof Enclosures and Louvred Systems [Електронний ресурс] // Louvre Sky Australia. - 2025. - Режим доступу: <https://louvresky.com.au/retractable-patio-roof/>

					<i>ДІБ.ІІІ-21.01.1730.01.000.ІІЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

10. Schumacher M., Schaeffer O., Vogt M. M. MOVE: Architecture in Motion - Dynamic Components and Elements. - Berlin : Birkhäuser, 2010. - 256 p.
11. Liptak B. G. Instrument Engineers' Handbook. Vol. 2: Process Control and Optimization. - 4th ed. - New York : CRC Press, 2005. - 2464 p.
12. Design and Development of a Smart Retractable Roof for Residential Buildings Using Low-Cost Microcontrollers [Електронний ресурс] // ResearchGate. - 2023. - Режим доступу: <https://www.researchgate.net/>
13. Unveiling the Versatility of Retractable Roof Systems [Електронний ресурс] // Retractable Roof Technical Publications. - 2025. - Режим доступу: <https://retractableroof.com/wp-content/uploads/2025/08/Unveiling-the-Versatility-of-Retractable-Roof-Systems.pdf>
14. Березенко О. С. Автоматизована система вимірювання та реєстрації температури // Погляд у майбутнє приладобудування : зб. праць XVIII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Київ, 13-14 травня 2025 р.). - Київ : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. - С. -.
15. Березенко О. С., Терещенко М. Ф. Автоматизований пристрій вимірювання та реєстрації температури : пат. 161086 Україна : МПК G01K 7/16 (2006.01). № у 2025 02284 ; заявл. 14.05.2025 ; опубл. 05.11.2025, Бюл. № 45. - 4с.
16. Retractable Roofs for Restaurant Decks and Commercial Patios [Електронний ресурс] // Rollacover Retractable Enclosures. - 2025. - Режим доступу: <https://rollacover.com/retractable-roofs-for-restaurant-decks/>
17. Arduino Nano Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1424860/ETC/ARDUINO-NANO.html>
18. DHT11 Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2193416/OSEPP/DHT11.html>

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

19. BH1750FVI Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/338083/ROHM/BH1750FVI.html>

20. GUYA-S12SD Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/712047/ROITHNER/GUYA-S12SD.html>

21. LM393 Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1205302/TI1/LM393.html>

22. YL-83 Rain Detector Datasheet [Електронний ресурс] // Urolakostapk. - 2026. - Режим доступу: https://urolakostapk.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/yl-83-rain-detector-datasheet_low.pdf

23. HTU21D Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/880699/TEC/HTU21D.html>

24. DS18B20 Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>

25. TB6612FNG Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/807693/TOSHIBA/TB6612FNG.html>

26. L298N Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>

27. SSD1306 Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1179026/ETC2/SSD1306.html>.

28. LM2596 Datasheet [Електронний ресурс] // ALLDATASHEET. - 2026. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2032213/ONSEMI/LM2596.html>

29. What's the difference between normal PDLC film, self adhesive PDLC film and switchable PDLC glass? [Електронний ресурс] // PDLC Glass Official Website. - 2026.

30. ATmega328P: 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash [Електронний ресурс] // Microchip Technology. - 2015. - Режим доступу: <https://www.microchip.com/>

31. UM10204: I2C-bus specification and user manual [Електронний ресурс] // NXP Semiconductors. - 2021. - Режим доступу: <https://www.nxp.com/>

32. Ott H. W. Electromagnetic Compatibility Engineering. - New York : Wiley, 2009.

33. Scherz P., Monk S. Practical Electronics for Inventors. - 4th ed. - New York : McGraw-Hill, 2016.

34. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Електронний ресурс] // Maxim Integrated. - 2019. - Режим доступу: <https://www.maximintegrated.com/>

35. Austin H., Bill D. Electric Motors and Drives. - Oxford : Newnes, 2013.

36. Harris D. M., Harris S. L. Digital Design and Computer Architecture. - Waltham : Morgan Kaufmann, 2012.

37. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. - Cambridge : Cambridge University Press, 2015.

38. Mohan N., Undeland T. M., Robbins W. P. Power Electronics. - New York : Wiley, 2003.

39. Barr M., Massa A. Programming Embedded Systems. - Sebastopol : O'Reilly, 2006.

40. Samek M. Practical UML Statecharts in C/C++. - Oxford : Newnes, 2008.

					<i>ДІБ.ПГ-21.01.1730.01.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

41. Siegwart R., Nourbakhsh I. R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. - Cambridge : MIT Press, 2011.
42. White E. Making Embedded Systems [Електронний ресурс] // O'Reilly Media. - 2011. - Режим доступу: <https://www.oreilly.com/>
43. Smith S. W. The Scientist and Engineer's Guide to DSP [Електронний ресурс] // DSP Guide. - 1999. - Режим доступу: <http://www.dspguide.com/>
44. Ganssle J. The Art of Designing Embedded Systems. - 2008.
45. Suiarko, My Presentation [Електронний ресурс] // IMath KPI. - 2020. Режим доступу: https://www.imath.kiev.ua/~boyko/KPI%202020/HomeWork/Presentations/Suiarko/My_Presentation.pdf
46. Ball S. Analog Interfacing to Embedded Microprocessor Systems. - Amsterdam : Elsevier, 2003.
47. Bakker J. C. et al. Greenhouse Climate Control: An Integrated Approach. - Wageningen : Academic Publishers, 1995.
48. 3D Royal. Що таке PLA пластик [Електронний ресурс] // 3D Royal. - 2026. - Режим доступу: <https://3d.royal.co.ua/news/shcho-take-pla-plastik>
49. Технічне креслення: навч. посіб. / уклад.: О. Г. Гетьман, Н. В. Білицька, Г. В. Баскова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - 150 с.

ДОДАТКИ

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_HTU21DF.h>
#include <BH1750.h>
#include <DHT.h>

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

#define DHTPIN 2//Датчик вологи та температури зовнішній
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_HTU21DF htu = Adafruit_HTU21DF();
BH1750 lightMeter;//Датчик освітленості

//піни для кнопок та датчиків
const int btnScreen=9;
const int btnMode=3;
const int btnState=4;
const int uvPin =A0;
const int rainPin=A1;

//Піни для виконавчих
const int pinPdlc=10; //реле

const int PWMA=5; //драйвер
const int AIN1=6;
const int AIN2 =7;
const int STBY =8;

#define RELAY_ON LOW
#define RELAY_OFF HIGH
```

```

// логічні змінні
int pageIndex = 0; //поточна сторінка на екрані
unsigned long lastInteractionTime = 0;
const unsigned long timeout= 10000;
bool screenOn= true;

bool isAutoMode=false; //задаємо початкові стани компонентів
bool isRoofOpen=false;
bool isPdlcActiv =false;
bool previousRoofState=false;
bool motorIsMoving=false;
unsigned long motorStartTime= 0;
const unsigned long motorRunTime =2000;

//для подвійного кліку кнопки
unsigned long buttonClickTime = 0;
int clickCount=0;
const unsigned long doubleClickWindow = 600;

//цілочисельні
int T_in= 0, H_in = 0, Lum = 0;
int T_out= 0, H_out = 0;
int UF=0;
int rainAnalogValue=1023;
bool isRaining = false;

int sensorStep = 0;
unsigned long lastStepTime=0;
const unsigned long stepInterval=2000;
//іконка якщо йде дощ або сухо
static const unsigned char PROGMEM icon_sun[] = {
    0x01,0x80, 0x01, 0x80, 0x08, 0x10,0x48, 0x12, 0x23, 0xc4, 0x07,0xe0, 0x0f,0xf0, 0x1f,
0xf8,
    0x1f, 0xf8, 0x0f, 0xf0, 0x07, 0xe0,0x23, 0xc4, 0x48, 0x12,0x08, 0x10, 0x01, 0x80, 0x01,
0x80
};
static const unsigned char PROGMEM icon_rain[] = {

```

```
    0x00, 0x00, 0x03, 0x80, 0x07, 0xc0, 0x1f, 0xe0, 0x3f, 0xf0, 0x7f, 0xf8, 0xff, 0xfc, 0xff,
0xfc,
    0x00, 0x00, 0x12, 0x48, 0x12, 0x48, 0x09, 0x24, 0x09, 0x24, 0x24, 0x92, 0x24, 0x92,
0x00, 0x00
};
```

```
int getUVIndex(float voltageV);
```

```
void updateDisplay();
```

```
void controlHardware();
```

```
void runMotor(int speed, int direction);
```

```
//екран + монітор
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    pinMode(btnScreen, INPUT_PULLUP);
```

```
    pinMode(btnMode, INPUT_PULLUP);
```

```
    pinMode(btnState, INPUT_PULLUP);
```

```
    pinMode(pinPdlc, OUTPUT);
```

```
    digitalWrite(pinPdlc, RELAY_OFF);
```

```
    pinMode(PWMA, OUTPUT);
```

```
    pinMode(AIN1, OUTPUT);
```

```
    pinMode(AIN2, OUTPUT);
```

```
    pinMode(STBY, OUTPUT);
```

```
    runMotor(0, 0);
```

```
    Wire.begin();
```

```
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
```

```
    htu.begin();
```

```
    lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE, 0x23);
```

```
    dht.begin();
```

```
    display.clearDisplay();
```

```
    display.setTextColor(WHITE);
```

```
    display.setTextSize(1);
```

```
    display.display();
```

```

Serial.println(F("СИСТЕМА ЗАПУЩЕНА"));
}

void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();

    if (currentMillis-lastStepTime > stepInterval) {
        switch(sensorStep) {
            case 0:{
                //Часове усереднення N = 5 для швидкого HTU21D
                float sumT = 0, sumH = 0;
                const int N = 5;
                for(int i=0; i < N;i++) {
                    sumT+= htu.readTemperature();
                    sumH+= htu.readHumidity();
                    delay(10);
                }
                // Дискретизація з округленням (Формула 3.3)
                T_in = floor((sumT/N)+0.5);
                H_in =floor((sumH/N)+0.5);

                sensorStep=1;
                break;
            }
            case 1: {
                //
                T_out = floor(dht.readTemperature() + 0.5);
                H_out = floor(dht.readHumidity() + 0.5);

                rainAnalogValue = analogRead(rainPin);
                isRaining = (rainAnalogValue < 800);
                sensorStep = 2;
                break;
            }
            case 2: {
                //Алгоритм для освітленості
                float sumLux = 0;
                const int N_lux = 5;

```

```

for(int i = 0; i < N_lux; i++) {
    sumLux += lightMeter.readLightLevel();
    delay(10);
}
Lum = floor((sumLux/N_lux)+0.5);

//для аналогового УФ
long sumUv = 0;
for(int i = 0; i < 20; i++) { sumUv += analogRead(uvPin); delay(5); }
float uvVoltage =(sumUv / 20.0) * (5.0 / 1023.0);
UF = getUVIndex(uvVoltage);

//Дерево автоматки
if (isAutoMode) {
    if (isRaining) {
        isRoofOpen =false;
        isPdlcActiv =true;
    }
    else if (T_in > 35&&T_out < T_in) {
        isRoofOpen = true;
        isPdlcActiv =false;
    }
    else if (UF > 7||Lum > 50000){
        isRoofOpen = false;
        isPdlcActiv= false;
    }
    else if ((T_in > 26 && T_out<T_in) ||(T_in > 22 && T_out < T_in && H_in < 43)) {
        isRoofOpen = true;
        isPdlcActiv = false;
    }
    else if (H_in > 80 && H_out< H_in &&T_out > 14) {
        isRoofOpen = true;
        isPdlcActiv = true;
    }
    else {
        isRoofOpen=false;
        isPdlcActiv =true;
    }
}

```

```

    }
    sensorStep=0;
    break;
}
}

controlHardware();
if (screenOn) updateDisplay();
lastStepTime = currentMillis;
}

//таймер вимкнення двигуна
if (motorIsMoving && (currentMillis - motorStartTime >= motorRunTime)) {
    runMotor(0, 0);
    motorIsMoving = false;
}

//Обробка кнопок
if (digitalRead(btnScreen) == LOW) {
    lastInteractionTime = currentMillis;
    if (!screenOn) screenOn = true;
    else pageIndex=(pageIndex + 1) % 3;
    updateDisplay();
    delay(300);
}

if (digitalRead(btnMode) ==LOW) {
    lastInteractionTime = currentMillis;
    if (!screenOn) {
        screenOn = true;
    } else {
        isAutoMode = !isAutoMode;
        Serial.print(F("Режим: ")); Serial.println(isAutoMode ? F("AUTO") : F("MANUAL"));
    }
    updateDisplay();
    delay(600);
}

```

```

static bool lastButtonState = HIGH;
bool currentButtonState = digitalRead(btnState);
if (lastButtonState == HIGH && currentButtonState == LOW) {
    lastInteractionTime = currentMillis;
    if (!screenOn) {
        screenOn = true;
    } else {
        if (clickCount == 0) buttonClickTime = currentMillis;
        clickCount++;
    }
    delay(150);
}
lastButtonState = currentButtonState;

if (clickCount > 0 && (currentMillis - buttonClickTime > doubleClickWindow)) {
    if (clickCount == 1) {
        if (!isAutoMode) {
            isRoofOpen = !isRoofOpen;
            Serial.print(F("Клік: Дах -> ")); Serial.println(isRoofOpen ? F("ВІДКРИТО") :
F("ЗАКРИТО"));
        } else {
            Serial.println(F("Клік даху ігноровано: увімкнено AUTO!"));
        }
    }
    else if (clickCount >= 2) {
        if (!isAutoMode) {
            isPdlcActiv = !isPdlcActiv;
            Serial.print(F("Дубль-клік:ПДЛС->")); Serial.println(isPdlcActiv ? F("ON") :
F("OFF"));
        } else {
            Serial.println(F("Клік ПДЛС ігноровано: увімкнено AUTO!"));
        }
    }
    clickCount = 0;
    controlHardware();
    updateDisplay();
}
if (screenOn && (currentMillis - lastInteractionTime > timeout)) {

```

```

    screenOn = false;
    display.clearDisplay();
    display.display();
}
}

void controlHardware() {
    if (isPdlcActiv) {
        digitalWrite(pinPdlc,RELAY_ON);
    } else {
        digitalWrite(pinPdlc, RELAY_OFF);
    }

    if (isRoofOpen != previousRoofState) {
        motorIsMoving = true;
        motorStartTime =millis();

        if (isRoofOpen) {
            Serial.println(F("Двигун: відкриття даху"));
            runMotor(255,1);
        } else {
            Serial.println(F("Двигун: закриття даху"));
            runMotor(255,-1);
        }
        previousRoofState = isRoofOpen;
    }
}

void runMotor(int speed, int direction) {
    digitalWrite(STBY, HIGH);

    if (direction == 1) {
        digitalWrite(AIN1, HIGH);
        digitalWrite(AIN2, LOW);
        analogWrite(PWMA, speed);
    } else if (direction == -1) {
        digitalWrite(AIN1, LOW);
        digitalWrite(AIN2, HIGH);
        analogWrite(PWMA, speed);
    }
}

```

```

    } else {
        digitalWrite(AIN1, LOW);
        digitalWrite(AIN2, LOW);
        analogWrite(PWMA, 0);
    }
}

//Для УФ-датчика за формулою (3.1) та таблицею (3.1)
int getUVIndex(float voltageV) {
    float mV = voltageV * 1000.0;
    if (mV < 50) return 0;
    if (mV < 227) return 1;
    if (mV < 318) return 2;
    if (mV < 408) return 3;
    if (mV < 503) return 4;
    if (mV < 606) return 5;
    if (mV < 696) return 6;
    if (mV < 795) return 7;
    if (mV < 881) return 8;
    if (mV < 976) return 9;
    if (mV < 1079) return 10;
    return 11;
}

void updateDisplay() {
    if (!screenOn) return;

    display.clearDisplay();
    display.setCursor(0,0);

    if (pageIndex == 0) {
        display.println(F("--- STATUS ---"));
        display.print(F("Mode: ")); display.println(isAutoMode ? F("AUTO") : F("MANUAL"));

        display.print(F("Roof: "));
        if (isRaining && isAutoMode) display.println(F("CLOSED (RAIN)"));
        else display.println(isRoofOpen ? F("OPEN") : F("CLOSED"));

        display.print(F("PDLC: "));
    }
}

```

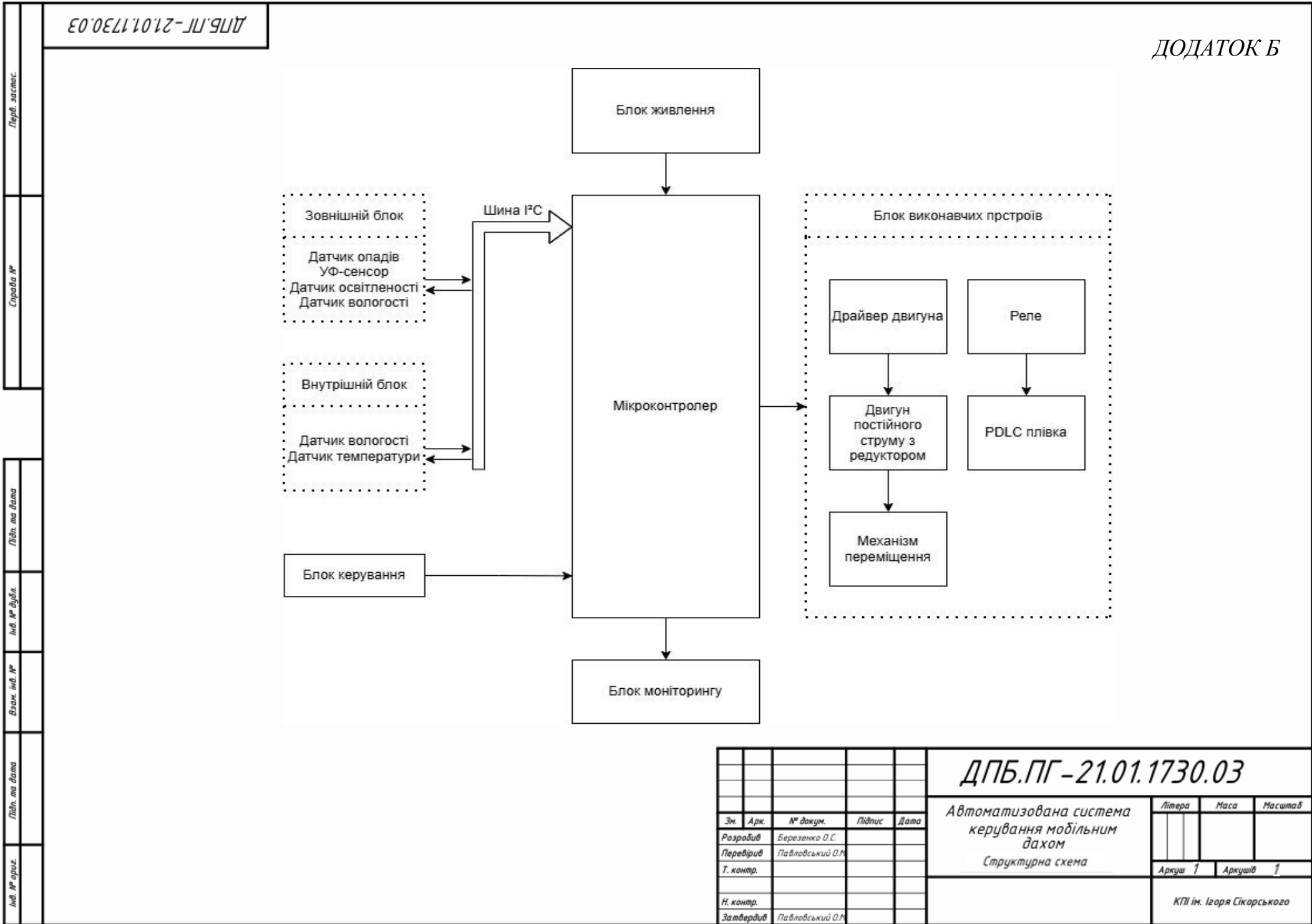
```

    display.println(isPdlcActiv ? F("ON (CLEAR)") : F("OFF (MATTE)"));
}
else if (pageIndex == 1) {
    display.println(F("--- INTERNAL ---"));
    display.print(F("Temp: ")); display.print(T_in); display.println(F(" C"));
    display.print(F("Hum: ")); display.print(H_in); display.println(F(" %"));
}
else if (pageIndex == 2) {
    display.println(F("--- EXTERNAL ---"));
    display.print(F("UV: ")); display.println(UF);
    display.print(F("T: ")); display.print(T_out); display.println(F(" C"));
    display.print(F("Hum: ")); display.print(H_out); display.println(F(" %"));
    display.print(F("Lux: ")); display.print(Lum); display.println(F(" lx"));

    if (isRaining) display.drawBitmap(100, 20, icon_rain, 16, 16, WHITE);
    else display.drawBitmap(100, 20, icon_sun, 16, 16, WHITE);
}

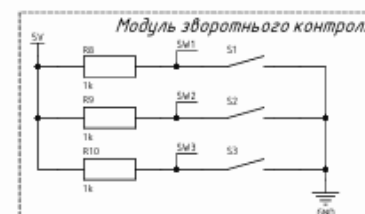
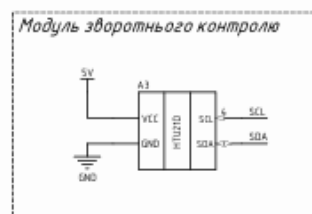
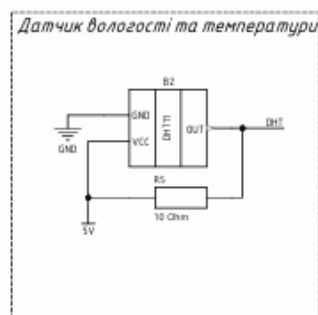
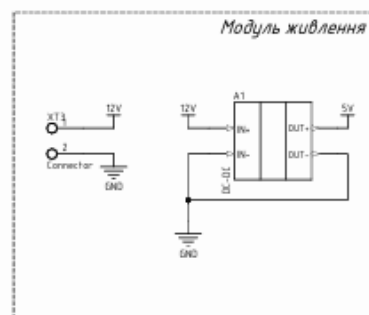
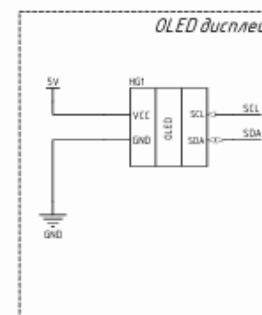
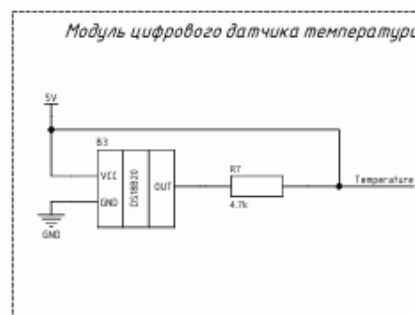
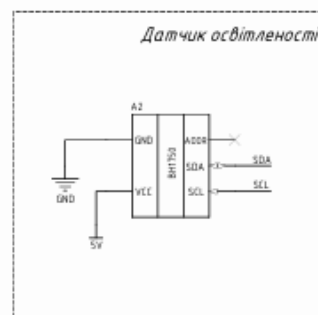
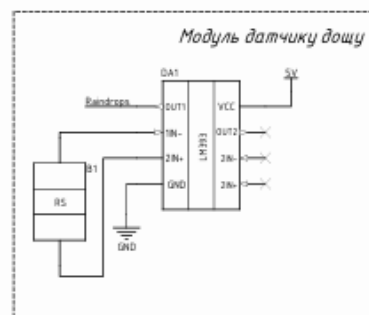
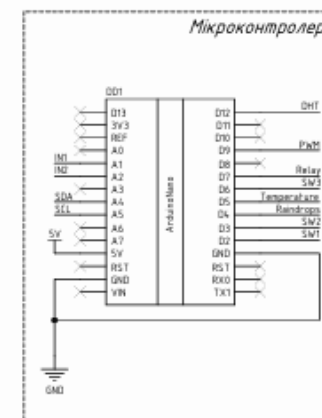
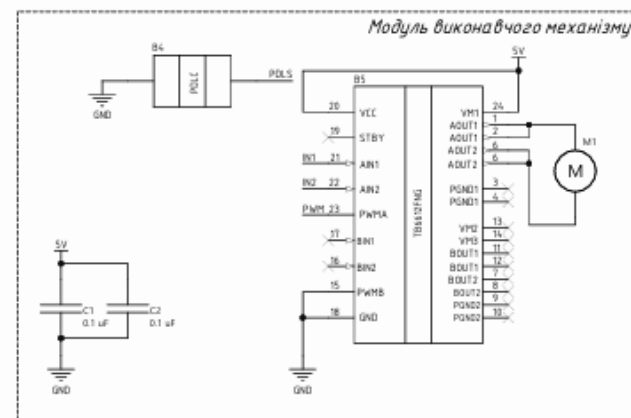
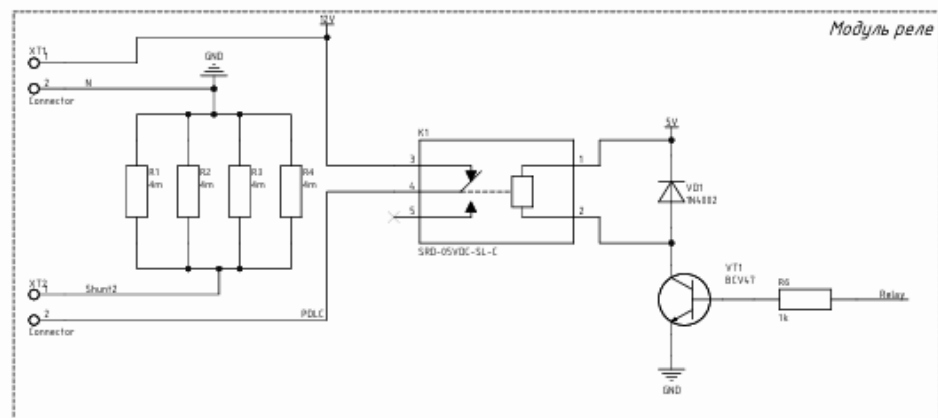
display.display();
}

```

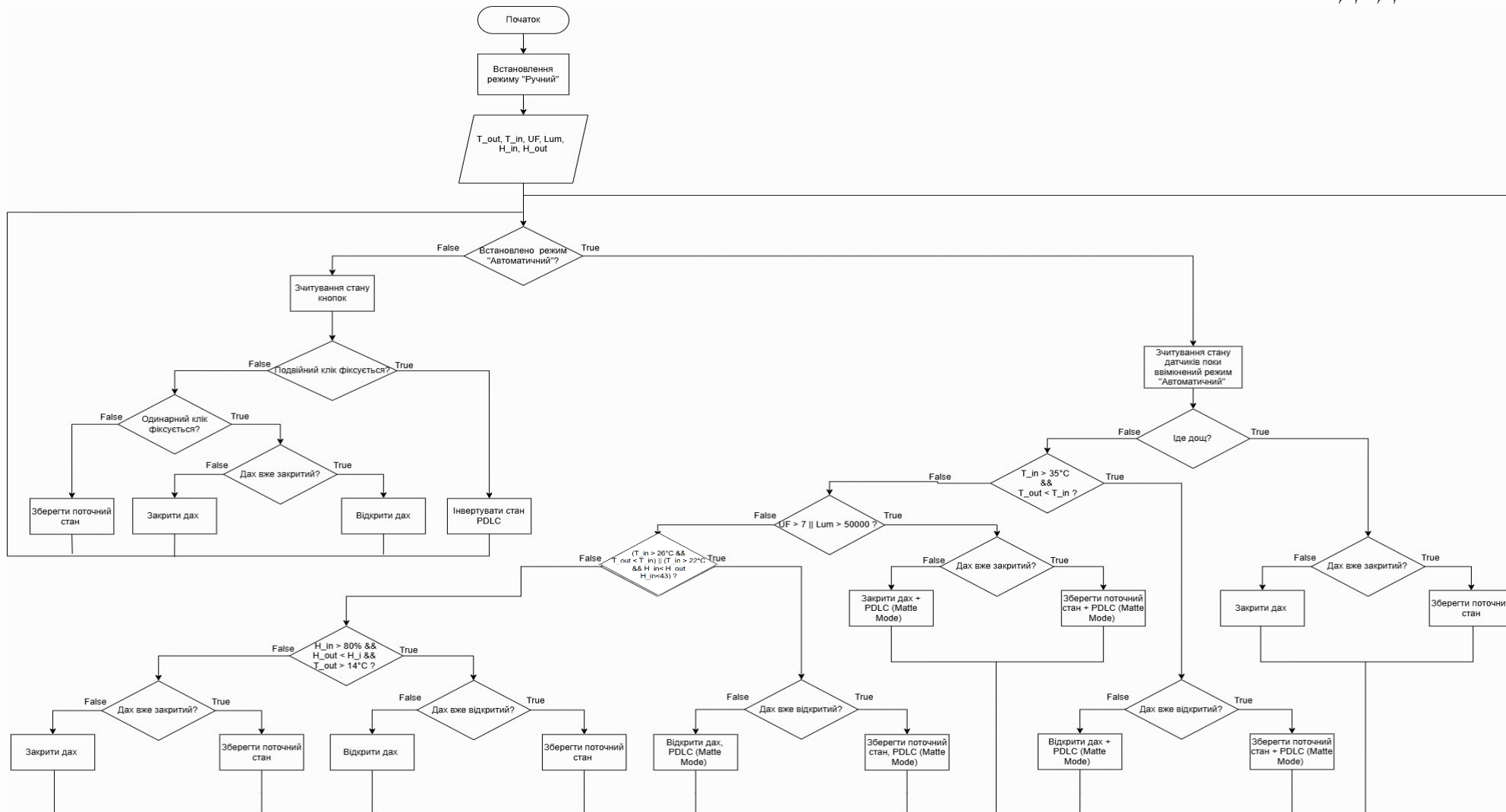


ДПБ.ПГ-21.01.1730.03 ЕЗ

ДОДАТОК В

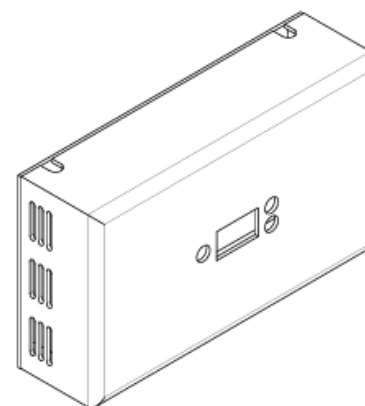
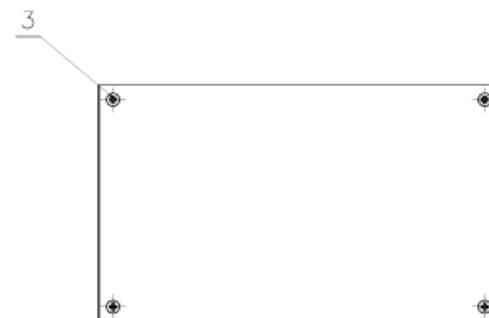
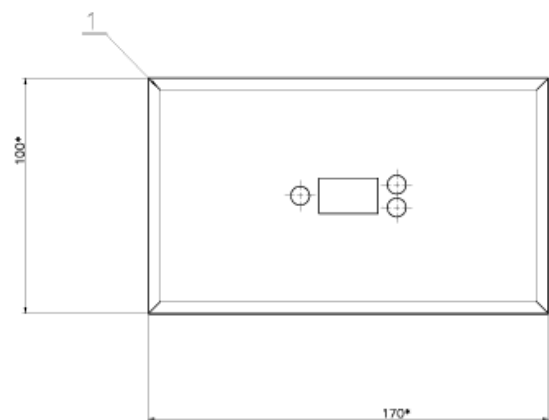


					ДПБ.ПГ-21.01.1730.03 ЕЗ				
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування мобільним дахом				
Розробив	Березенко О.С.				Літера Маса Масштаб				
Перевірив	Павловський О.М.								
Т. контр.									
Н. контр.					СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА				
Затвердив	Павловський О.М.								
					Аркуш 1 Аркуш 2				
					КПІ ім. Ігоря Сікорського				



ДПБ.ПГ-21.01.1730.03					Автоматизована система керування мобільним блоком Блок-схема		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Розробив		Березенко О.С.					
Перевірив		Павловський О.Н.			Аркуш 1	Аркуш 1	
Т. контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. контр.							
Затвердив		Павловський О.Н.					

ДПБ.ПГ-2101.1730.004 СК

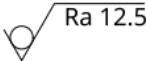


- 1.* Розміри для довідок
2. Установку гвинтів М3 виконати згідно зі складальним кресленням.
3. Затяжку гвинтів проводити до моменту щільного прилягання кришки до основи.

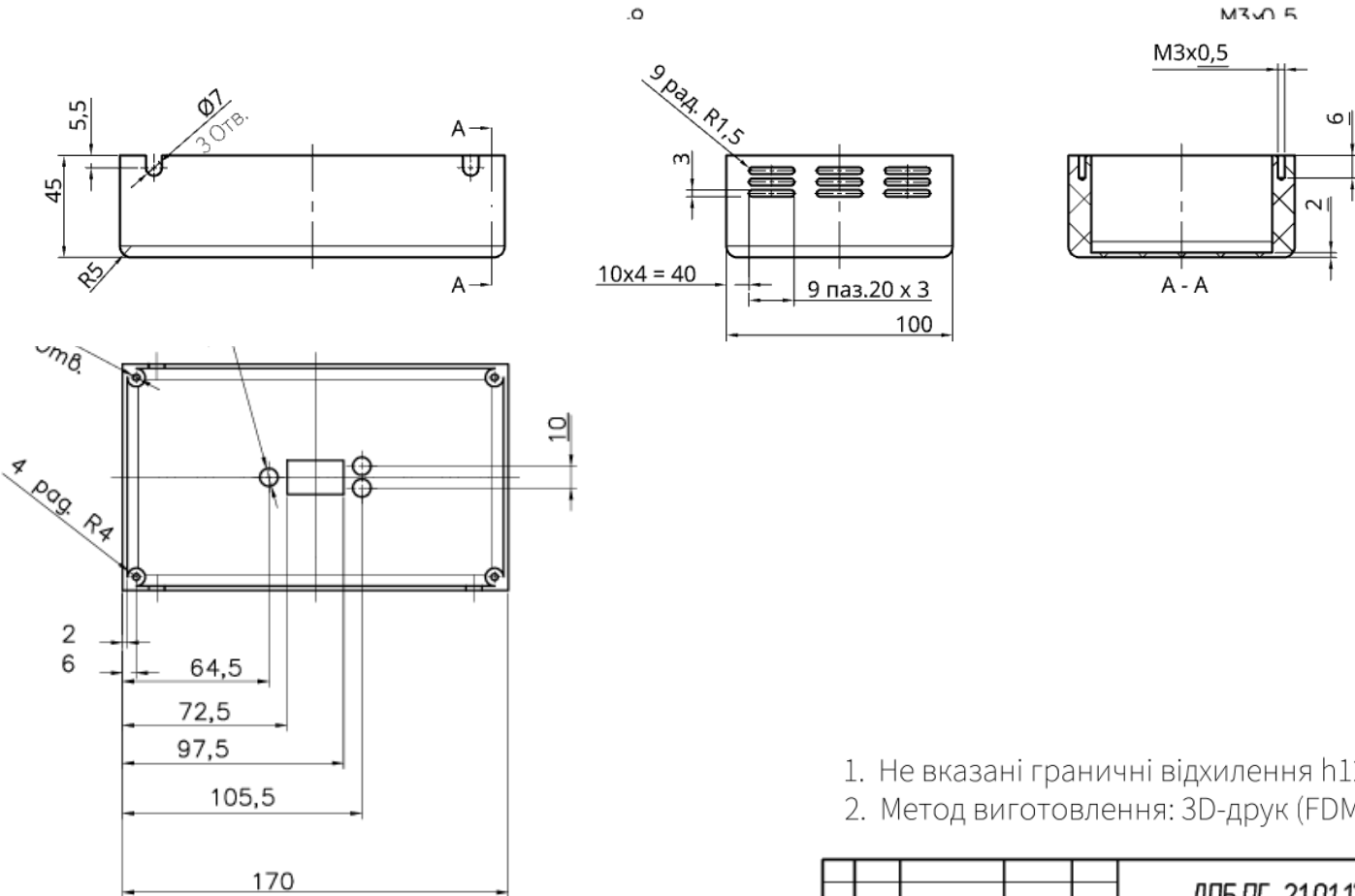
ДПБ.ПГ-2101.1730.004 СК				Лист			Мас	Рисунки
Зв. Аудит	ВР. Аудит	Підп.	Аудит	Внутрішній блок				11
Розроб.	Виконавець	ОК		Складальне креслення			Лист	Аудит
І. кваліф.							"01" м. Сергій Савченко"	
І. кваліф.								
І. кваліф.								

Автомат

Формат А1



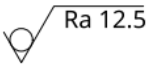
ДПБ.ПГ-21.01.1730.005



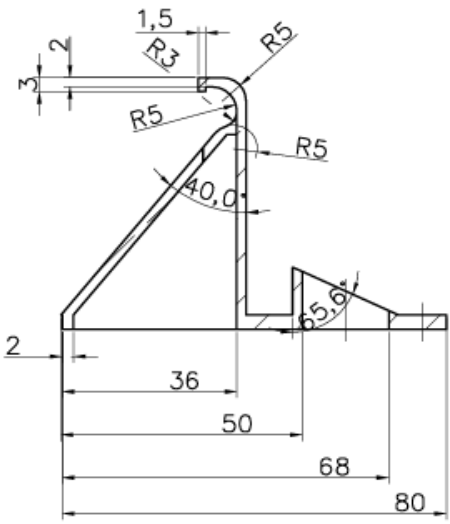
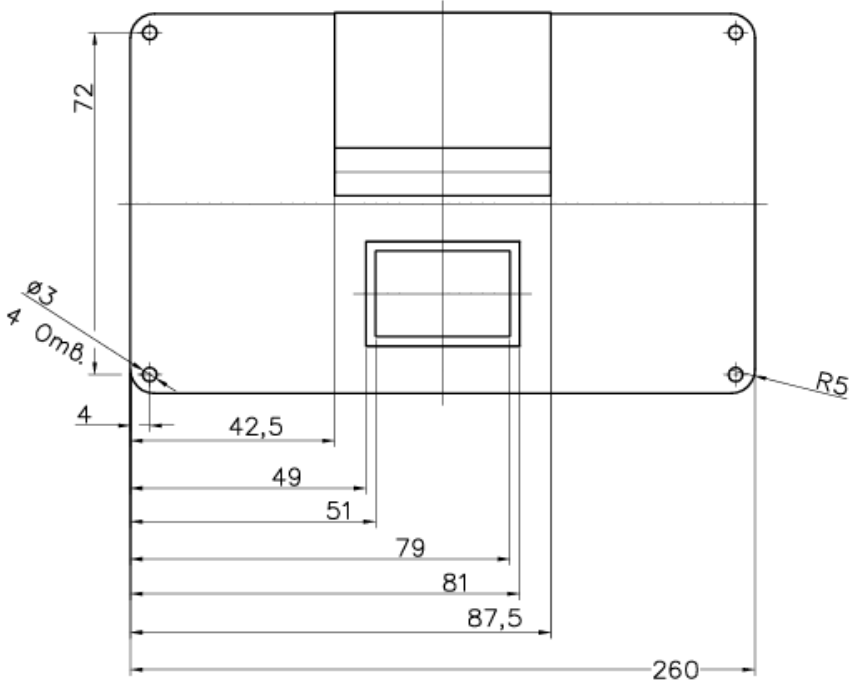
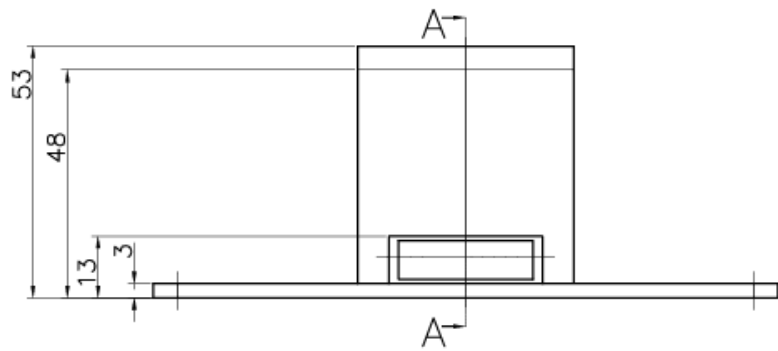
- 1. Не вказані граничні відхилення h12, H12, IT12/2
- 2. Метод виготовлення: 3D-друк (FDM).

ДПБ.ПГ-21.01.1730.005						Корпус внутрішнього блоку			Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Аркуш	№ докум.	Ліст.	Дата		Корпус внутрішнього блоку					1:2
Розроб.	Березенко О.І.										
Перев.	Поблодський О.М.					Пластик PLA ISO 5425:2023			Аркуш	Аркуш 1	
Т. контр.											
Н. контр.						Пластик PLA ISO 5425:2023			"КПІ ім. Ігоря Сікорського"		
Затв.	Поблодський О.М.										

Формат		Знак	Поз.	Означення	Найменування	Кіл.	Приміт.
Перше запис.							
					Документація		
Додат. №	A1			ДПБ.ПГ-21.01.1730.004СК	Складальне креслення Внутрішній блок		
					Деталі		
	A3	1		ДПБ.ПГ-21.01.1730.005	Корпус внутрішнього блоку	1	
	A4	2		ДПБ.ПГ-21.01.1730.006	Кришка внутрішнього блоку	1	
					Стандартні вироби		
Підп. і дата		5			Гвинт М3х0,5 DIN7985/ISO 7045	4	
Намалюв. №							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата							
Лист. № аркуш.							
Лист. і дата</							



ДПБ.ПГ-21.01.1730.008



A — A

1. Не вказані граничні відхилення h12, H12, IT12/2
2. Метод виготовлення: 3D-друк (FDM).

					ДПБ.ПГ-21.01.1730.008			
					Кришка зовнішнього блоку	Літера	Маса	Масштаб
Зм. Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата					1:1
Розроб.	Березенко О.С.							
Перев.	Павловський О.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркуш 1	
Н. контр.					Пластик PLA ISO 5425:2023	"КПІ ім. Ігоря Сікарського"		
Затв.	Павловський О.М.							

Коріндов:

Формат: A3

