

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для контролю за процесом вирощування салату та приправ**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЗМТ-22

Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Бойправ Л.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Доктор технічних наук
професор

Подчашинський Ю.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Бойправ Лідія Іванівна

1. Тема роботи: Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для
контролю за процесом вирощування салату та приправ

Керівник роботи: доктор технічних наук, професор Подчашинський Ю.О.

затверджена наказом по університету від « ____ » _____ 2026 р. № _____

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедрі « ____ » _____ червня _____ 2026р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт дослідження – комп'ютеризована фітотронна
установка для контролю вирощування салату та приправ, параметр вимірювання –
температура повітря, відносна вологість, рівень освітлення, концентрація CO₂;
діапазони вимірювання: температура від 10 до 40 °C; вологість від 30% до 90%;
освітленість від 0 до 50 000 лк; концентрація CO₂ від 300 до 1500 ppm; похибка
точності системи не більше ±1%.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз методів вимірювання параметрів середовища, розробка структурної
схеми, розробка принципової схеми, розробка алгоритму та
програми роботи системи, розрахунок метрологічних характеристик,
оцінка показників надійності роботи системи, безпека життєдіяльності
та охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів, топологія
друкованої плати, блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	25.02.26 – 15.03.26	Виконано
2	Огляд та аналіз методів вирощування салату та приправ	25.02.26 – 15.03.26	Виконано
3	Розробка структурної схеми	16.03.26 – 15.04.26	Виконано
4	Розробка електричної принципової схеми	16.04.26 – 24.04.26	Виконано
5	Розробка топології друкованої плати	25.04.26 – 09.05.26	Виконано
6	Розробка алгоритму та програми системи	10.05.26 – 24.05.26	Виконано
7	Розрахунок метрологічних характеристик	25.05.26 – 03.06.26	Виконано
8.	Розрахунок надійності	04.06.26 – 15.06.26	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	03.06.26 – 17.06.26	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Бойправ Л.І.

(прізвище та ініціали)

Подчашинський
Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему для контролю параметрів установки, призначеної для вирощування салату та приправ. Система забезпечує моніторинг таких важливих параметрів, як температура, вологість, освітленість та рівень рН середовища. Для реалізації системи використано сучасні сенсори, мікроконтролер та програмне забезпечення для збору, обробки та візуалізації даних. Такий підхід дозволяє створити оптимальні умови для культивування мікрободоростей з метою підвищення продуктивності та якості біомаси. Розроблена система може бути застосована в лабораторних, навчальних та промислових умовах. Особливу увагу приділено точності вимірювань, стабільності роботи системи та зручності інтерфейсу користувача.

ABSTRACT

In this qualification thesis, a computerized information and measurement system was developed for monitoring the parameters of a unit designed for growing salad and seasonings. The system provides monitoring of key parameters such as temperature, humidity, light intensity, and the pH level of the environment. Modern sensors, a microcontroller, and software for data collection, processing, and visualization were used to implement the system. This approach enables the creation of optimal conditions for cultivating microalgae in order to improve biomass productivity and quality. The developed system can be used in laboratory, educational, and industrial settings. Special attention is paid to measurement accuracy, system stability, and user interface convenience.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 69 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що складає вісім розділів, висновки, список використаних джерел та додатків. Темою роботи є розробка комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи для контролю за процесом вирощування салату та приправ.

Перший розділ містить опис призначення системи, вимоги до технічних характеристик, умов експлуатації, надійності, конструктивного оформлення та вихідних даних для проектування.

Другий розділ містить аналіз існуючих рішень для вирощування рослин, розглянуто типи установок, принципи їх роботи, класифікацію та обґрунтовано вибір форми резервуара.

Третій розділ містить функціональну структуру системи на основі мікроконтролера з описом основних компонентів: датчиків, дисплея, блоку живлення та інтерфейсів.

Четвертий розділ містить електричну принципову схему системи та обґрунтовано вибір елементної бази: сенсорів температури, рН, CO₂, освітленості, дисплея та інших компонентів.

П'ятий розділ містить алгоритм функціонування системи та програмне забезпечення для збору, обробки, виводу та передачі даних на ПК.

Шостий розділ містить розрахунок похибок вимірювальних каналів і визначено точність системи згідно з вимогами (не більше $\pm 1\%$).

Сьомий розділ містить аналіз і розрахунок показників надійності: наробіток на відмову, графік безвідмовної роботи та оцінка стабільності системи.

Останній розділ містить питання виробничої, екологічної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях при експлуатації фітотронної установки.

ЗМІСТ

	стор
ВСТУП.....	8
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	9
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ САЛАТУ В ФІТОТРОННИХ УСТАНОВКАХ	11
2.1. Технологія вирощування салату	11
2.2. Фітотронна установка Вирощування салату під різними фіто випромінювачами	17
2.3. Система автоматизованого управління фітотроном зі світло культурою та гідропонною технологією	21
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	27
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	29
4.1. Вибір датчика температури.....	29
4.2. Вибір датчика вимірювання кислотності середовища	30
4.3. Вибір датчика рівня освітленості.....	32
4.4. Вибір датчика вуглекислого газу.....	33
4.5. Вибір мікроконтролера.....	34
4.6. Вибір дисплею.....	35
4.7. Розробка друкованої плати.....	37
5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ	39
5.1. Розробка алгоритму.....	39
5.2. Розробка програми.....	41
6. РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ.....	45
7. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	48
8. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	50

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ					
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для контролю за процесом вирощування хлорели Пояснювальна записка			Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Бойправ Л.І								
Перевір.		Подчашинський							6	69
Реценз.								Державний університет «Житомирська політехніка», гр. ЗМТ-22		
Н. Контр.		Подчашинський								
Затверд.		Подчашинський Ю								

	стор
8.1.Забезпечення виробничої безпеки при експлуатації ІВС	50
8.2.Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54
ДОДАТКИ.....	56

ВСТУП

Мікроклімат- це штучно створені кліматичні умови в закритих приміщеннях. Динамічна поведінка парникового мікроклімату являє собою комбінацію фізичних процесів, що включають передачу енергії та баланс маси. Мікроклімат можна регулювати за допомогою заходів контролю, таких як освітлення, вентиляція, збагачення повітря, щоб забезпечити, відповідні умови для росту і розвитку потрібного нам виду рослин. Процес зміни мікроклімату є складним, багатопараметричним і залежить від багатьох зовнішніх та внутрішніх чинників. Щоб автоматизувати процес підтримки сприятливого для рослин мікроклімату, необхідно здійснювати контроль і регулювання таких параметрів:

- Температура;
- Освітлення;
- Концентрація, тощо.

Стандартна система автоматичного забезпечення мікроклімату будується блочним принципом, коли контроль і регулювання зазначених параметрів здійснюється незалежними електронними приладами, кожен з яких відповідає за свої параметри.

Фітотрон- закрыта дослідницька оранжерея, яка використовується для вивчення взаємодії рослин із навколишнім середовищем. Це продукт дисциплін фізіології рослин і ботаніки. Метою випускної кваліфікаційної роботи є створення автоматизованої фітотронної установки для вирощування салату та приправ, необхідно постійно контролювати освітлення, температуру, концентрацію рослин.

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Підстава для, розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Система призначена для автоматизованого контролю параметрів середовища в установці для вирощування салату та приправ .

Потрібно розробити структурну схему системи та вибрати елементну базу, розробити електричну принципову схему системи вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів. Розробити програмно-алгоритмічне забезпечення та оцінити точність системи вимірювання.

Початок розробки – лютий 2026 р. Кінець розробки – червень 2026 року.

1.2 Умови експлуатації

1.2.1. Температура зовнішнього середовища від 0 до +45 °С

1.2.2. Відносна вологість не більше 80%

1.2.3. Атмосферний тиск 600-800 мм. рт. ст.

1.2.4. Хімічно активних речовин немає

1.2.5. Характер роботи неперервний

1.3 Вимоги до технічних характеристик

1.3.1. Об'єкт управління – установка для вирощування салату та приправ

1.3.2 Контрольні параметри:

– температура живильного середовища, °С: 15...35

– рівень освітлення, лк: 1000...10000

– рН середовища: 6.0...8.5

– концентрація розчиненого кисню, мг/л: 4...12

1.3.3. Похибка вимірювання параметрів, не більше $\pm 1\%$

1.3.4. Дані мають відображатися на індикаторі та зберігатися в пам'яті мікроконтролера з можливістю передачі на ПК

1.3.5. Джерело живлення +5В постійного струму

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Вимоги до надійності

Система є що відновлюється, не резервується, ремонтпридатною.

Наробіток на відмову складає не менше 11940,6 годин

1.5 Вимоги до конструктивного оформлення

Пристрій виконати на стандартній платі і в стандартному корпусі

					<i>МІМТ.480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ САЛАТУ В ФІТОТРОННИХ УСТАНОВКАХ

2.1. Технологія вирощування салату

Серед зеленних культур найбільш поширений салат, який має три різновиди – листковий, головчастий і ромен. Салат листковий (*var. secalina Alef.*) утворює розетку листків; головчастий (*var. capitata L.*) – після утворення напів при піднятої розетки листків у центрі її формує головку різної форми та щільності; ромен – (*var. Longifolia Lam.*) – формує в розетці витягнутих листків догори конусоподібну головку середньої щільності. В їжу використовують розетку листків у листкових форм, розетку та головки – в головчастих сортів. Товарна продукція в них формується через 30-45 діб після з'явлення сходів залежно від сорту.

За біологічною класифікацією салат відноситься до холодостійких, трав'янистих, скоростиглих, самозапильних культур.

Коренева система стрижнева. Головний корінь значно потовщений У верхній частині та проникає в ґрунт на глибину до 60-70 см. Бокові корінці розвиваються в основному в орному шарі ґрунту в діаметрі 40-50 см. Частина їх проникає в ґрунт на глибину до 50-60 см.

Листки. Через 4-5 діб після утворення сім'ядолей формуються перші справжні листки. Вони дрібні, починають формувати розетку. Після утворення 4-6 справжніх листків інтенсивність росту та розвитку рослин значно посилюється. Всі листки салату сидячі, прості, не розсічені або розсічені, ланцетоподібні. За формою вони ниркоподібні, округлі, еліпсоподібні, обернено-яйцеподібні, ланцетоподібні, перисто-роздільні. Краї листків суцільні, зубчасті, кучеряві. Величина пластинки сильно варіює, поверхня її — від гладенької до пухирчастої з витягнутою посередині товстою жилкою. Консистенція листків — від м'ясисто-ніжної, хрумкої

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

до грубої. Забарвлення листків зелене, темно-зелене, темно-сірувато-зелене, світло-зелене, жовтувато-зелене, блідо-жовтувато-зелене, коричнювате, червоно-коричневе, іноді з пігментацією.

Товарна стиглість у листових сортів салату настає через 25-35 діб від з'явлення сходів при утворенні розетки з 7-8 листків. У головчастих сортів товарна продукція (розетка листків) настає через 30-40 діб. Потім формується головка протягом 10-15 діб, яка знаходиться в товарному стані від 15 до 20 діб, залежно від сорту. Потім рослини починають утворювати стебла.

За тривалістю вегетаційного періоду (від з'явлення сходів до настання технічної стиглості) сорти салату поділяють на ультра ранні (до 30 діб), ранні (31-40), середньоранні (41-50), середньостиглі (51-60) та пізньостиглі (понад 60 діб). У ранньостиглих сортів головки дрібніші (30-70 г) та нещільні, у пізньостиглих — крупніші та більш щільні, масою 150-500 г. Залежно від погодних умов тривалість вегетаційного періоду може змінюватися.

Стебло. Квітконосні стебла починають розвиватися через 60-75 діб після з'явлення сходів, залежно від сорту та погодних умов року. Вони досить розгалужені у верхній частині та досягають висоти від 60 до 120 см. Листки на стеблі дрібні та сидячі.

Суцвіття — кошик, у якому розміщується від 10 до 24 квіток жовтуватого або жовтувато-зеленого забарвлення (мал. 1). У квітці 5 зрослих у трубочку тичинок, приймочка одно - або дволопатева, зав'язь-нижня, одна. Квітки факультативно запильні. Ще в бутонах відбувається самозапилення — через пилкові трубки. При оптимальних погодних умовах (хмарна погода) квітки розкриваються переважно в першій половині дня і квітують 1-2 години. За підвищеної температури вони можуть зацвітати й у другій половині дня. Після запилення квітки закриваються.

У салату також можливе й перехресне запилення лише в тому разі, коли змивається пилок із приймочки дощем, росою і досить активно

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

проростає чужий пилок, занесений комахами (трипсами, комарами, попелицею тощо). Перехресне запилення частіше буває у південних районах. У зв'язку з тим, що всі різновидності салату перезапилюються між собою, потрібно дотримуватися в насінництві просторової ізоляції 200 м на відкритій місцевості і 100 м — на закритій.

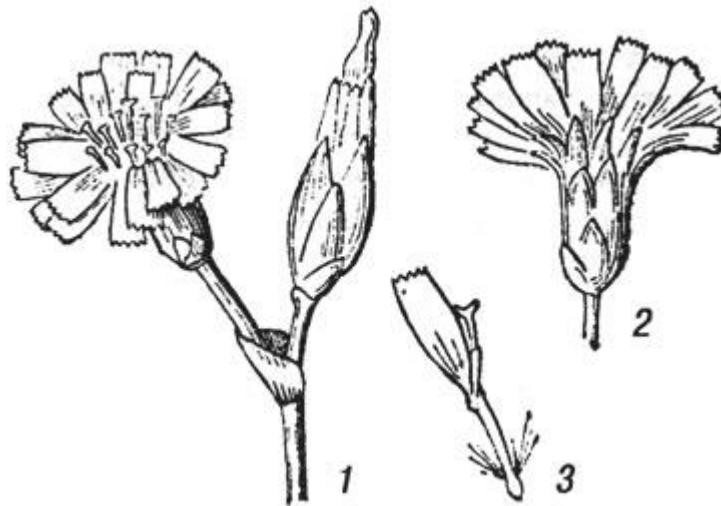


Рис. 2.1. Суцвіття та квітки салату:

1 - суцвіття-кошик (вигляд зверху); 2 - суцвіття — вигляд збоку; 3 - квітка у розрізі

Плід — сім'янка. Вона злегка приплюснута, витягнута, слабо ребриста, поступово звужена у носик, 2-5 мм завдовжки. Плоди закінчуються пушинкою, яка легко відділяється при обмолоті. Збирають насінники після побуріння насіння в зонтиках першого порядку і пожовтіння на стеблах нижніх листків роздільним способом. Після просушування обмолочують і очищають. За забарвленням насіння сріблясто-сіре, жовтувато-сіре, коричневе, темно-коричневе та чорне, залежно від сорту. Маса 1000 насінин становить 0,8-1,2 г. При вологості 9% воно зберігає схожість 3-4 роки.

Вимоги рослин салату до умов навколишнього середовища

Вимоги до тепла. Салат — холодостійка культура. Насіння його починає проростати за температури 3-4°C, але період з'явлення сходів становить 25-30 діб. За температури 8-10°C він скорочується до 10-12, а 18-20°C — до 3-4 діб. Сходи салату легко переносять весняні приморозки до

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

мінус 6-8 С. Кращою температурою для росту і розвитку рослин є 15-20°C. Однак, найбільш щільні головки формуються за перемінної температури 15-18°C вдень і 10-12°C вночі. Високі температури сприяють інтенсивному наростанню головки, а низькі — ущільненості їх. Високі температури (понад 20-25°C) та посуха негативно впливають на ріст рослин та формування товарної продукції — вони передчасно починають випускати стрілки. Добре рослини квітують і досягає насіння при дещо підвищеній температурі (до 25°C) та підвищеній сонячній інсоляції.

Вимоги до світла. Салат відноситься до рослин довгого світлового дня. Скорочення його до 9-10 годин сприяє наростанню товарної продукції — листків, головок, але затримує перехід до генеративного розвитку — утворення стебла та формування насіння. У зимовий період при вирощуванні на більш короткому дні та в загущених посівах рослини витягуються та погано формують головки в головчастих сортів. Мінімальна інтенсивність освітлення при вирощуванні салату і збиранні у фазі розетки — 4-5 тис. люкс, інтенсивно випускати стрілки рослини при тривалості світлового дня понад 12-14 годин.

Вимоги до вологи. Рослини салату досить вимогливі до вологості ґрунту та помірно — до відносної вологості повітря. При нестачі вологи в ґрунті під час сівби затримується поява сходів, і вони, як правило, строкаті, що значно впливає на ранні строки дозрівання. Нестача вологи в період вегетації сповільнює ріст рослин та формування головок. Перезволоження ґрунту та повітря призводить до підпрівання рослин та ушкодження їх різними грибковими хворобами. Тому кращою вологістю ґрунту в період вирощування салату є 60-70% НВ, а відотною вологістю повітря — 65-75%.

Вимоги до елементів живлення. Скоростиглість рослин салату та невелика площа їх живлення вимагає підвищеної інтенсивності живлення їх. На кожні 10 т урожаю рослини салату виносять з ґрунту 22 кг азоту, 8 кг — фосфору і 50 кг калію. Тому посіви салату потрібно розміщати на високо

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

родючих, структурних, чистих від бур'янів ґрунтах із рН 6,0-6,8, а щоб одержати ранню товарну продукцію, — на південних або південно-західних схилах. На азотне живлення рослини салату добре реагують протягом усього періоду вегетації, а на фосфорно-калійне — в період формування головок та насіння. Важкі, кислі, піщані та перезволожені ґрунти непридатні для вирощування салату. Рослини його добре реагують на внесення органічних (перегною, гноївки, курячого посліду) та мінеральних добрив, які вносять восени під основний обробіток ґрунту.

Особливості вирощування салату у відкритому ґрунті

Насіння салату висівають під зиму, рано навесні та в кінці літа. Під зиму його висівають перед замерзанням ґрунту з таким розрахунком, щоб воно восени не проросло. Навесні насіння висівають у 2-3 строки: перший строк - із виходом у поле, як тільки ґрунт піддається обробітку, наступні — через кожні 10-15 днів. Спосіб сівби широкорядний (45 см), стрічковий (50+20+20 см) або широкосмуговий (45 см + смуги 5-7 см). Глибина загортання насіння — 0,5-2,0 см. При підзимовій сівбі норму висіву насіння збільшують на 25-30%, насіння загортають на глибину до 1 см.

Для одержання більш раннього врожаю салат головчастий вирощують розсадним способом. Горщечкову розсаду 25-40-денного віку висаджують, коли ґрунт прогріється до 4-5°C. У рядку рослини розміщують через 15-20 см. Для осіннього вирощування насіння висівають у першій половині серпня на глибину 1,5-2,0 см. Після сівби площу коткують.

Сходи після сівби з'являються через 4-25 діб, залежно від строку сівби та вологості ґрунту. У фазі сім'я долей загущені посіви проріджують за допомогою боронування. Вдруге проріджують рослини салату головчастого у фазі 6-8 листків на відстань 15-20 см. Вирвані рослини використовують як листовий салат.

Подальший догляд за рослинами полягає в 1-2-разовому розпушуванні міжрядь. Салат листовий збирають до початку стрілкування, коли в розетці

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

сформується 7-12 листків і більше. їх виривають із корінцями, обтрушують землю і перекладають у тару. Салат головчастий починають збирати, коли сформується головка масою 200-500 г і більше. Головку з 2-3 покривними листками зрізують і перекладають у тару. Урожайність листового салату становить 10,0-12,0 т/га, головчастого — 15,0-20,0 т/га.

Особливості вирощування салату в закритому ґрунті

У спорудах закритого ґрунту розсаду 30-40-денного віку салату головчастих сортів висаджують стрічковим способом за схемою 20×15-20 см. Насіння листового салату висівають на грядки завширшки 90-120 см із шириною міжрядь 10-15 см або розкидним способом (заробляють граблями). Норма висіву насіння 1,0-1,5 г/м². Глибина загортання — до 1 см. У період вирощування температуру повітря в спорудах підтримують на рівні 18-20°C вдень і 12-14°C вночі. При потребі рослини поливають підігрітою до 18-20°C водою. Зразу за поливом провітрюють споруди, щоб позбавитися лишньої відносної вологості повітря.

При ущільненні рослин, які вирощуються з широкими міжряддями, розсаду салату висаджують або насіння висівають на відстані 20-25 см від рядка основної культури. Температуру повітря і вологість у спорудах підтримують на рівні основної культури.

Урожай салату листового збирають у фазі розетки, а головчастого — коли головка досягне маси 200 г. Урожайність листового салату становить 3-4 кг/м², головчастого — до 5 кг/м², а як ущільнювача — 1-2 кг/м².

Також можна вирощувати і інші культури.

Мікрозелень Мікро зелень відома своєю високою поживною цінністю та простотою вирощування. Вона потребує мінімальних зусиль і часу, що робить її ідеальною для бізнесу. Популярні види включають броколі, редис, горох і соняшник. Мікро зелень затребувана в ресторанах, кафе та магазинах здорового харчування.

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Зелень і трави Базилік, петрушка, кріп, кінза і м'ята — приклади зелені й трав, які можна успішно вирощувати взимку в фітотроні. Ці рослини користуються попитом цілий рік і можуть продаватися свіжими або використовуватися в кулінарії.

Міні-овочі Міні-помідори, міні-перці і редис — чудові культури для зимового вирощування. Вони займають мало місця і швидко ростуть, забезпечуючи добрий врожай у короткі терміни. Міні-овочі популярні в ресторанах і серед споживачів, які віддають перевагу здоровому харчуванню.

2.2. Вирощування салату під різними фіто випромінювачами

В даний час людство все більше приділяє увагу здоровому образу життя, тим самим стежачи за своїм харчуванням і вживаючи більшою мірою рослинну їжу. У зв'язку з цим створюється попит на різні продукти рослинного походження, у тому числі трав'янисті рослини, до яких належить листовий салат. Він є однією з найпоширеніших овочевих культур у світі.

Листовий салат - це однорічна рослина і за певних природно кліматичних умов, він не може рости у відкритому ґрунті цілий рік, а термін зберігання його такий малий, що немає необхідності одразу вирощувати його із запасом. За цій причині створюються певні умови вирощування у вигляді захисних споруд, до яких належать тепличні комплекси, які дозволять радувати споживачів цього продукту цілий рік.

При вирощуванні салату в тепличних комплексах необхідно створювати певні умови крім температурно - вологісного режиму, це освітленість, від нього безпосередньо залежить процес фотосинтезу. Салат листовий дуже світлолюбна рослина. Для цього потрібний правильний спектральний склад випромінювання.

Технології вирощування рослин у захищеному ґрунті вимагають застосування високоефективних джерел оптичного випромінювання (ОІ), опромінювачів, опромінювальних установок (ОБП) [1].

В даний час приділяється велика увага розвитку промислової світло культури, зокрема, інтенсивної світло культури рослин з широким використанням штучних джерел випромінювання. Багато тепличних господарств почали використовувати світлодіодні (LED) фіто випромінювачі для освітлення рослин.

Основні причини зростання популярності LED-фіто випромінювачів такі:

- можливість створення приладу з потрібним спектром, що підвищує засвоюваність світла (YPF) на 25%;
- довговічність та ударо міцність;
- енергоефективність.

Крім того, внаслідок розвитку технологій масового виробництва світлодіодів ціна LED-фіто випромінювачів стає доступною для багатьох покупців.

Аналіз електротехнологічних установок оптичного діапазону дозволив встановити, що для досвітлення рослин у вегетаційних установках технології "сіті-ферми" використовують LED-фіто випромінювачі. Дослідження довели ефективність вирощування вищих рослин при впливі на них електромагнітними випромінюваннями, створюваними напівпровідниковими випромінювачами.

Однак, як показують дослідження, що серійно випускаються в масовому виробництві LED-фіто випромінювачі, володіючи властивістю універсальності, не забезпечують вимоги щодо інтенсивності та спектрального складу до окремих видів сільськогосподарських культур.

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, мета дослідження – експериментальним шляхом визначити ефективні режими опромінення для зелених овочевих культур на прикладі сортів салату.

На рис. 2.2 представлена дослідна установка з джерелами випромінювання, показники яких наведені у таблиці 1.

Таблиця 2.1 – Характеристики опромінювальних установок

Параметри	Типи LED-фіто випромінювачів	
	Тепличний опромінювач H-Light FITO 43W LED Light (дослідний зразок)	Uniel ULI-P21- 35W/SPSB 1150 мм, IP40, WHITE UL- 00002993 (опромінювач серійно випускається)
Потужність світильника P_n , Вт	43	35
Фотосинтезний фотонний потік PPF , мкмоль/с	82,4	46
Ефективна віддача η_f , мкмоль с ¹ /Вт	1,91	1,3

В експерименті необхідно визначити врожайність та темпи зростання в залежності від інтенсивності та спектрального складу випромінювання. Салат вирощується у двох блоках. дослідної установки, представленої на рисунку.

Параметри мікроклімату обох блоках однакові.

Системи опромінення мають суттєві відмінності в спектрі випромінювання, але можна порівняти за потужністю.

У кожен салатний горщик додавали верховий нейтралізований торф, в який висаджується по три насінини салату на глибину 0,2–0,3 см (відповідно до норм висіву). Таким чином, виходить, що у кожному блоці висаджено по 36шт. насіння салату.

У дослідах перший опромінювач встановлюємо на відстані від рослин на 0,5 метра, другий опромінювач, згідно даних люкметра – на 0,3 метра від рослин, надання рівних умов освітленості (рисунок 1). При оцінці ефективності джерел випромінювання використовуємо методику, за критерієм освітленості, наведену в [8].

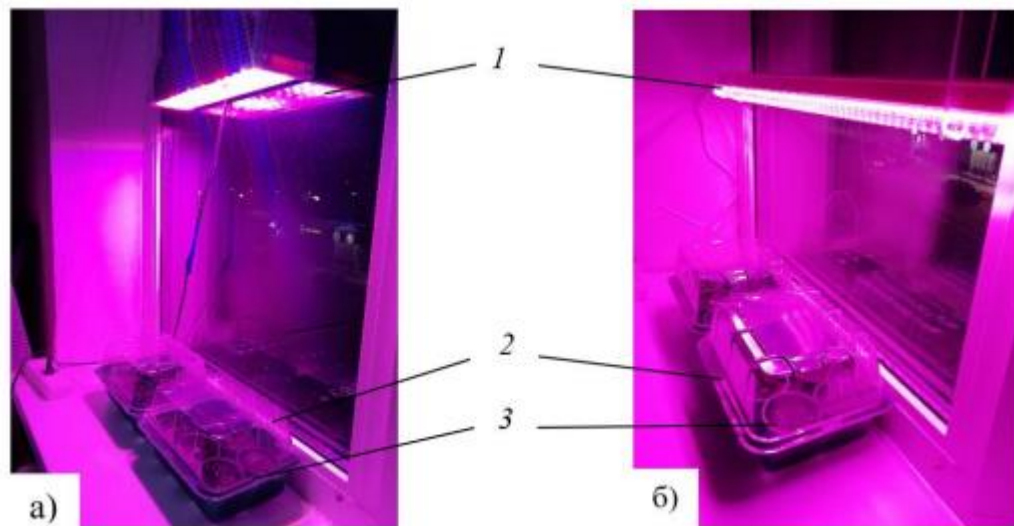


Рис.2.2 - Установка: а) з експериментальним зразком;

б) із серійно опромінювачем, що випускається:

1 - LED-фіто випромінювачі; 2 – розсадний контейнер;

3 – розсадний горщик

Салат негативно реагує підвищення температури. Оптимальна температура для проростання насіння 12...15°C. При температурі ґрунту вище 25°C схожість різко падає. Після появи сходів протягом тижня денну температуру підтримують лише на рівні 8-12°C, нічну – 6...10°C. Вологість при цьому має бути 60-80%.

Для контролю освітленості застосовуємо люксметр Testo 540. Температурно - вологісного режиму використовуємо прилад термогігрометр CENTER 315. Для визначення маси салату використовуємо ваги CompactScale HT-500.

Ці прилади допоможуть надати точність при аналізі результатів експерименту визначення ефективності роботи опромінювачів при вирощуванні зелених культур

2.3. Система автоматизованого управління фітотроном зі світло культурою та гідропонною технологією

У всьому світі зростає інтерес до інтелектуальних досліджень та розробок у галузі фабрик зі світло культурою, які, як очікується, відіграватимуть важливу роль у міському сільському господарстві у найближчі десятиліття. Також очікується, що вони сприятимуть вирішенню трилеми харчування, навколишнього середовища та природних ресурсів зі збільшенням міського населення, зменшенням сільського населення та площі орних земель]. Натомість існуючих у недавньому минулому технологій розробляються та вдосконалюються тактики оптимізації за критеріями ефективності альтернативного сільськогосподарського середовища, що дозволяє вирощувати продовольчі культури у контрольованих умовах.

Донедавна більшість джерел випромінювання для світло культури були представлені розрядними лампами низького тиску та розрядними лампами високого тиску З розвитком технології світло діодного опромінення акцент змінювався у бік управління інтенсивністю та якістю випромінювання для підвищення продуктивності біомаси та підвищення концентрації біоактивних вторинних метаболітів у листових культурах та овочах у світло культурі. Однак не існує єдиного світлового рішення, що підходить для всіх сценаріїв. Оптимальне випромінювання в навколишньому середовищі

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

варіюється залежно від виду і навіть сорту, стадії росту рослин, конкретних вторинних метаболітів та інших умов навколишнього середовища таких як температура, живильні речовини та концентрація CO₂. Подальший прогрес у галузі опромінення та напівпровідникових технологій – світлодіодні джерела з можливістю налаштування як за інтенсивністю світла, так і за якістю, доступні для дослідників та комерційних фабрик для вирощування зі світло культурою.

Важливим інструментом для вирощування рослин у закритих приміщеннях, таких як фабрики зі світло культурою, є гідропонні системи. Серед різних гідропонних систем, придатних для вирощування рослин у закритих просторах, найбільше комерційне поширення набули системи активної гідропоніки, зокрема технологія періодичного затоплення (Ebb&Flow), метод живильного шару (NFT), системи краплинного зрошення (Drip systems) та системи аеро гідропоніки (AHS). Для фітотрону оптимальним варіантом є технологія Ebb&Flow, проте ефективність її застосування визначатиметься правильно підібраним циклом зрошення та раціональним розташуванням окремих елементів та частин.

Схема фітотрон якого зображена на рис. 1, призначений для дослідження впливу різних спектрів та інтенсивності випромінювання на зростання, розвиток та врожайність рослин.

Фітотрон працює наступним чином. При включенні зі щита управління 20 подається живлення на опромінювач з сонячним спектром 9, опромінювач з біколовим спектром 10 і опромінювач з регульованим спектром 11, характеристики якого регулюються у процесі роботи.

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

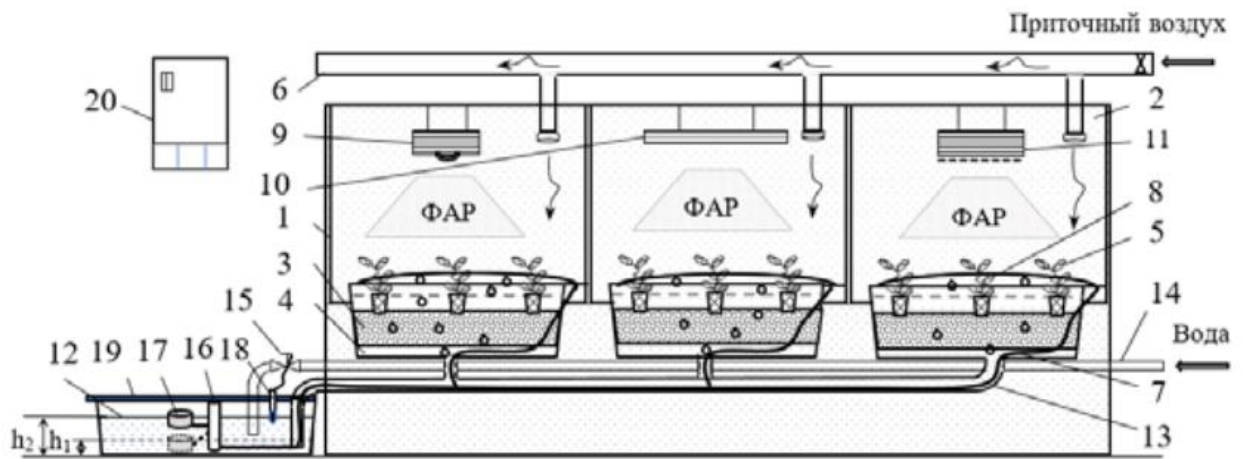


Рис. 2.4. Фітотрон зі світло культурою та гідропонною технологією періодичного затоплення:

- 1 – каркас; 2 – робочі камери; 3 – стелаж для лотків із субстратом;
- 4 – піддон для зливу живильного розчину; 5 – рослини у горщиках;
- 6 – повітропровід; 7 – трубопровід, що подає;
- 8 - поливальний шланг з перфорацією;
- 9 – опромінювач із сонячним спектром,
- 10 – опромінювач з біколорним спектром;
- 11 - опромінювач з регульованим спектром;
- 12 – ємність для живильного розчину; 13 - зливальний трубопровід;
- 14 - доливальний трубопровід; 15 – електромагнітний клапан;
- 16 – занурювальний насос; 17 – рухливий поплавковий датчик рівня;
- 18 - нерухомий датчик доливання води; 19 - знімна кришка;
- 20 - щит управління

Енергія у вигляді потоку фото синтетично активної радіації (ФАР) надходить до рослин у горщиках 5. У цей же період в робочі камери 2 по повітропроводу 6 здійснюється приплив повітря. Відбувається процес фотосинтезу. Одночасно з цим за програмою, налаштованою у щиті управління 20 на певний цикл роботи та паузи, включається в роботу

занурювальної насос 16, при цьому рухливий поплавковий датчик рівня 17 знаходиться у верхньому положенні h_2 , і живильний розчин з ємності 12 надходить по подаючому трубопроводу 7, розташованому всередині зливного трубопроводу 13, через поливальний шланг з перфорацією 8 до рослин у горщиках 5. Відбувається полив. Після цього рухливий поплавковий датчик рівня 17 досягає нижнього рівня h_1 і подає сигнал на відключення занурювального насоса 16. Далі живильний розчин самопливом зливається через стелаж для лотків із субстратом 3 у піддон для зливу живильного розчину 4, насичуючи коріння рослин поживними речовинами та киснем. Потім по зливному трубопроводу 13 живильний розчин зливається в ємність для живильного розчину 12, наповнюючи її до верхнього рівня h_2 , що фіксується нерухомим датчиком доливки води 18 і рухомим поплавковим датчиком рівня 17.

За певний період часу частина живильного розчину засвоюється рослинами в горщиках 5 і випаровується, знижуючи нижче верхнього рівня h_2 , що наводить до спрацьовування нерухомого датчика доливки води 18, що подає сигнал на відкриття електромагнітного клапана 15, вода з доливального трубопроводу 14 доповнює ємність для живильного розчину 12 до верхнього рівня h_2 , після чого доливання води припиняється. Весь цикл роботи та обладнання контролюється та регулюється зі щита управління 20.

Для прискорення проведення науково-дослідних робіт у всіх робочих камерах для вирощування рослин вегетаційної установки підтримують однакові параметри мікроклімату та режим поливу рослин, але різні режими опромінення (наприклад, спектральний склад, тривалість та інтенсивність опромінення).

Конструктивні елементи фітотрону зі світло культурою та гідропонною технологією періодичного затоплення, виготовленого за наведеним вище описом, представлені на рис. 2.5.

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фітотрон містить три робочі камери розмірами 800×800×1200 мм, розділені непрозорими перегородками (рис. 2а). У кожній камері встановлено світлодіодні опромінювачі порівнянної потужності, близько 100 Вт при забезпеченні опромінення $PPFD=150\pm 10\%$ мкмоль/(м²· С). У двох камерах опромінювачі мають постійний спектр (в одній – опромінювач із сонячним спектром, в іншій – опромінювач з бі колорним спектром) та працюють за режимом: 16 годин – день, 8 годин – ніч. У третій камері встановлено опромінювач зі змінним спектром по трьох каналах управління для трьох груп світлодіодів: червоних (к), білих (б), синіх (с). Він повинен працювати за сценарієм: 0(к)-60(б)-80 (с) – «світан», тривалість 2 години; 80 (к)-0 (б)-50 (с) – «день», 13 годин; 140 (к)-0 (б)-0 (с) – «захід сонця», тривалість 1 год. Режими та сценарій можуть змінюватися в залежності від вирощуваної культури та вимог технологічного процесу.



а)



б)



в)

Рис.2.5. Конструктивні елементи фітотрону зі світло культурою та гідропонною технологією періодичного затоплення:

- а) робочі камери зі стелажми для лотків із субстратом, піддонами для зливу живильного розчину, рослинами в горщиках та повітроводами;
- б) ємність для живильного розчину із системою доливання води та системою регулювання подачі поживного розчину; в) щит управління.

Кожна робоча камера містить піддон для зливу живильного розчину по 65 літрів кожен, зверху якого встановлено стелаж для лотків із субстратом

на 45 літрів. Як субстрат застосовується піно скло великої фракції, яке зверху засипається цеолітом для фіксації рослин, що підлягають дослідженню. Ті, у свою чергу, поміщаються у торф'яний субстрат у розсадних горщиках, у кількості, що відповідає нормі висіву для кожної культури. Для подачі живильного розчину застосовується занурювальний дренажний насос LEO XKS-1000 SW, встановлений у ємність для живильного розчину об'ємом 95 літрів (рис. 2б). У системі доливання води на доливальному трубопроводі встановлено електромагнітний клапан SMART SP61353, ємність для живильного розчину – датчик доливки води S5-A250. Автоматизоване керування здійснюється через щит керування (рис. 2в).

Функціональні можливості, які повинна забезпечувати система автоматизації: контроль та регулювання тривалості світлового дня для трьох опромінювачів, регулювання спектру три каналного опромінювача, регулювання періодичності поливу, регулювання рівня живильного розчину в ємності для живильного розчину, відображення статусу через дисплей.

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Контроль процесу вирощування салату та приправ у фітотронній установці реалізовано в замкненому середовищі з автоматичною підтримкою мікроклімату.

Ефективність росту культур безпосередньо залежить від точного моніторингу ключових показників:

- Температури повітря та робочого середовища;
- Рівня інсоляції (освітленості);
- Кислотності (pH) поживного розчину;
- Вмісту вуглекислого газу в атмосфері установки.

Оскільки відхилення цих параметрів від норми є критичним для життєдіяльності рослин, для безперервного моніторингу було створено функціональну схему інформаційно-виміральної системи (рис. 3.1).

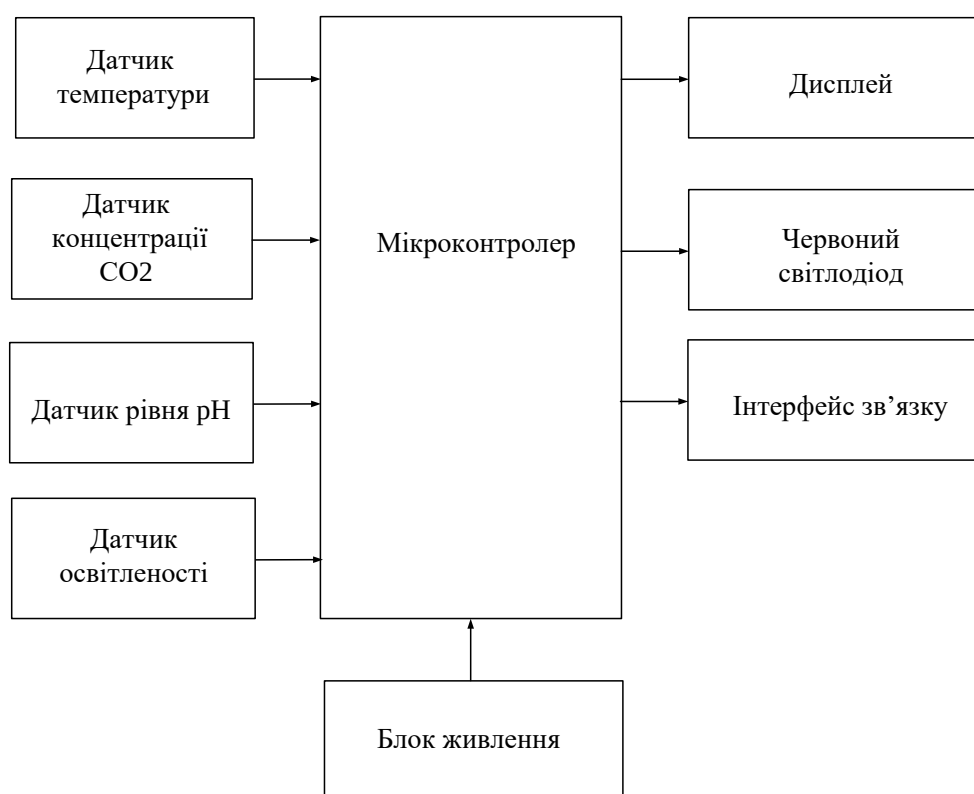


Рис. 3.1 - Структурна схема комп'ютеризованої інформаційно-виміральної системи контролю за процесом вирощування салату та приправ

Структурна схема системи на основі мікроконтролера складається з наступних блоків:

Мікроконтролер — центральний вузол системи, який зчитує дані з датчиків, обробляє їх за заданим алгоритмом і формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Блок живлення — забезпечує трансформацію змінної напруги побутової мережі 230 В у стабільну постійну напругу 5 В, необхідну для живлення мікроконтролера та периферійних пристроїв.

Модуль індикації (дисплей та світлодіод) — призначений для візуалізації поточних параметрів мікроклімату й установлених меж. У разі виходу показників за межі норми вмикається червоний світлодіод для аварійної сигналізації.

Датчик температури — фіксує температурний режим усередині камери, що критично важливо для регулювання швидкості росту рослин та інтенсивності фотосинтезу.

Датчик концентрації CO₂ — здійснює моніторинг вмісту вуглекислого газу в повітрі, забезпечуючи контроль умов для ефективного вуглецевого живлення рослин.

Датчик рівня рН — контролює кислотно-лужний баланс поживного розчину для підтримання оптимального засвоєння мікроелементів кореневою системою.

Датчик освітленості — вимірює рівень інсоляції у фітотроні, що дає змогу контролювати штучне доосвітлення, необхідне для фотосинтезу.

Інтерфейс зв'язку (USB) — забезпечує передачу зібраних даних на ПК для їх реєстрації, візуального моніторингу та подальшого статистичного аналізу.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1 Вибір датчика температури

Для вимірювання температури було обрано цифровий температурний датчик DS18B20 у герметичному корпусі. Він має високу точність ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), зручність підключення по 1-Wire інтерфейсу та придатний для роботи в рідкому середовищі. Це дає змогу проводити вимірювання без додаткових перетворювачів сигналу. (рис. 4.1)



Рис. 4.1- Датчик температури

Для прецизійного вимірювання температури в повітряному та рідкому середовищах фітотрона застосовано цифровий датчик **DS18B20**. Основною перевагою цього сенсора є цифровий принцип функціонування, що виключає потребу в аналогово-цифровому перетворенні та спрощує його інтеграцію з мікроконтролером (зокрема, з платформою Arduino).

Завдяки герметичному корпусу з нержавіючої сталі датчик є стійким до вологи й корозії, не вступає в хімічну реакцію з поживним розчином і може безпечно занурюватися в гідропонну суспензію або субстрат. Сенсор забезпечує стабільність показань протягом тривалого часу з точністю $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$,

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

що повністю задовольняє вимоги до підтримання мікроклімату для культивування рослин.

DS18B20 підтримує послідовний протокол обміну даними **1-Wire**, який дає змогу мінімізувати кількість з'єднувальних провідників і підключати каскад із кількох датчиків до одного цифрового порту мікроконтролера. Це суттєво спрощує масштабування системи моніторингу за необхідності контролю температури в різних зонах установки.

В таблиця 4.1 наведені технічні характеристики для датчика температури DS18B20:

Таблиця 4.1- технічні характеристики

Діапазон вимірювання температур	-55...+125°C
Точність вимірювання	±0,5°C у діапазоні -10...+85 °C
Інтерфейс	1-Wire
Живлення	3-5.5В
Роздільна здатність	9-12 біт
Корпус	герметичний зонд

4.2 Вибір датчика вимірювання кислотності середовища

Для вимірювання рН було обрано рН-датчик SEN0161-V2 виробництва DFRobot (рис. 4.2).



Рис. 4.2- pH-датчик SEN0161-V2

Таблиця 4.2- Технічні характеристики

Діапазон вимірювання	0-14 pH
Точність	$\pm 0,1$ pH або 25°C
Напруга	3,3-5,5 В
Робоча температура	$5-60^{\circ}\text{C}$

Аналоговий вимірювальний модуль рН-метра SEN0161-V2 орієнтований на лабораторне та дослідницьке застосування. Зважаючи на відсутність герметичного корпусу, плата потребує захисту від пилу, агресивних хімічних парів та вологи. Стабільна робота електронних компонентів без температурного дрейфу показань гарантується в діапазоні температур від 0 до $+60^{\circ}\text{C}$ за відносної вологості не більше 95% (без конденсації).

Енергозабезпечення модуля реалізується через лінію стабілізованої постійної напруги 3.3–5.0 В. Для нівелювання впливу завад на аналоговий тракт пристрій ізолюють від джерел сильних електромагнітних полів. Підтримання метрологічних характеристик системи забезпечується періодичним калібруванням датчика за реперними точками буферних

розчинів (рН 4.00 / 7.00 / 10.00), що є критично важливим під час первинного налаштування системи або після її консервації.

4.3 Вибір датчика рівня освітленості

Для моніторингу рівня освітленості у фітотронній установці обрано цифровий датчик **BH1750**. Цей сенсор має широкий динамічний діапазон вимірювання (від 1 до 65535 лк), що дає змогу ефективно контролювати як мінімальні, так і максимальні рівні інсоляції, необхідні для інтенсивного фотосинтезу салату та зелених культур. Обмін даними з мікроконтролером (зокрема, Arduino Nano) здійснюється через послідовний інтерфейс І²С, що спрощує апаратну інтеграцію датчика в систему та мінімізує кількість задіяних портів введення-виведення.

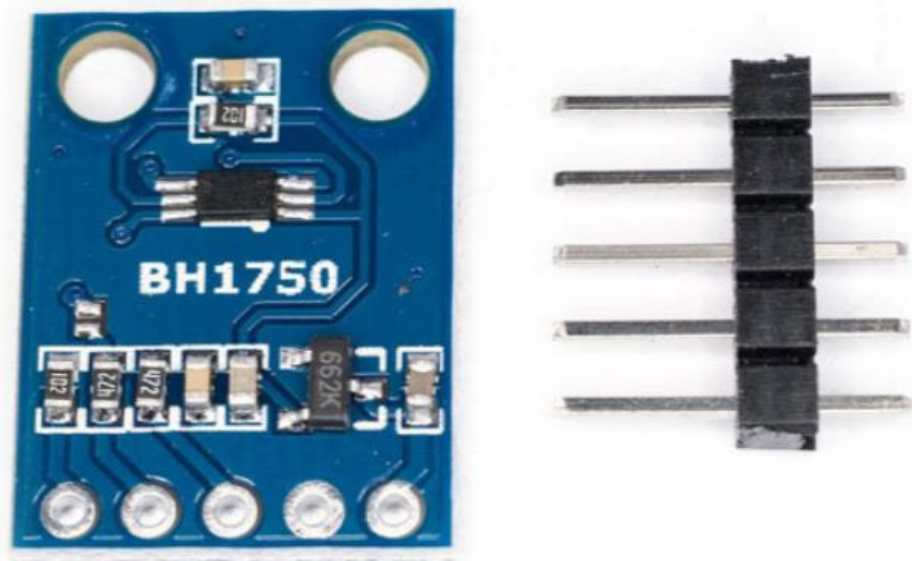


Рис. 4.3- Датчик BH1750

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Основні технічні характеристики датчика BH1750 наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3- технічні характеристики

Діапазон вимірювання освітленості	1-65635 Lux
Точність	±20%
Напруга	3-5 В
Інтерфейс	I2C
Час оновлення даних	~120 мс

4.4 Вибір датчика вуглекислого газу

Для комплексного моніторингу складу газового середовища у фітотроні застосовано напівпровідниковий сенсор **MQ-135**. Особливістю цього датчика є його мульти газова чутливість: окрім вуглекислого газу (CO_2), він реагує на наявність аміаку, бензолу, оксидів азоту та інших супутніх компонентів. Використання MQ-135 дозволяє здійснювати інтегральну оцінку якості повітря в робочій зоні установки. Оскільки датчик функціонує за принципом зміни провідності напівпровідникового шару при адсорбції газів, для точного виділення частки CO_2 в умовах фітотрона передбачено програмну компенсацію впливу температури та відносної вологості.



Рис. 4.4- Датчик MQ-135

Основні технічні характеристики датчика MQ-135 наведено в таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 технічні характеристики

Діапазон вимірювання концентрації газів	10-1000 рп
Напруга живлення	5 В
Споживаний струм	150 мА
Час розігріву	20 с

4.5 Вибір мікроконтролера

Безперервний моніторинг ключових параметрів середовища у фітотронній установці для культивування салату та пряних трав забезпечується комплексом вимірювальних сенсорів. До контуру контролю інтегровано датчики температури, кислотності (рН), рівня рідини, а також концентрації робочої суспензії. Збір, первинна обробка та аналіз

вимірювальної інформації з усіх периферійних пристроїв покладені на мікроконтролер Arduino Nano, який виконує функцію центрального обчислювального вузла інформаційно-вимірювальної системи (рис. 4.5).



Рис. 4.5- Мікроконтролер Arduino Nano

Arduino Nano є однією з найпоширеніших та найзручніших платформ для створення невеликих автоматизованих систем збору, обробки та передачі даних. У контексті фітотронної установки він виконує роль центрального елемента, який об'єднує роботу датчиків, аналізує параметри та керує виконавчими пристроями.

4.6 Вибір дисплею

У якості дисплея для виводу інформації у комп'ютеризованій інформаційно-вимірювальній системі було обрано модуль LCD 1602 з інтерфейсом I2C (Рис.4.7). Цей модуль є одним з найпоширеніших та найзручніших у використанні елементів для виводу символічної інформації в мікропроцесорних системах. Дисплей має 2 рядки по 16 символів, чого

достатньо для одночасного виводу декількох поточних параметрів середовища, таких як температура, освітленість або рівень рН.

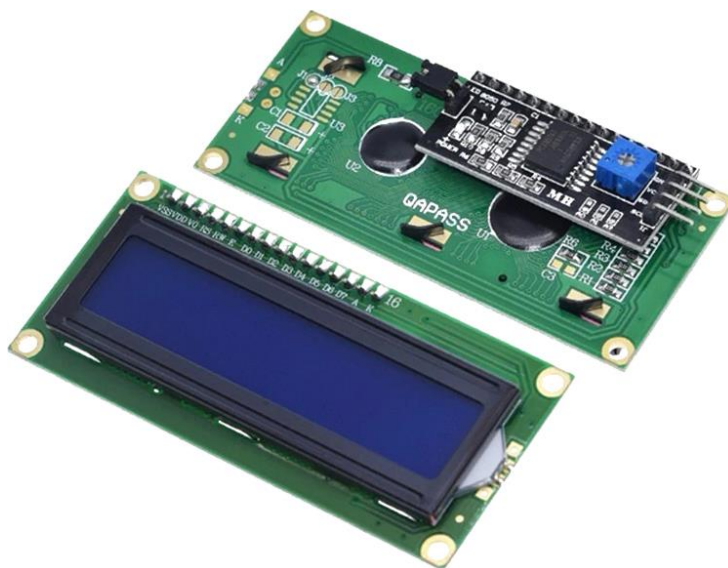


Рис. 4.7- LCD 1602 I2C дисплей

Обравши всі необхідні компоненти було розроблено схему електрично принципову

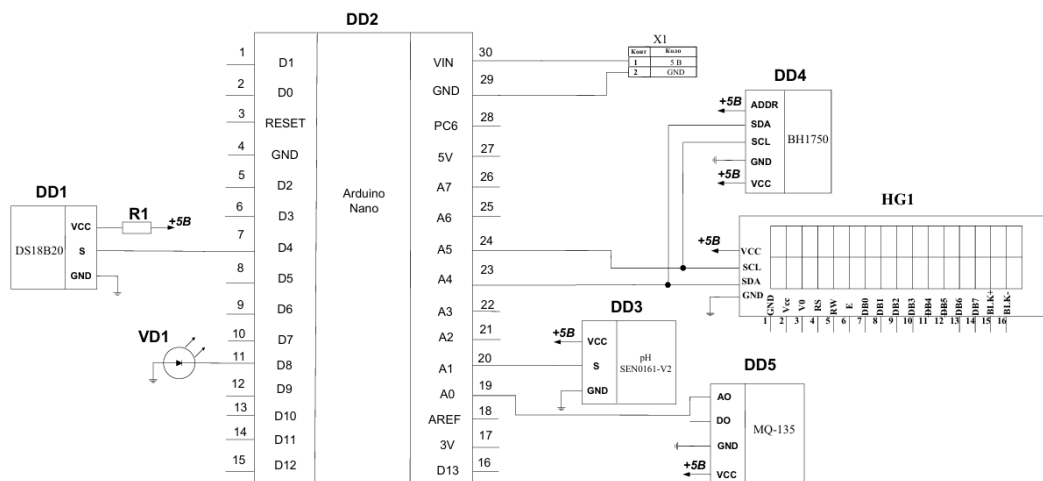


Рис. 4.9- Схема електрична принципова

4.8 Розробка друкованої плати

Розробку принципової електричної схеми та проєктування топології друкованої плати інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) виконано у сучасному веб орієнтованому середовищі автоматизованого проєктування (САПР) **EasyEDA**.

Проєктована друкована плата має геометричні розміри 92 x 84\ мм. Такі габарити забезпечують оптимальну щільність компонування електронних компонентів при збереженні високої ремонтпридатності та компактності модуля керування фітотроном. На платі інтегровано посадкове місце (Full-print/Socket) для встановлення мікроконтролера Arduino Nano, а також передбачено периферійні інтерфейсні роз'єми (клемні колодки та штирьові з'єднувачі) для підключення виносних сенсорів: температури, освітленості, концентрації вуглекислого газу (CO_2) та кислотності поживного розчину (pH).

Конструктивно плата реалізована за двошаровою структурою (Double-sided PCB): Верхній шар (Top Layer): переважно задіяний для трасування високошвидкісних та слабкострумових цифрових і аналогових сигнальних ліній. Нижній шар (Bottom Layer): виділений під розведення шин живлення та суцільного полігону заземлення (GND plane).

Такий підхід до трасування дозволяє мінімізувати паразитні ємнісні та індуктивні зв'язки, ефективно екранувати аналогові вимірювальні тракти від високочастотних цифрових завад мікроконтролера та гарантувати електромагнітну сумісність (ЕМС) пристрою. Комутаційні роз'єми для підключення зовнішніх виконавчих механізмів та датчиків винесені на периферію (по периметру плати), що задовольняє вимогам ергономіки, спрощує монтаж, кабель-менеджмент та подальше сервісне обслуговування фітотронної установки.

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

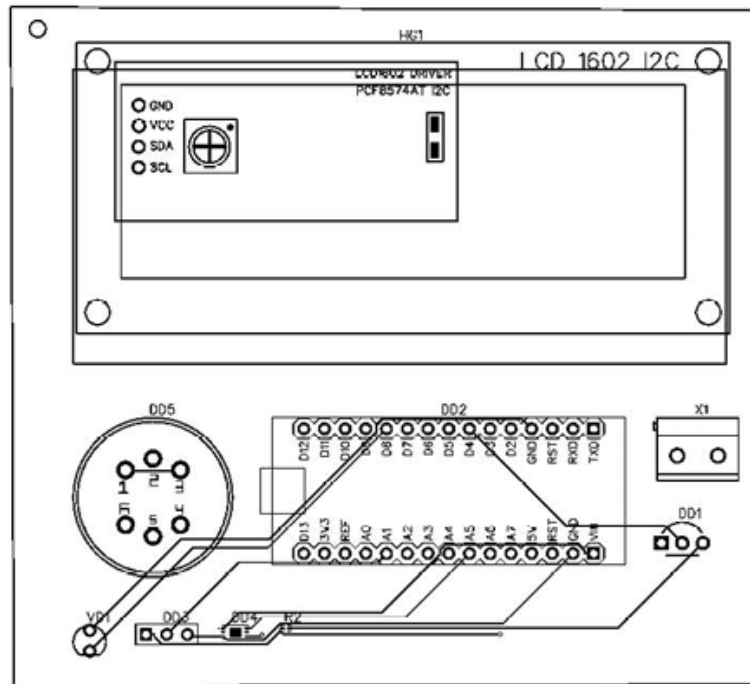


Рис. 4.9 – Перший шар друкованої плати

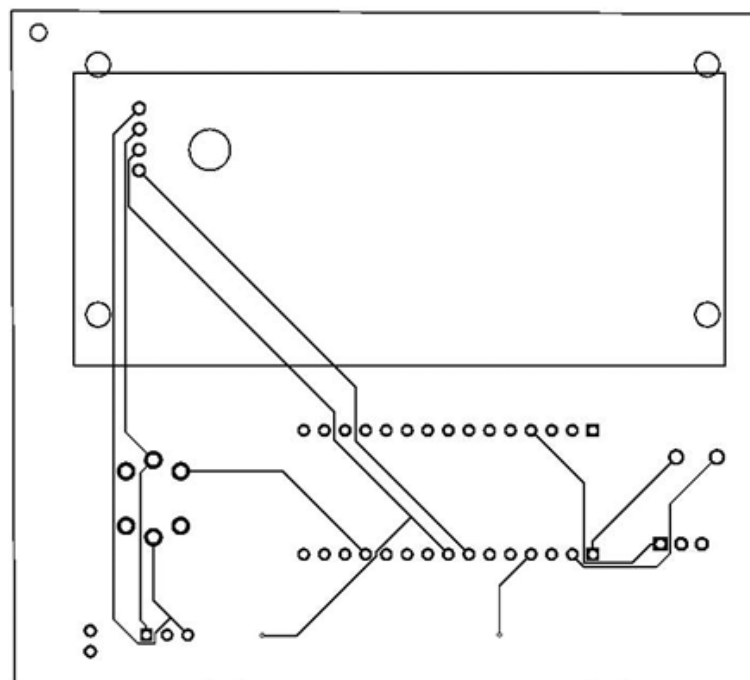


Рис. 4.10 – Другий шар друкованої плати

5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

5.1. Розробка алгоритму

Програма починається з блоку початку. Робота системи починається тоді, коли живлення подається. В нашому випадку живлення подається з блоку живлення.

Блок підключення бібліотек виконує підключення бібліотек для дисплея.

Блок ініціалізація підключає та ініцілізує датчики, дисплей, світлодіод, задає змінні та константи.

Блок з повідомленням на дисплеї «Контроль салату» вмикається на початку програми.

Блок основний цикл виконує основну програму. Блок цикл повторюється кожні дві секунди.

Після перевірки значень на критичні показники, програма зациклюється та знову починає перевіряти датчики.

Блок кінець настає в випадку, якщо живлення перестає подаватися.

Алгоритм роботи програми системи представлений на рис.5.1.

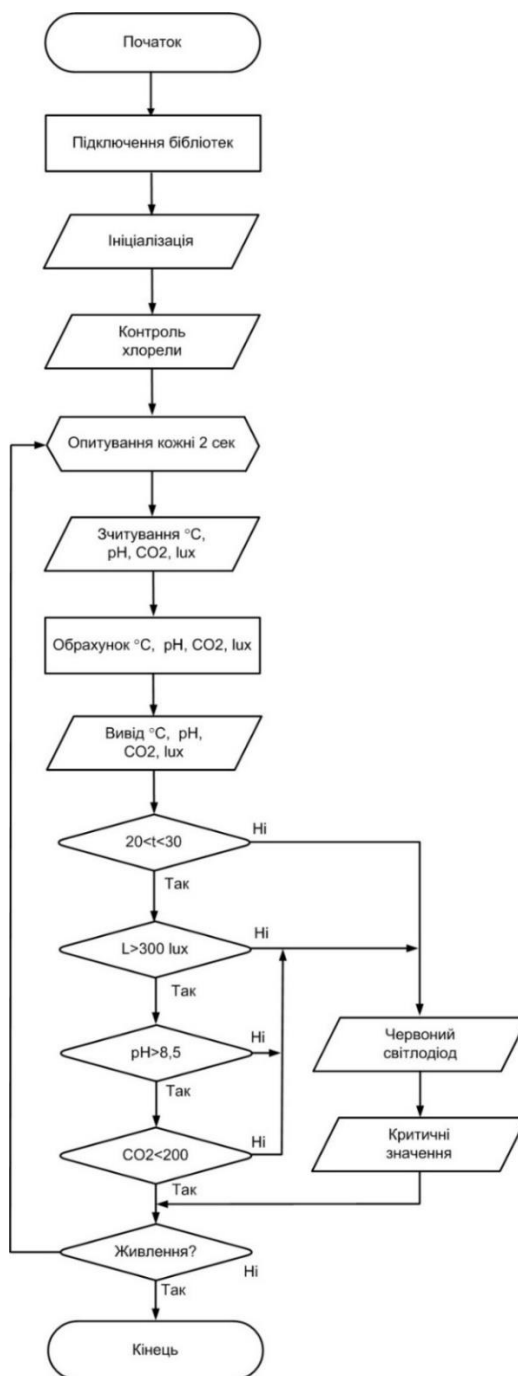


Рис.5.1-Блок-схема алгоритму

5.2.Розробка програми

Для програмування мікроконтролера, що використовується в системі контролю за процесом вирощування салату та приправ, застосовано мову Arduino — спрощену версію C/C++, спеціально розроблену для роботи з мікроконтролерами типу AVR. Зокрема, в основі апаратної частини системи лежить мікроконтролер ATmega328P, що входить до складу плати Arduino Nano.

Мова Arduino забезпечує зручне та швидке створення програм для зчитування показників з датчиків (температури, освітленості, pH, CO₂), обробки отриманих даних, відображення інформації на дисплеї та передавання її через USB-інтерфейс до комп'ютера. Вона має зрозумілий синтаксис, схожий на мову C++, і включає вбудовані бібліотеки для підключення широкого спектра датчиків і модулів, що значно полегшує процес розробки.

Повний програмний код із докладними коментарями наведено у Додатку А, а нижче подано основні фрагменти з поясненням функціональних блоків системи.

Імпорт бібліотек. Підключення потрібних бібліотек для роботи з датчиками: I2C: LCD2004 та BH1750 (освітлення) OneWire/Dallas: температурний датчик DS18B20.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <BH1750.h>
```

Оголошення пінів і створення об'єктів. Встановлюємо, до яких пінів підключені датчики та створюємо відповідні об'єкти для зчитування їхніх даних.

```

#define ONE_WIRE_BUS 4
#define PH_PIN A1
#define CO2_PIN A0
#define LED_PIN 8

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
BH1750 lightMeter;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

```

Функція `setup()` . **Призначення:** ініціалізація, підключення до серійного порту, запуск роботи всіх датчиків.

```

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    sensors.begin();
    lightMeter.begin();
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Контроль хлорели");
    delay(2000);
}

```

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

```

void loop() {

    lcd.clear(); // Очистка LCD перед оновленням даних

    // ===== TEMPERATURA =====
    sensors.requestTemperatures(); // Отримуємо температуру з DS18B20
    float temperature = sensors.getTempCByIndex(0); // Беремо температуру з
першого датчика
    if (temperature < 20 || temperature > 30) { // Перевірка критичних меж
        alert = true;
    }

    // ===== ОСВІТЛЕНІСТЬ =====
    float lux = lightMeter.readLightLevel(); // Зчитування освітленості (в
lux)
    if (lux < 300) { // Мінімальний рівень світла для хлорели
        alert = true;
    }

    // ===== pH =====
    int ph_raw = analogRead(PH_PIN); // Зчитування аналогового значення з pH-
датчика
    float voltage = ph_raw * (5.0 / 1023.0); // Перетворення у напругу (0-5
В)
    float pH = 7 + ((2.5 - voltage) / 0.18); // Спрощене перетворення напруги
в pH (для SEN0161-V2)
    if (pH < 6.5 || pH > 8.5) { // Критичні межі pH для хлорели
        alert = true;
    }

    // ===== CO2 (MQ-135) =====
    int co2_raw = analogRead(CO2_PIN); // Зчитування рівня "загального
забруднення повітря"
    if (co2_raw > 200) { // Грубий поріг – можна калібрувати краще
        alert = true;
    }

    // ===== ВИВІД НА LCD =====
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("T:");

```

```

lcd.print(temperature, 1);    // Температура з 1 знаком після крапки
lcd.print("C L:");
lcd.print((int)lux);          // Освітлення як ціле число

// ===== ПОПЕРЕДЖЕННЯ =====
if (alert) {
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("!! ПОПЕРЕДЖЕННЯ !!"); // Повідомлення на екрані
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);     // Засвітити червоний світлодіод
} else {
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);      // Все в нормі – світлодіод вимкнено
}
delay(2000); // Оновлення даних кожні 2 секунди
}

```

Передача даних через Serial-порт. Дані передаються на ПК для збереження або моніторингу (через COM-порт/USB).

```

Serial.print("Темп: ");
Serial.print(temperature);
// інші дані...
Serial.println(alert ? "КРИТИЧНИЙ" : "НОРМА");

```

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ

За допомогою цифрового температурного датчика DS18B20, діапазон вимірювання якого згідно з технічною документацією становить від -55 до $+125$ °C, з точністю до $\pm 0,5$ °C у робочому діапазоні $-10 \dots +85$ °C проводимо оцінку метрологічних характеристик датчика було проведено десять повторних вимірювань температури. Результати вимірювань подано нижче:

$$T = (20,11; 20,85; 20,97; 20,12; 20,10; 20,14; 20,09; 20,88; 20,94; 20,90) \text{ °C}$$

На основі отриманої вибірки проведено розрахунки:

1) середнє арифметичне $\bar{T}$ за (6.1):

$$\bar{T} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_i \cong 20,621 \quad (6.1)$$

2) похибки повторних вимірювань ΔT_i та ΔT_i^2 (6.2):

$$\Delta T = |\bar{T} - T_i| \text{ та } \Delta T_i^2 = (\bar{T} - T_i)^2 \quad (6.2)$$

де $i = 1, 2 \dots 10$;

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати вимірювань

№ з/п	T, °C	ΔT_i , °C	ΔT_i^2 , °C ²
1	20,11	0,511	0,261121
2	20,85	0,229	0,052441
3	20,97	0,349	0,121801
4	20,12	0,501	0,251001
5	20,1	0,521	0,271441
6	20,14	0,481	0,231361
7	20,09	0,531	0,281961
8	20,88	0,259	0,067081

9	20,94	0,319	0,101761
10	20,9	0,279	0,077841

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (6.1). За даними табл. 6.1 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (6.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{T} - T_i)^2} \approx 0,138$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B T = 2,26 * 0,148 = 0,312 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 6.1.)

1) похибку приладу за (6.3):

$$\Delta_{\text{пр}} T = \frac{1}{300} t_p k T_{\text{гр}}$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 6.1 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $T_{\text{гр}} = +85 \text{ } ^\circ\text{C}$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} T = \frac{1}{300} 2,0 * 85 * 1 \approx 0,567 \text{ } ^\circ\text{C};$$

2) похибку заокруглення за (4.4):

$$\Delta T_3 = P \frac{h}{2}. \quad (4.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,05. Отже:

$$\Delta T_3 = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,024 \text{ } ^\circ\text{C};$$

3) загальну абсолютну похибку (4.5):

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta_B T)^2 + (\Delta_{\Pi} T)^2 + (\Delta_3 T)^2} = \sqrt{0,312^2 + 0,567^2 + 0,024^2} \approx \quad (4.5)$$

$$\approx 0,65 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

У даному розділі проведено аналіз точності функціонування інформаційно-вимірювальної системи з визначенням температурного поля на основі даних, отриманих від цифрового датчика температури DS18B20. Було здійснено серію з десяти вимірювань температури, за результатами яких обчислено середнє значення, випадкову похибку, похибку приладу, похибку заокруглення, а також загальну абсолютну похибку.

Результати свідчать про стабільність вимірювань і прийнятний рівень точності для поставлених завдань. Загальна абсолютна похибка вимірювання температури склала приблизно 0,65 °С, що відповідає метрологічним характеристикам датчика DS18B20 та дозволяє використовувати його в обраній системі контролю параметрів.

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ

Розрахунок надійності проводився у відповідності зі схемою електричного принципової і з врахуванням заданої кліматичної категорії і виконання виробу.

Параметр потоку відмов визначається по формулі [26]:

$$\lambda_{\text{сис}} = \sum N_i \lambda \quad (8.1)$$

де N - число груп комплектуючих, що входять до складу системи;

$N_i \lambda$ - кількість і інтенсивність відмов комплектуючих i -ої групи.

Інтенсивність відмови комплектуючих i -ої групи в робочому режимі визначається як [26]:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} * a_1 \dots a_n \quad (8.2)$$

де λ_{0i} - інтенсивність відмови комплектуючого виробу в номінальному режимі і нормальних умовах;

$a_1 \dots a_n$ — коефіцієнти, що враховують умови роботи.

Коефіцієнт a_1 визначається за довідниковими даними [26]:

$$a_1 = k_{11} * k_{12} * \dots * k_{15} \quad (8.3)$$

з огляду на умови експлуатації, вибираємо $k_{11}=2$, $k_{12}=1$, $k_{13}=1$, $k_{14}=2$, k_{15} ; таким чином, $a_1=2$. Зробимо розрахунок, скориставшись таблицею 7.1.

Інтенсивність потоку відмов елементів системи :

$$\lambda_{\text{сис}} = 23,574 * 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Можливість безвідмовної роботи протягом часу t [26]:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (8.4)$$

де T - час роботи системи, год,

$\lambda_{\text{сис}}$ - інтенсивність потоку відмов.

Середній час наробітку на відмову [26]

$$T_0 = \lambda_{\text{сис}}^{-1} \quad (8.5)$$

$$T_0 = 11\,936 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи за час $T = 1000$ год. визначимо по формулі (7.4). Вона склала 0,9527.

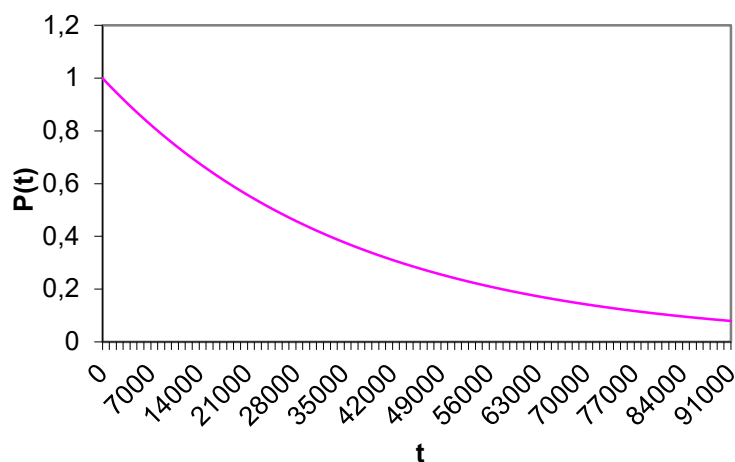


Рис. 7.1 Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Таблиця 7.1. Перелік комплектуючих виробів

№	Компонент	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^6, \text{ год}^{-1}$	Формула λ_i	Коефіцієнти	$\lambda_i \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$
1	Датчик температури DS18B20	1	1,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	$2,1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1$	3,26
2	Arduino Nano (ATmega328)	1	1,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	$2,1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1$	3,26
3	Датчик рН SEN0161-V2	1	1,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	$2,1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1$	3,26
4	Датчик освітленості BH1750	1	1,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	$2,1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1$	3,26
5	Датчик CO ₂ MH-Z19B	1	1,6	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	$2,1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1$	4,368
6	LCD 1602 I2C дисплей	1	1,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	$2,1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1$	3,26
7	Блок живлення 5 В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1	63,00
	Разом:					83,748

8. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Забезпечення виробничої безпеки при експлуатації ІВС

Під час експлуатації комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) фітотрона необхідно суворо дотримуватися вимог техніки безпеки та виробничої санітарії. Комплекс заходів спрямований на захист обслуговуючого персоналу від дії таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

Оскільки система поєднує високу (230 В) та низьку (5 В / 3.3 В) напруги в умовах підвищеної вологості, існує ризик ураження електричним струмом. Особливі вимоги висуваються до датчиків, що контактують із рідким поживним середовищем. Усі провідні з'єднання та вузли кріплення електродів повинні мати герметичне виконання (клас захисту не нижче IP65/IP67) та стійку гідроізоляцію. Це запобігає виникненню струмів витоку, електрохімічній корозії, спотворенню вимірювальних сигналів та аварійним режимам роботи.

Електрохімічна активність поживних розчинів вимагає регулярного контролю цілісності ізоляції кабельних ліній. Обслуговування датчиків (калібрування рН-метру, заміна сенсорів) має проводитися виключно за знеструмленої установки або при відключених лініях живлення відповідних вимірювальних контурів.

Приготування маточних поживних розчинів передбачає роботу з концентрованими мінеральними солями та кислотами/лугами (для корекції рН), які є хімічно активними речовинами. Персонал зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): лабораторні халати, вологостійкі рукавиці та захисні окуляри. Операції з дозування та змішування компонентів мають проводитися у витяжній шафі або в приміщенні з ефективною загальною обмінною вентиляцією. Хімічні реагенти повинні зберігатися в спеціально відведених шафах із відповідним маркуванням.

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення, де експлуатується фітотронна установка, має відповідати чинним санітарним нормам щодо освітленості, вентиляції та мікроклімату. Робоча зона обов'язково комплектується первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотний або порошковий вогнегасник, оскільки гаситься електрообладнання під напругою) та універсальною аптечкою першої медичної допомоги. До роботи допускаються особи, які пройшли вступний, первинний та повторні інструктажі з охорони праці, а також ознайомлені з експлуатаційною документацією та принциповими схемами ІВС.

У разі виявлення ознак короткого замикання (іскріння, запах горілої ізоляції), відмови вимірювальних каналів, витоку поживного розчину або розгерметизації гідравлічного контуру, оператор зобов'язаний: негайно знеструмити установку за допомогою головного вимикача (або кнопки аварійної зупинки); припинити будь-які технологічні операції; оцінити характер та масштаб загрози; сповістити відповідального за безпеку спеціаліста чи технічний персонал.

Забезпечення виробничої безпеки є базовою умовою життєвого циклу комп'ютеризованої ІВС, що має безкомпромісно реалізуватися на етапах проектування, монтажу, налагодження та безпосередньої експлуатації комплексу.

8.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Проектування та експлуатація комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) фітотрона передбачає розробку комплексу заходів із запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру та мінімізації їхніх наслідків. Попри те, що лабораторна установка відноситься до об'єктів із незначним класом наслідків (відповідальності), наявність електричних контурів та рідких середовищ вимагає ідентифікації потенційних факторів, утворюючих загрозу.

Потенційні ризики та аварійні ситуації:

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електротехнічні аварії: виникнення коротких замикань (КЗ), струмове перевантаження кабельних ліній, електричний пробій ізоляції через тривалий контакт із вологою.

Гідравлічні та хімічні загрози: розгерметизація контуру циркуляції поживного розчину, витік робочих рідин та затоплення плати керування.

Апаратні та програмні збої: критичний перегрів силових елементів (БП, комутаційних реле), відмова або зависання мікроконтролера Arduino Nano, хибні показання або втрата зв'язку з датчиками (CO_2 , pH, температури), що може призвести до некоректної активації виконавчих пристроїв.

Пожежна небезпека: займання елементів конструкції внаслідок теплового прояву електричного струму або іскріння.

Комплекс інженерно-технічних заходів попередження НС:

Апаратний захист: Енергозабезпечення системи реалізовано через блок живлення із вбудованим термо захистом та плавкими запобіжниками. Вхідні кола мережі 230 В захищаються автоматичними вимикачами та пристроями захисного відключення (ПЗВ), що реагують на струми витоку.

Електро конструктивний захист: Передбачено обов'язкове захисне заземлення металевих частин корпусу установки. Усі провідні комутації, плати адаптерів та блоки живлення розміщуються у пило - та вологозахищених шафах (гермобоксах) із класом захисту щонайменше IP54/IP65.

Програмно-алгоритмічний захист: В алгоритм роботи мікроконтролера інтегруються захисні тайм-аути, процедури фільтрації шумів та перевірки валідності даних від датчиків для запобігання помилковим спрацюванням виконавчих механізмів.

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи була розроблена комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для контролю параметрів у фітотронній установці, призначеній для вирощування салату та приправ. Під час проєктування було проаналізовано особливості мікрокліматичних умов, необхідних для ефективного росту рослин, зокрема температури, освітлення, вологості, рівня рН і концентрації CO₂. Сформульовані вимоги до точності вимірювання та надійності роботи лягли в основу вибору сенсорної та мікропроцесорної бази.

Створена структурна та принципова схема системи, підібрані датчики з урахуванням їхніх метрологічних характеристик і експлуатаційних властивостей, серед яких цифровий температурний датчик DS18B20, датчик освітлення BH1750 та модуль вимірювання кислотності SEN0161-V2. Реалізовано програмне забезпечення, яке забезпечує збір, обробку, відображення та збереження даних, а також передачу їх на персональний комп'ютер для подальшого аналізу.

Визначено основні показники надійності системи, що дозволяє забезпечити її стабільну роботу протягом тривалого часу без збоїв. Окрему увагу приділено питанням ергономіки, безпеки користування та екологічної безпеки під час експлуатації системи.

Отримані результати підтверджують працездатність і ефективність розробленої системи. Вона може бути застосована в навчальних, науково-дослідних та промислових умовах для створення стабільного середовища культивування салату та приправ. Розробка вирізняється простотою, доступністю, модульністю та високою точністю, що робить її перспективною для подальшого вдосконалення та масштабування

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Environment and the Experimental Control of Plant Growth. Авторы: R.J. Downs;
- 2) Proceedings of the Symposium on Climate & Rice. Авторы: International Rice Research Institute;
- 3) New phytotron for studying the effect of climate change on plant pathogens [Електронний ресурс] // URL: (PDF) New phytotron for studying the effect of climate change on plant pathogens
- 4) Cultivation of sorokiniana IPPAS C-1 in Flat-Panel Photobioreactors: From a Laboratory to a Pilot Scale [Електронний ресурс] // URL: <https://www.mdpi.com/2075-1729/12/9/1309>
- 5) Outdoor Cultivation of the Microalga Chlorella vulgaris in a New Photobioreactor Configuration: The Effect of Ultraviolet and Visible Radiation [Електронний ресурс] // URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/8/1962>
- 6) Phototrophic cultivation of vulgaris in the BioLector XT microbioreactor[Електроннийресурс]//URL:https://www.beckman.ua/resources/reading-material/application-notes/phototrophic-cultivation-of-chlorella-vulgaris-biolector-xt-microbioreactor?utm_source=chatgpt.com
- 7) Tubular Photobioreactors [Електронний ресурс] // URL: <https://a4f.pt/en/tecnologic-plataforms/tec-1>
- 8) Design and Performance Parameters of Photobioreactors[Електронний ресурс]//URL: <https://www.tatup.de/index.php/tatup/article/view/718/1303>
- 9) Photobioreactor [Електронний ресурс] // URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photobioreactor>
- 10) Аналоговий датчик ph SEN0161-V2 [Електронний ресурс] // URL: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2

					MIMT.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

11) Датчик температури [https \[Електронний ресурс\] // URL: ://gps-life.com/shop/gps-datchiki/ds18b20/](https://gps-life.com/shop/gps-datchiki/ds18b20/)

12) Датчик освітлення Arduino (BH1750) [Електронний ресурс] // URL: https://vseplus.com/ua/product/datchik-osvitlenna-arduino-bh1750-182060?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=21393827196&utm_term=&gad_source=1&gad_campaignid=21393827196&gbraid=0aaaaadexgrirxwon7gve3aa6ihp1tokx&gclid=Cj0KCQjwsNnCBhDRARIsAEzia4CdxW-uMs7HPW4QXT1h04I5NZQmWVB3lftE_wT2VvlvkfpT6Lxf9aUaAip4EALw_wcB

13) Блок живлення [Електронний ресурс] // URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=426&product_id=389&gad_source=1&gad_campaignid=20839106384&gbraid=0AAAAADk5dvq7tu-WkUR_hOJjFagPwJh22&gclid=Cj0KCQjwjdtCBhCLARIsAEu8bpJh1CY0Kp0GcMIKKmWBccO-tOhnkFg4vWNPxdomLsJxbL-tvkPSX2MaAtvbEALw_wcB

14) Дисплей LCD 1602 [Електронний ресурс] // URL: <https://arduinokit.com.ua/ua/p1433688907-displej-lcd-1602.html?srsltid=AfmBOornp24CsPSRpDeS9hkwtdaubrwmjMSjhRSnga6Hq7nhRMJqE0Kn>

15) Модуль датчика якості повітря MQ-135 [Електронний ресурс] // URL: https://arduino.ua/prod1201-modyl-datchika-kachestva-vozdyha-mq135?srsltid=AfmBOor-KdG-bfSSeZhZA9LlojyqGMmtyFJkYj_4LsUpHBg0-UpPdnes

16) Arduino [Електронний ресурс] // URL: <https://www.arduino.cc/>

17) Бойправ Л.І., Подчашинський Ю.О., Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю параметрів установки для вирощування салату та приправ. Тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки, 12–17 травня 2026 р. Житомир : Житомирська політехніка, 2026. С. 30. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2026/06/2.pdf>

					МІМТ.480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

