

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Підсистема подачі поживних речовин системи водопостачання домашньої
теплиці на базі платформи Arduino
Назва теми

КвРКІ 022046.22.02.44 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

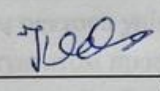
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав: студент III курсу, група КІ2с-22-2


Підпис

Денис ШУЛЬГАН
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Олександр КОЗЕЛЬСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСЛІВ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«16» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Денис ШУЛЬГАН

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Підсистема подачі поживних речовин через систему водопостачання домашньої теплиці на базі платформи Arduino

Керівник проекту (роботи) Олександр КОЗЕЛЬСЬКИЙ, асистент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Розробку, реалізацію та оцінку ефективності автоматизованої підсистеми подачі поживних речовин у домашній теплиці на базі платформи Arduino

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Схема з'єднання елементів системи

Електрична принципова схема

Алгоритм роботи

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи).

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КІС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Розділ 1 – огляд існуючих рішень віддаленого поливу й моніторингу рівня рідини; постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Розділ 2 – проектування апаратної частини - вимоги, структура, принципова та монтажна схеми; аналіз компонентів	01.04.2025	виконано
5	Розділ 3 – Розробка програмного коду на Arduino IDE	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Керівник роботи


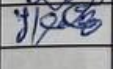
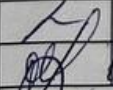
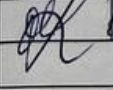
Підпис

Денис ШУЛЬГАН
Ініціали, прізвище

Олександр КОЖИВСЬКИЙ

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КВРКІ 022046.22.02.44 ПЗ	Пояснювальна записка	61		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КВРКІ.022046.22.02.44 Е8	Схема з'єднання елементів системи	1		
3		КВРКІ.022046.22.02.44 Е8	Алгоритм роботи	1		
4		КВРКІ.022046.22.02.44 Е8	Електрична принципова схема	1		

КВРКІ 022046.22.02.44 ВП

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту		
Розробив		Шульган			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Козельський			У	1	61
Н. контр.		Кисіль		16.06.25	ХНУ, КІ2с-22-2		
Зав.		Павлова		16.06.25			

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Підсистема подачі поживних речовин через систему водопостачання домашньої теплиці на базі платформи Arduino».

Автор роботи: Денис ШУЛЬГАН.

Керівник роботи: Олександр КОЗЕЛЬСЬКИЙ.

Пояснювальна записка: 61 с., 16 рис., 1 табл., 3 дод., 40джерел.

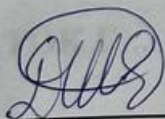
Графічна частина: 3 креслення.

Підсистема подачі поживних речовин через систему водопостачання домашньої теплиці на базі платформи Arduino

Метою даної роботи є створення автоматизованої системи керування подачею поживних речовин у домашній теплиці з використанням мікроконтролера Arduino. Така система має забезпечити стабільні умови для росту рослин, зменшити людське втручання та підвищити ефективність використання води й добрив.

Досягнення цієї мети передбачає інтеграцію датчиків вологості ґрунту, рН та електропровідності, а також виконавчих пристроїв, таких як насос і електромагнітний клапан. Основна задача – забезпечити автоматичне прийняття рішень на основі зібраних даних, що дозволяє точно дозувати подачу води та поживних речовин.

У підсумку, дана робота має на меті розробити недорогу, доступну та ефективну систему автоматизованого поливу, яку можна легко адаптувати до потреб різних користувачів у побутових умовах або невеликих тепличних господарствах.





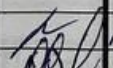

Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ	6
1.1 Особливості функціонування домашніх теплиць	8
1.2 Системи автоматизованого поливу та подачі поживних речовин	9
1.3 Аналіз сучасних автоматизацій (Arduino, Raspberry Pi тощо)	11
1.4 Вимоги до системи подачі поживних речовин	14
2 ПРОЕКТУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ ПОДАЧІ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН	17
2.1 Архітектура підсистеми	19
2.2 Вибір електронних компонентів та обладнання	21
2.3 Схема з'єднання елементів системи.....	30
2.4 Алгоритм роботи системи.....	32
2.5 Програмне забезпечення для керування підсистемою	33
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ	36
3.1 Розробка програмного коду на Arduino IDE	37
3.2 Налагодження та тестування роботи підсистеми	53
3.3 Аналіз отриманих результатів	54
3.4 Проблеми та шляхи їх усунення	56
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТОК А	66
ДОДАТОК Б	66
ДОДАТОК В	68
ДОДАТОК Г	69

КвРКІ.022046.22.02.44 ПЗ				
Зм.	Арк.	Молокум.	Підпис	Дата
Виконав	Денис Шульган			
Перевір.	Олександр Козельський			
Н.контр.	Тетяна КИСЛЬ			16.06.22
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА			16.06.22
Підсистема подачі поживних речовин через систему водопостачання домашньої теплиці на базі платформи arduino			Літера	Арквщ
			у	2
			ХНУ КІ2с-22-2	

ВСТУП

У сучасних умовах зростання чисельності населення, погіршення екологічної ситуації та нестабільності кліматичних умов виникає необхідність у впровадженні ефективних та стійких методів вирощування сільськогосподарських культур. Одним із перспективних напрямів є використання тепличних господарств, зокрема домашніх теплиць, які дозволяють вирощувати овочі, зелень та інші рослини в контрольованих умовах, незалежно від сезону та погодних факторів.

Проте ефективне функціонування теплиці вимагає точного контролю за мікрокліматом, режимом поливу, а також забезпечення рослин необхідними поживними речовинами. Найбільш критичним чинником у цьому процесі є оптимальна подача води з розчиненими мінералами та добривами, адже саме збалансоване живлення суттєво впливає на ріст, розвиток і врожайність культур.

Традиційні методи ручного поливу та внесення добрив не лише забирають багато часу, але й не забезпечують необхідної точності, що може призвести до перенасичення або дефіциту окремих елементів. У зв'язку з цим виникає потреба в автоматизованих рішеннях, які дозволяють мінімізувати людський фактор, підвищити ефективність вирощування рослин і зменшити витрати ресурсів.

У цьому контексті використання мікроконтролерів, зокрема платформи Arduino, є надзвичайно актуальним. Arduino – це відкрита апаратна платформа, яка завдяки своїй доступності, простоті використання та широкій спільноті користувачів, ідеально підходить для створення недорогих, але функціональних систем автоматизації. Вона дозволяє інтегрувати різноманітні датчики та виконавчі пристрої для реалізації повноцінних рішень управління теплицями в домашніх умовах.

Створення підсистеми автоматичної подачі поживних речовин через систему водопостачання на базі Arduino спрямоване на підвищення ефективності використання води та добрив, зменшення ручної праці та покращення якості вирощеної продукції. Така система може стати важливим кроком у розвитку

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

концепції "розумного дому" та "розумного землеробства", сприяючи ширшому впровадженню технологій Інтернету речей (IoT) у побуті.

Крім того, тема роботи є актуальною в контексті розвитку міського землеробства (urban farming) [35] та вертикального вирощування рослин, які дедалі більше набирають популярності у світі через дефіцит орних земель у великих містах. В умовах урбанізації особливої цінності набувають рішення, які дозволяють вирощувати продукти харчування безпосередньо в помешканнях або на дахах будівель, де важливою умовою є автоматизація усіх процесів.

Метою даної дипломної роботи є розробка та реалізація автоматизованої підсистеми подачі поживних речовин через систему водопостачання для домашньої теплиці з використанням апаратної платформи Arduino. Система повинна забезпечувати стабільне та ефективне живлення рослин шляхом контролю і регулювання подачі води з поживними речовинами на основі показників датчиків і заданих параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: Провести аналіз існуючих систем автоматизації домашніх теплиць, зокрема рішень для подачі поживних речовин, визначити їх переваги, недоліки та можливості удосконалення.

Визначити вимоги до підсистеми, включаючи технічні, функціональні та програмні аспекти, а також параметри середовища, які необхідно контролювати (вологість ґрунту, рівень рідини, електропровідність тощо).

Розробити електричну схему підключення елементів системи, забезпечивши надійне функціонування всіх компонентів.

У процесі проектування застосовувався метод моделювання, що дав можливість побудувати логічну схему підсистеми, описати алгоритм її роботи, а також спрогнозувати поведінку в реальних умовах. Розробка апаратної частини включала технічне проектування: підбір компонентів, їхнє з'єднання та перевірку взаємодії. Це стосувалося як вибору мікроконтролера, так і датчиків, насосів, клапанів та інших виконавчих елементів.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Програмне забезпечення створювалося за допомогою мови програмування C/C++ [36] у середовищі Arduino IDE [37], з урахуванням реальних сценаріїв експлуатації. Усі функції були реалізовані так, щоб забезпечити стабільну й точну роботу системи в умовах автономної роботи.

Для перевірки працездатності системи проводилися експериментальні дослідження. Була змодельована робота теплиці в лабораторних умовах, здійснено тестування реакції системи на зміну параметрів середовища, а також виконано оцінку точності та надійності подачі поживних речовин. Результати аналізувалися у порівнянні з традиційними або напівавтоматичними методами догляду за рослинами, що дозволило оцінити ефективність запропонованого рішення та виявити його переваги й можливі обмеження.

Дипломна робота складається зі вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У вступі обґрунтовується актуальність теми, формулюються мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження, описуються застосовані методи, а також подається загальна характеристика структури роботи. Перший розділ присвячено теоретичному аналізу. У ньому розглядаються особливості функціонування домашніх теплиць, наявні рішення автоматизації подачі поживних речовин, можливості платформи Arduino та формуються загальні вимоги до системи. Другий розділ містить опис процесу проектування підсистеми, включаючи вибір компонентів, розробку принципової схеми, опис алгоритму роботи та створення програмного забезпечення для мікроконтролера. У третьому розділі подається опис реалізації апаратної частини системи, наведено результати тестування та оцінки її функціональності в умовах, наближених до реальної експлуатації. У висновках узагальнено результати виконаної роботи, сформульовано основні досягнення та вказано напрями подальших досліджень. Список використаних джерел містить наукову, технічну та інформаційну літературу, яка була використана під час підготовки дипломної роботи. У додатках подано допоміжні матеріали, зокрема електричні схеми, листинги коду та фото реалізованої системи.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

У цьому розділі розглядаються теоретичні засади функціонування систем автоматизації тепличного господарства, аналізуються сучасні підходи до подачі поживних речовин рослинам, а також вивчаються технічні можливості використання мікроконтролерної платформи Arduino[1] для побудови подібних систем. Основна увага приділяється аналізу технологій, що забезпечують стабільний ріст і розвиток рослин в умовах контрольованого середовища, зокрема в рамках домашніх теплиць, які передбачають компактність, енергоефективність і зручність в експлуатації.

Домашні теплиці стають дедалі популярнішими завдяки зростанню інтересу до самостійного вирощування екологічно чистих продуктів. У таких умовах забезпечення рослин водою і поживними речовинами є критично важливим фактором. Для ефективної підтримки вологісного режиму та харчування культур традиційно використовуються ручні або напівавтоматичні методи, однак вони поступаються сучасним автоматизованим системам у точності, економічності та гнучкості.

Існуючі комерційні рішення у сфері автоматизації теплиць часто передбачають використання промислових контролерів або готових модулів, що значно підвищує вартість проєкту. До того ж, такі системи орієнтовані переважно на великі теплиці, а отже не завжди є доцільними для використання в умовах обмеженого простору домашнього господарства. У той же час поява доступних і відкритих платформ, таких як Arduino, дозволяє створювати дешеві, але функціональні системи автоматизації, адаптовані під індивідуальні потреби користувача.

Arduino – це мікроконтролерна платформа з відкритим вихідним кодом, яка підтримує безліч додаткових модулів і сенсорів. Вона ідеально підходить для створення індивідуальних автоматизованих рішень, зокрема в аграрному секторі. Завдяки Arduino можна організувати збір інформації про параметри

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навколишнього середовища (температура, вологість повітря і ґрунту, рівень освітлення, електропровідність поживного розчину тощо), а також реалізувати логіку керування подачею води й поживних речовин відповідно до заданих умов.

Подача поживних речовин у теплицях зазвичай реалізується через крапельне зрошення [38] або гідропонні системи [39]. У кожному випадку важливою умовою є точне дозування добрив, які змішуються з водою і надходять до кореневої системи рослин. Для цього використовуються насоси, клапани та датчики, які дозволяють визначити поточний стан рідини, регулювати її кількість та концентрацію поживних речовин. Перевагою автоматизованих систем є можливість забезпечення постійного, збалансованого живлення без перевитрати ресурсів, що особливо актуально у контексті енергозбереження та екологічної безпеки.

Згідно з сучасними науковими підходами, доцільним є впровадження систем, які базуються на зворотному зв'язку. У контексті домашньої теплиці це означає використання сенсорів для зчитування стану середовища та подальше регулювання параметрів системи на основі зібраних даних. Таким чином, система самостійно визначає, коли і в якій кількості слід подавати воду з добривами. Це дозволяє не лише підвищити врожайність, але й уникнути перенасичення ґрунту або субстрату мінералами, що може зашкодити рослинам.

Окрему увагу слід приділити аналізу прикладів подібних проєктів з відкритим кодом, що реалізовані ентузіастами або стартапами. Багато з них публікуються на таких платформах, як GitHub [40], Instructables, Hackster.io. З цих прикладів можна почерпнути як структурні рішення, так і типові помилки або обмеження, які слід враховувати при створенні власної системи. Більшість успішних реалізацій передбачають використання контролерів Arduino або ESP, цифрових реле для керування насосами, ємностей для змішування поживного розчину, а також простих інтерфейсів для моніторингу, зокрема через дисплеї або мобільні додатки.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що створення підсистеми автоматичної подачі поживних речовин на базі Arduino є перспективним напрямом для розв'язання задач ефективного догляду за рослинами в умовах домашньої теплиці. Такий підхід дозволяє поєднати низьку вартість, функціональність і гнучкість, а також забезпечує можливість подальшого розширення й інтеграції в ширшу систему «розумної» теплиці.

1.1. Особливості функціонування домашніх теплиць

Домашні теплиці є різновидом закритих аграрних споруд, призначених для вирощування рослин у контрольованих умовах на обмеженій площі, як правило – в межах приватного житлового простору, присадибної ділянки або навіть на балконі чи лоджії. Основна особливість таких теплиць полягає в поєднанні компактності, простоти обслуговування та потреби в максимально ефективному використанні доступних ресурсів – води, світла, тепла й простору.

Однією з ключових характеристик домашніх теплиць є висока залежність внутрішнього мікроклімату від зовнішніх чинників. Через обмежені можливості теплоізоляції, вентиляції й освітлення, системи автоматизації у таких умовах повинні оперативно реагувати на зміни температури, вологості повітря, інтенсивності освітлення тощо. Ще однією особливістю є потреба в автономності: домашні теплиці часто функціонують без постійного нагляду з боку людини, що робить актуальним використання автоматичних або напівавтоматичних систем управління.

Крім того, у домашніх теплицях, на відміну від промислових, значно обмежений простір для розміщення технічного обладнання. Це вимагає застосування мініатюрних, енергоефективних та простих у монтажі рішень. Системи мають бути не лише функціональними, а й безпечними, оскільки розміщуються поблизу житлового простору. Важливо також, щоб вони були

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтуїтивно зрозумілими для кінцевого користувача, який, як правило, не є фахівцем у галузі електроніки чи програмування.

Ще однією характерною рисою є те, що у більшості випадків домашні теплиці обслуговуються самостійно, а тому система управління має враховувати обмеження людського ресурсу. В цьому контексті великого значення набувають автоматизовані підсистеми поливу, освітлення, вентиляції, а також контролю температури та вологості. Особливу роль відіграє система подачі поживних речовин, оскільки вона безпосередньо впливає на темпи росту й здоров'я рослин.

Слід також зазначити, що домашні теплиці часто використовуються не тільки для вирощування традиційних овочевих культур, але й для декоративних рослин, розсади, зелені або навіть гідропоніки. Це накладає додаткові вимоги до гнучкості й адаптивності системи – вона має бути придатною до перепрофілювання без значних технічних змін.

1.2. Системи автоматизованого поливу та подачі поживних речовин

Системи автоматизованого поливу та подачі поживних речовин є ключовим компонентом сучасних тепличних господарств, у тому числі й домашніх. Їхнє призначення полягає в забезпеченні стабільного, своєчасного й точного надходження води та поживних елементів до кореневої системи рослин відповідно до їхніх фізіологічних потреб. Ефективність таких систем безпосередньо впливає на темпи росту, загальний стан культур і кінцеву врожайність.

На практиці реалізація автоматизованого поливу може здійснюватися за кількома схемами. Найпоширенішою є крапельне зрошення, при якому вода або живильний розчин подається до кожної рослини малими порціями безпосередньо в прикореневу зону. Такий підхід забезпечує високу економію води та дозволяє уникати перезволоження ґрунту. Також існують системи мікроспринклінгу [2], гідропоніки, аеропоніки, кожна з яких має свої технічні особливості, але всі вони можуть бути інтегровані з блоками автоматичного управління.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливу роль в таких системах відіграє блок подачі поживних речовин. На відміну від простого зрошення, тут йдеться про точне дозування мінеральних або органічних добрив, які попередньо розчиняються у воді або подаються через інжекторні вузли. В домашніх умовах ця задача ускладнюється обмеженим простором і потребою в простоті обслуговування, тому системи повинні бути максимально надійними, компактними й простими у використанні.

Автоматизовані системи подачі живлення зазвичай складаються з резервуарів для води та добрив, насосів або дозаторів, електромагнітних клапанів, трубопроводів, а також контролера, який керує всіма процесами згідно з заданими алгоритмами. Для прийняття рішень система може орієнтуватися як на фіксовані таймери, так і на дані сенсорів – наприклад, датчиків вологості ґрунту, електропровідності розчину або температури навколишнього середовища. Саме поєднання кількох параметрів дозволяє налаштувати інтелектуальну подачу поживних речовин залежно від потреб кожного типу рослин.

На сучасному етапі розвитку технологій зростає зацікавлення в IoT-рішеннях [3] для агросектору. Такі системи дозволяють не лише виконувати полив і живлення автоматично, а й моніторити стан теплиці дистанційно, з використанням мобільного застосунку або вебінтерфейсу. У межах домашніх проєктів це реалізується шляхом використання мікроконтролерів Arduino, ESP8266 [4] або ESP32 [5], які підтримують бездротове підключення через Wi-Fi або Bluetooth. Такі контролери легко інтегруються з модулями сенсорів, реле, насосів і дають змогу реалізувати доволі складну логіку керування без потреби у дорогому спеціалізованому обладнанні.

Проте, навіть попри велику кількість наявних рішень, більшість із них або надто загальні, або потребують доопрацювання під конкретні умови. Універсальних систем, які б одночасно були доступними, енергоефективними, простими у налаштуванні й придатними для використання в умовах домашньої теплиці, на ринку не так багато. Це відкриває широке поле для розробки власних рішень, які можна адаптувати під індивідуальні потреби користувача.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Аналіз сучасних платформ автоматизації (Arduino, Raspberry Pi тощо)

У розробці систем автоматизації для домашніх теплиць, зокрема для подачі поживних речовин і поливу, особливу роль відіграють платформи, які надають можливість інтеграції різних сенсорів, виконавчих механізмів та забезпечують контроль за їх роботою. Сучасні мікроконтролерні платформи, зокрема Arduino, Raspberry Pi та інші подібні системи, стають основними інструментами для створення таких рішень завдяки своїй доступності, гнучкості та простоті використання. Кожна з цих платформ має свої специфічні особливості, що визначають її застосування в різних типах проєктів.

Arduino – це одна з найбільш популярних і широко використовуваних платформ у галузі автоматизації, зокрема для створення рішень в агросекторі, приклад такої плати можна побачити на рисунку 1.1. Платформа Arduino являє собою відкриту апаратну та програмну середу для створення електронних проєктів. Однією з основних переваг Arduino є її простота у використанні, доступність численних бібліотек для різноманітних сенсорів і виконавчих механізмів, а також величезна спільнота розробників. Мікроконтролери, що використовуються в платформах Arduino, мають низьке енергоспоживання, що є важливим при створенні автономних систем, таких як домашні теплиці.

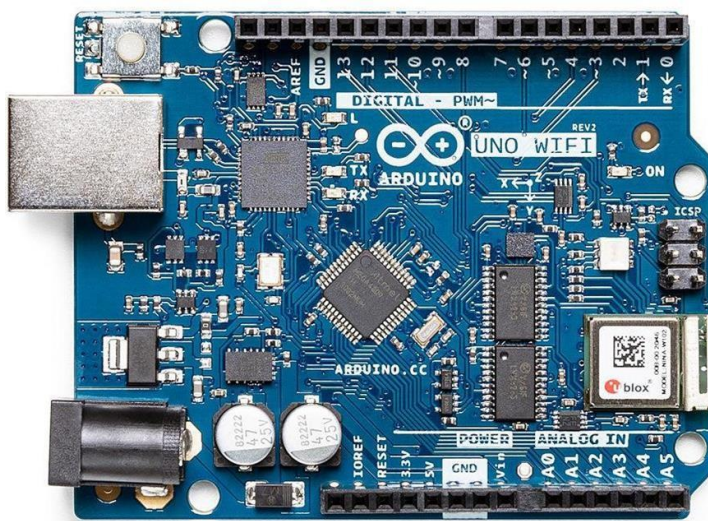


Рисунок. 1.1 – Приклад плати Arduino [41]

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Arduino підтримує широкий спектр датчиків, таких як датчики вологості ґрунту, температури, освітлення, рівня води, а також виконавчих пристроїв, таких як насоси, електромагнітні клапани і серводвигуни. Ці можливості дозволяють створювати ефективні системи автоматизації для контролю поливу та подачі поживних речовин. Завдяки інтеграції з платформами для віддаленого моніторингу, такими як Wi-Fi або Bluetooth, Arduino може також підтримувати віддалене управління та налаштування системи через мобільний додаток або веб-інтерфейс.

Іншою популярною платформою для автоматизації є Raspberry Pi [6]. Вона є мініатюрним комп'ютером, який можна використовувати для більш складних задач, де необхідна більша обчислювальна потужність і можливості роботи з великими даними або мультимедіа. Raspberry Pi має операційну систему, яка дозволяє запускати повноцінні додатки, підтримує роботу з камерою, веб-серверами та іншими складними системами, її приклад також можна побачити на рисунку 1.2. Для задач автоматизації теплиць Raspberry Pi може бути використана в якості центрального контролера, який обробляє дані з сенсорів і керує іншими мікроконтролерами або пристроями.

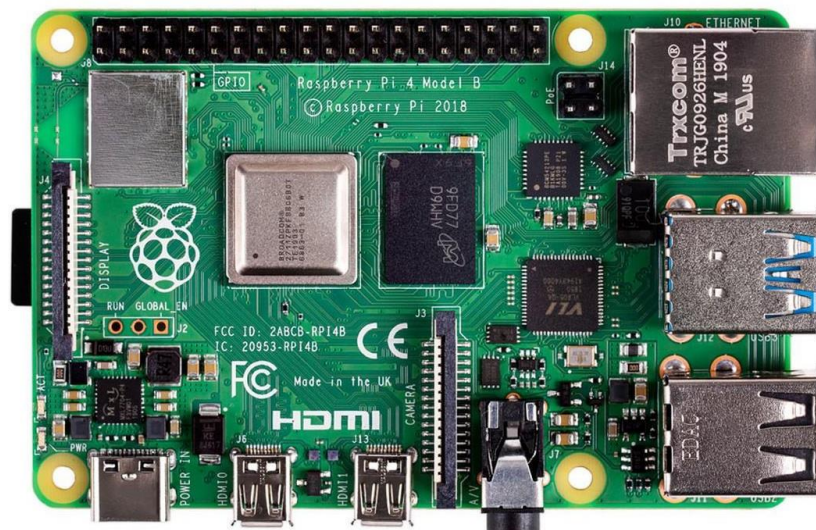


Рисунок. 1.2 – Приклад плати Raspberry Pi [42]

Порівняно з Arduino, Raspberry Pi є більш потужним у плані обробки даних, але і має більші вимоги до енергоспоживання, що може бути недоліком у системах, які потребують автономної роботи. Raspberry Pi зручний для більш складних проєктів, таких як інтеграція з великими даними, побудова складних інтерфейсів користувача або організація обміну даними з іншими пристроями через Інтернет.

Ще однією платформою для автоматизації є ESP32. Цей мікроконтролер відзначається низьким енергоспоживанням, вбудованим Wi-Fi і Bluetooth, що робить його ідеальним для розробки рішень для розумних будинків і теплиць. ESP32 можна використовувати для побудови дешевших і компактніших систем порівняно з Raspberry Pi, при цьому він здатний виконувати завдання, які потребують обміну даними через бездротові мережі, що є важливим для віддаленого моніторингу та керування.

Серед новітніх платформ для автоматизації виділяється також BeagleBone [7] – це один мікроконтролер, який зручний для більш складних систем, де потрібна висока обчислювальна потужність та підтримка реального часу, зображення є на рисунку 1.3. BeagleBone підтримує повноцінну роботу з Linux, що робить її цікавою для розробників, які мають досвід роботи з цими системами. Однак через високе енергоспоживання та складність програмування цей контролер менш популярний для невеликих проєктів, таких як домашні теплиці.

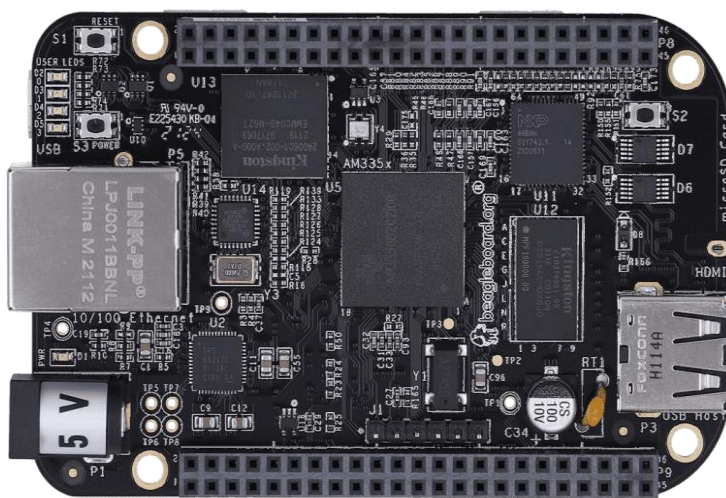


Рисунок. 1.3 – Приклад плати BeagleBone [43]

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Платформи для автоматизації мають різні характеристики, і вибір між ними залежить від складності проєкту, вимог до обчислювальної потужності, енергоспоживання та вартості. Для створення систем автоматизації поливу та подачі поживних речовин в домашніх теплицях найоптимальнішими є Arduino та ESP32, оскільки вони забезпечують необхідну функціональність при низьких витратах на енергоспоживання та відносно простому програмуванні. Raspberry Pi, з іншого боку, є кращим вибором для складніших рішень, які включають інтеграцію з різноманітними технологіями, багатозадачність і можливість віддаленого управління через Інтернет.

1.4. Вимоги до системи подачі поживних речовин

Система подачі поживних речовин для домашніх теплиць повинна задовольняти кілька ключових вимог, щоб забезпечити ефективне і стабільне постачання рослинам необхідних елементів для росту та розвитку. Враховуючи специфіку домашніх теплиць, де простір обмежений, а ресурсів часто недостатньо, система повинна бути не тільки функціональною, але й максимально оптимізованою щодо використання води та добрив. Ось основні вимоги, які висуваються до такої системи:

1. Точність та стабільність дозування:

Одна з головних вимог до системи – це здатність точно дозувати поживні речовини. Як правило, рослини потребують різних кількостей макро і мікроелементів на різних етапах розвитку. Невірно підібрані пропорції можуть спричинити дефіцит або надлишок поживних речовин, що впливає на здоров'я рослин. Для цього система повинна мати можливість точного контролю за концентрацією розчину добрив і регулярного коригування цього процесу відповідно до потреб рослин.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Автономність та низьке енергоспоживання:

Оскільки домашні теплиці часто використовуються без постійного нагляду з боку людини, система повинна бути максимально автономною. Вона повинна здатна працювати в автоматичному режимі, з урахуванням змін температури, вологості і світла. Крім того, важливим є низьке енергоспоживання, оскільки багато користувачів мають обмежений доступ до джерел енергії або прагнуть знизити витрати на електроенергію. Ефективні мікроконтролери, як Arduino або ESP32, є ідеальними для таких завдань через низьке споживання енергії.

3. Простота налаштування та обслуговування:

Користувачі домашніх теплиць, як правило, не є фахівцями в галузі електроніки або агрономії. Тому система повинна бути інтуїтивно зрозумілою, з простими інтерфейсами для налаштування і обслуговування. Це включає в себе можливість легко налаштувати параметри поливу і подачі поживних речовин без необхідності глибоких технічних знань. Також система повинна бути доступною для обслуговування, з мінімумом деталей, які потребують частого ремонту або заміни.

4. Інтеграція з іншими системами автоматизації:

В умовах сучасних теплиць система подачі поживних речовин повинна мати можливість інтеграції з іншими елементами автоматизації, такими як система поливу, контролери температури, вологості, освітлення та вентиляції. Це дозволяє створювати комплексні рішення для автоматичного керування усіма параметрами, які впливають на ріст і розвиток рослин. Такі системи дозволяють більш ефективно використовувати ресурси та адаптуватися до змін навколишнього середовища.

5. Надійність і безпека:

Система повинна бути надійною, оскільки будь-який збій у подачі поживних речовин може призвести до негативних наслідків для рослин. Важливо, щоб система була захищена від можливих неполадок, таких як переповнення резервуара, поломка насосів чи електричних клапанів. Безпека також є важливим

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аспектом: система повинна бути стійкою до коротких замикань, перевантажень та інших несправностей, які можуть виникнути в процесі експлуатації.

6. Модульність і масштабованість:

Ще однією важливою вимогою є можливість масштабування системи в залежності від розміру теплиці. Домашні теплиці можуть мати різні розміри і потреби, тому система повинна бути модульною та легко адаптованою до змінних умов. Наприклад, можна додавати додаткові насосні станції або резервуари, змінювати кількість датчиків або змінювати налаштування на основі нових потреб.

7. Вартість і доступність:

Оскільки більшість користувачів домашніх теплиць обмежені в бюджеті, система подачі поживних речовин повинна бути доступною з точки зору вартості як обладнання, так і обслуговування. Враховуючи значну доступність компонентів для платформ Arduino, ESP32 та інших мікроконтролерів, можна створити досить ефективні, але недорогі рішення, які підходять для більшості користувачів.

8. Можливість моніторингу та віддаленого керування:

Важливим аспектом є можливість моніторингу стану системи в режимі реального часу та віддаленого керування через інтерфейс користувача. Це дозволяє своєчасно виявляти можливі проблеми, такі як низький рівень води або неправильне дозування добрив, та вжити заходів для їх виправлення, не знаходячись безпосередньо в теплиці. Використання інтерфейсів для смартфонів чи комп'ютерів також додає зручності для користувачів.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2 ПРОЕКТУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ ПОДАЧІ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН

Проектування підсистеми подачі поживних речовин для домашньої теплиці є важливим етапом у створенні автоматизованої системи, що забезпечує рослини необхідними елементами для їхнього росту та розвитку. Метою є створення ефективної, надійної та доступної системи, яка буде відповідати вимогам точності дозування поживних речовин, оптимізації витрат води та добрив, а також зручності в обслуговуванні та експлуатації.

Для реалізації цієї мети необхідно спочатку визначити основні функції підсистеми. Однією з головних завдань є забезпечення рослин необхідними поживними речовинами в потрібних дозах на протязі всього періоду їх росту. Для цього система повинна автоматично дозувати поживні речовини, враховуючи дані про потреби рослин, які змінюються залежно від фаз їхнього розвитку. Окрім цього, система має постійно контролювати рівень води та добрив у резервуарах для забезпечення безперервної подачі. Важливими елементами також є моніторинг рівня рН [8] і електропровідності розчину [9], що дає можливість своєчасно коригувати концентрацію поживних речовин, а також інтеграція з іншими системами теплиці, такими як полив, температурний контроль і вентиляція. Для зручності користувачів повинна бути реалізована можливість віддаленого моніторингу та керування системою через мобільні додатки або веб-інтерфейс.

Далі необхідно вибрати апаратні компоненти системи. В якості основного контролера було обрано платформу Arduino або аналогічні мікроконтролери, такі як ESP32, що дозволяють забезпечити високу доступність бібліотек для підключення різних сенсорів і виконавчих механізмів, а також мають низьке енергоспоживання. Для моніторингу стану ґрунту використовуються датчики вологості, що дозволяють регулювати подачу води та поживних речовин, забезпечуючи рівномірний полив. Для контролю кислотності та концентрації поживних речовин у розчині використовуються датчики рН і електропровідності (ЕС), які забезпечують точні вимірювання, що дозволяють коригувати пропорції

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

добрив. Система передбачає використання насосів для перекачування рідких поживних речовин і води, а також електричних клапанів для їх подачі в різні частини теплиці. Резервуари для води та добрив мають бути достатньо великими, щоб забезпечити безперервну роботу системи. Для бездротового з'єднання та віддаленого керування передбачено використання модулів Wi-Fi або Bluetooth, що дозволяють взаємодіяти з мобільними пристроями або комп'ютерами.

Після вибору компонентів необхідно розробити схему підключення. Мікроконтролер є основним елементом системи, що керує всіма сенсорами та виконавчими механізмами. Датчики вологості, рН і ЕС підключаються до відповідних портів мікроконтролера, забезпечуючи постійний збір інформації про стан ґрунту і розчину. Насоси і клапани підключаються через реле, що дозволяє автоматично включати або вимикати подачу води і добрив. Особливо важливо передбачити систему захисту від переповнення резервуарів, щоб уникнути втрат поживних речовин і води. Модуль зв'язку забезпечить бездротове з'єднання з мобільними пристроями або комп'ютером для моніторингу та управління системою.

Не менш важливим є розробка програмного забезпечення для системи, яке повинно забезпечити регулярне зчитування даних з усіх датчиків, таких як вологість ґрунту, рН та ЕС, і на основі цих даних здійснювати автоматичне керування насосами та клапанами для подачі води і поживних речовин. Програмне забезпечення повинно забезпечувати інтеграцію з іншими підсистемами теплиці, такими як система поливу та вентиляції, для підтримки оптимальних умов для рослин. Окрім того, користувач повинен мати змогу налаштовувати параметри роботи системи через простий інтерфейс, що може бути доступним через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Програмне забезпечення також повинно підтримувати можливість моніторингу стану системи в режимі реального часу та надавати користувачу інформацію про рівні вологості, рН і концентрації поживних речовин.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення розробки підсистеми необхідно провести тестування та оцінку її ефективності. Це дозволить перевірити точність дозування поживних речовин, надійність роботи насосів і клапанів, а також забезпечити правильність роботи сенсорів. Оцінка ефективності допоможе виявити можливі недоліки та вдосконалити систему для досягнення максимального результату. Тестування має включати перевірку всіх функцій, таких як автоматичне дозування, моніторинг і коригування параметрів, а також інтеграцію з іншими підсистемами.

Таким чином, проектування підсистеми подачі поживних речовин передбачає комплексний підхід, що включає вибір компонентів, розробку схем підключення, створення програмного забезпечення та проведення тестування системи для забезпечення її ефективної роботи в умовах домашньої теплиці.

2.1. Архітектура підсистеми

Архітектура підсистеми подачі поживних речовин для домашньої теплиці є основою для її ефективної роботи. Вона визначає взаємодію між усіма компонентами системи, що включають апаратне забезпечення, програмне забезпечення та користувацький інтерфейс. Архітектура повинна забезпечувати оптимальну автоматизацію процесів, високу точність дозування поживних речовин, а також зручність у використанні та обслуговуванні.

Основною складовою архітектури є мікроконтролер, який виступає центральним елементом управління всіма процесами підсистеми. Мікроконтролер відповідає за збирання даних з датчиків, аналіз цієї інформації та управління виконавчими механізмами, такими як насоси та клапани. У якості основного контролера було обрано платформу Arduino або аналогічні мікроконтролери, такі як ESP32, що дозволяють інтегрувати велику кількість датчиків і пристроїв з високою ефективністю.

Система має декілька основних модулів. Першим є модуль моніторингу, який включає в себе датчики вологості ґрунту, рН та електропровідності. Ці датчики

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

постійно зчитують параметри розчину і ґрунту, на основі яких система визначає потреби в поливі та дозуванні поживних речовин [10]. Датчики рН та ЕС важливі для підтримки оптимальної концентрації добрив у розчині, що критично для здоров'я рослин. Датчики вологості ґрунту, в свою чергу, забезпечують контроль над рівнем вологості, що дозволяє уникнути як пересушування ґрунту, так і надмірного зволоження.

Другим важливим компонентом є виконавчий модуль, який включає в себе насоси для подачі води та поживних речовин, а також електричні клапани для точного регулювання потоку. Насоси забезпечують перекачування рідких добрив з резервуару до рослин, а клапани керують потоком води та поживних речовин у потрібні частини теплиці. Важливим елементом є реле, яке контролює включення та вимкнення насосів і клапанів на основі команд, отриманих від мікроконтролера.

Інтеграція з іншими підсистемами теплиці є важливою частиною архітектури. Мікроконтролер може взаємодіяти з системою поливу, температурним і вологостійким контролем, вентиляцією, щоб забезпечити загальний баланс і оптимальні умови для рослин. Кожна з цих підсистем має свої датчики та виконавчі механізми, що дозволяють забезпечити не тільки ефективну подачу поживних речовин, а й загальний клімат у теплиці.

Для віддаленого керування та моніторингу підсистема оснащена бездротовим модулем зв'язку (Wi-Fi або Bluetooth), який дозволяє користувачу спостерігати за станом системи через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Це забезпечує можливість налаштовувати параметри дозування добрив, отримувати сповіщення про помилки чи необхідність поповнення ресурсів, а також контролювати процес поливу та подачі поживних речовин на відстані.

Програмне забезпечення для цієї підсистеми складається з кількох основних елементів. Першим є програмний код для зчитування даних з датчиків та їх обробки. На основі отриманих даних система визначає, коли і скільки рідких добрив або води слід подати до рослин. Крім того, програмне забезпечення

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідає за моніторинг системи, виявлення помилок і збоїв, а також повідомлення користувача про необхідність технічного обслуговування.

Архітектура підсистеми передбачає високу гнучкість і можливість адаптації до різних умов використання. Вона може бути адаптована під різні розміри теплиць та типи рослин, що дозволяє максимально оптимізувати процеси подачі поживних речовин для конкретних потреб. Усі модулі можуть бути налаштовані та доповнені відповідно до вимог користувача, забезпечуючи тим самим широку сферу застосування та високий рівень автоматизації.

2.2. Вибір електронних компонентів та обладнання

Вибір електронних компонентів та обладнання для підсистеми подачі поживних речовин є важливим кроком у створенні ефективної та надійної автоматизованої системи для домашньої теплиці. У цьому підрозділі будуть розглянуті конкретні моделі компонентів, які відповідають вимогам системи щодо точності вимірювань, енергоспоживання та сумісності.

1. Мікроконтролер (Arduino)

Для центрального управління всіма процесами підсистеми було обрано Arduino UNO R3. Ця модель є однією з найпопулярніших і доступних у спільноті розробників, що має достатньо портів вводу/виводу для підключення сенсорів і виконавчих механізмів. Arduino UNO R3 [11] використовує мікросхему ATmega328P [12], що дозволяє програмувати та налаштовувати систему через відкриту платформу, що має велику підтримку та безліч бібліотек для зручності розробки. У разі потреби можна розглянути використання Arduino Mega 2560 [13], яка зображена на рисунку і має більшу кількість пінів вводу/виводу, що може бути корисно, якщо система потребує більше датчиків чи пристроїв.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

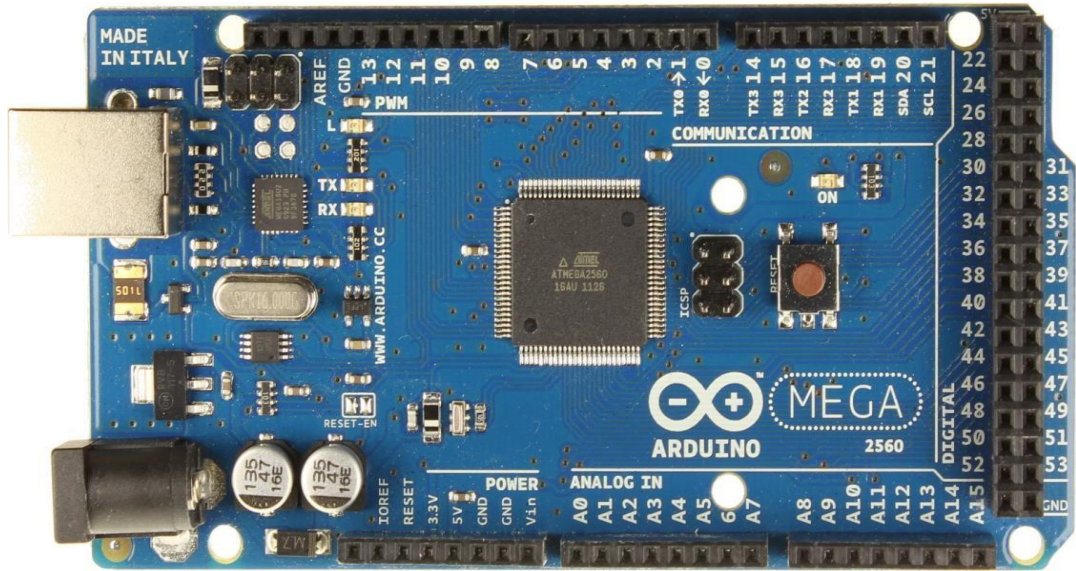


Рисунок. 2.1 – Arduino Mega 2560 [13]

2. Датчики вологості ґрунту

Для вимірювання вологості ґрунту використовуються FC-28 [14] – це один з найбільш поширених датчиків вологості для Arduino (рис. 2.2). Він працює на основі зміни опору між електродами, що дозволяє визначити рівень вологості ґрунту в реальному часі. Датчик має хорошу точність вимірювань і довговічність завдяки використанню корозійностійких матеріалів. Іншою альтернативою є YL-69 [15], який також використовує аналоговий вихід для вимірювання вологості ґрунту і підключається до мікроконтролера через аналоговий пін.

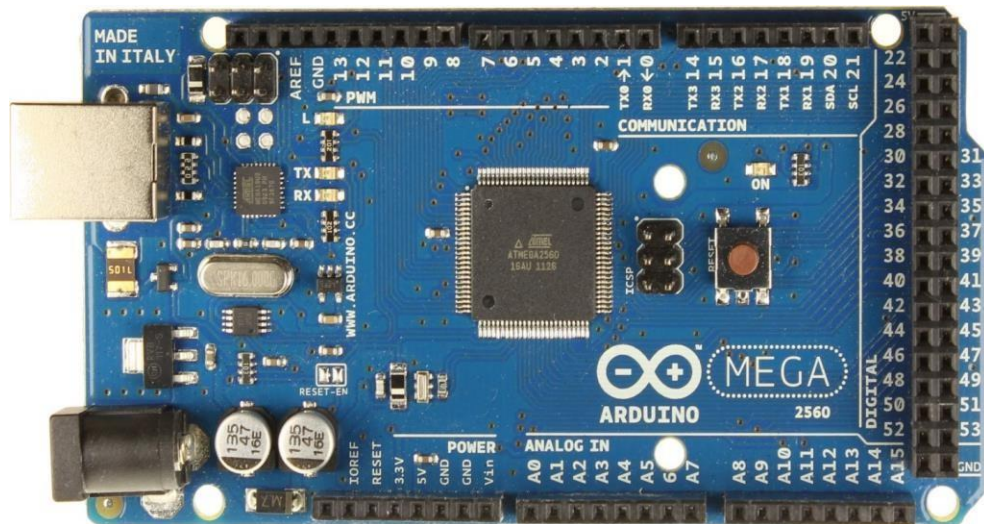


Рисунок. 2.2 – FC-28 [14]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

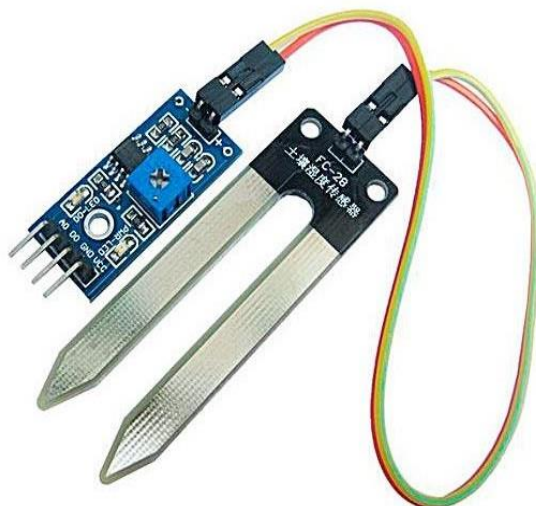


Рисунок. 2.3 – YL-69 [15]

3. Датчики рН та електропровідності (ЕС)

Для контролю рівня рН розчину використовується DFRobot Gravity: Analog pH Sensor [16] (рис. 2.4). Цей датчик має аналоговий вихід і дає точні покази рівня кислотності води, що є критичним для правильного функціонування підсистеми подачі поживних речовин. Датчик включає спеціальний електрод, який взаємодіє з розчином і передає дані на мікроконтролер.



Рисунок. 2.4 – DFRobot Gravity: Analog pH Sensor [16]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для вимірювання електропровідності (ЕС), яка дає змогу визначити концентрацію розчинених поживних речовин, використовуватиметься DFRobot Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor, який зображено на рисунку 2.5. Цей датчик дозволяє точно вимірювати ЕС в водних розчинах, що критично важливо для коригування концентрації добрив у системі. Датчик ЕС має аналоговий вихід, що спрощує його інтеграцію з платформою Arduino.



Рисунок. 2.5 – DFRobot Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor

4. Насоси для подачі води та поживних речовин

Для перекачування води та рідких поживних речовин вибрано Peristaltic Pump (12V) [17] його зображення можна переглянути на рисунку 2.6. Ці насоси підходять для точного дозування рідини, що забезпечує високий рівень контролю над кількістю поданої рідини. Вони працюють на принципі перистальтики, що дозволяє безпечно перекачувати рідини, не забруднюючи їх.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Рисунок. 2.6 – Peristaltic Pump (12V) [17]

5. Електричні клапани

Для управління потоком води та поживних речовин в систему вибрані 12V електричні клапани типу Solenoid Valve (DC 12V). Ці клапани дозволяють точно регулювати потік рідин через труби та системи поливу. Вони мають компактну конструкцію і добре працюють у системах, де необхідно часто змінювати потік рідини. Вибір конкретної моделі залежить від необхідної пропускної здатності та тиску в системі, для чого можна використовувати моделі з різними діаметрами входу та виходу.

6. Модулі зв'язку (Wi-Fi / Bluetooth)

Для віддаленого моніторингу та керування підсистемою використовується ESP8266 (рис. 2.7). ESP8266 – це популярний Wi-Fi модуль, який забезпечує з'єднання з мережею Інтернет для передачі даних або віддаленого керування. Для

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

більш потужної системи, яка потребує більше входів/виходів або підтримки Bluetooth, можна вибрати ESP32, який має вбудовані функції Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє інтегрувати як локальне, так і віддалене керування.

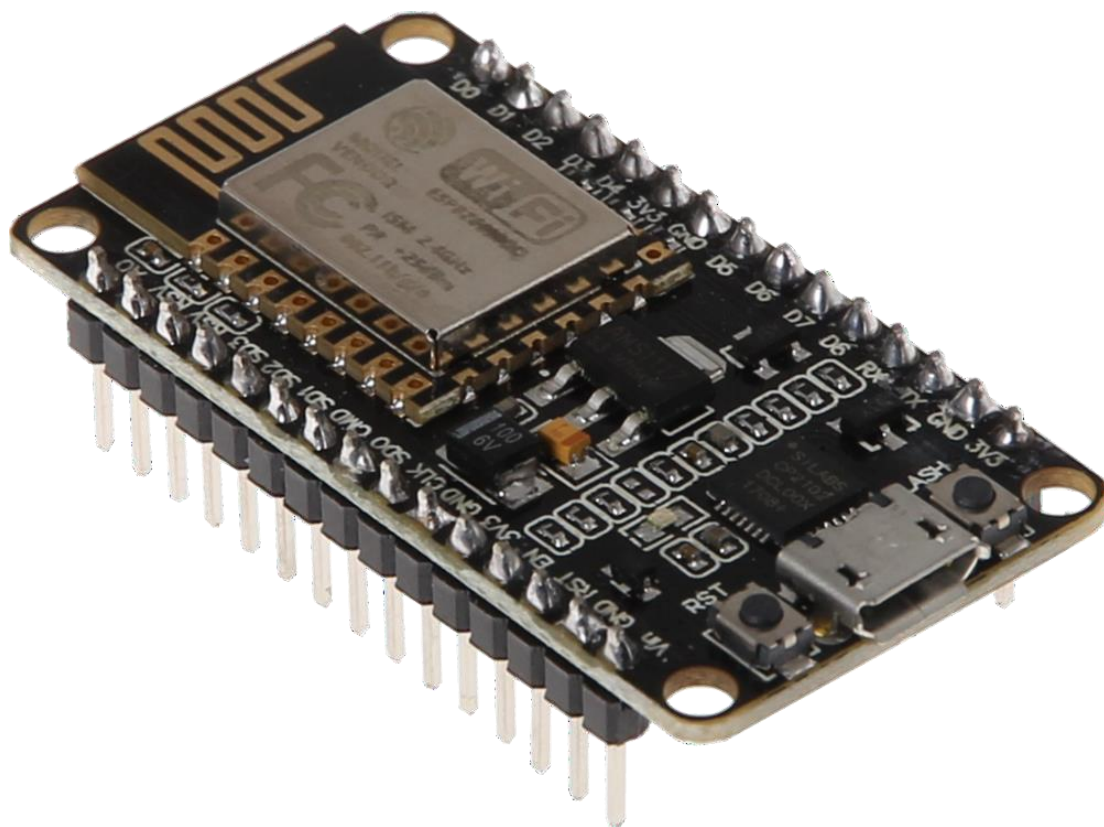


Рисунок. 2.7 – ESP8266 [4]

7. Джерела живлення

Для забезпечення стабільної та безперебійної роботи всієї підсистеми подачі поживних речовин необхідно використовувати комбіновану систему живлення, що включає як мережеве джерело, так і резервне живлення від акумуляторів. Основним джерелом живлення виступає імпульсний адаптер MW Power MWL 18-12 (рис. 2.8), який забезпечує вихідну напругу 12V при струмі до 1.5 A, що є достатнім для одночасного живлення Arduino Uno, декількох датчиків (наприклад, DHT22, датчик електропровідності EC) та керування реле й електромагнітними клапанами. Живлення мікроконтролера Arduino подається через модуль пониження напруги LM2596 (рис. 2.9), який стабілізує 12V до необхідних 5V для логіки плати та чутливих компонентів.

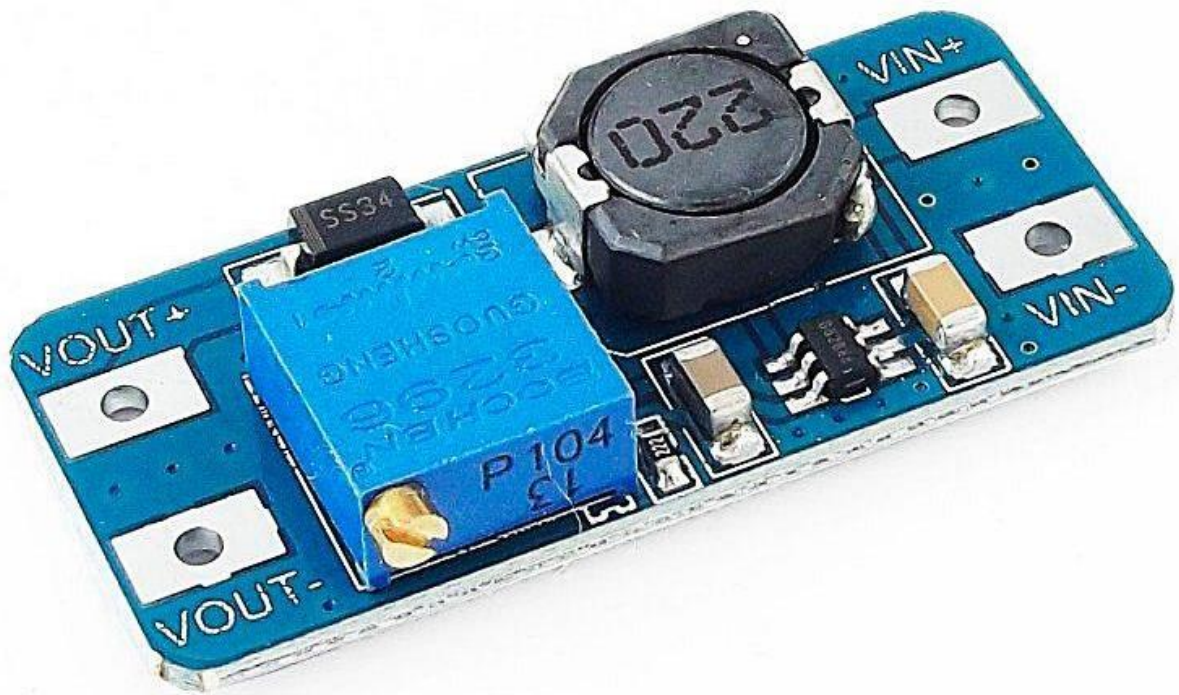


Рисунок. 2.11 – Модуль MT3608 [20]

Таке рішення дає змогу системі продовжити функціонування навіть під час тимчасових відключень електроенергії, що критично важливо для забезпечення регулярного поливу та внесення поживних речовин. Контролер може працювати з мінімальним споживанням, реагуючи на покази датчиків та активуючи насос лише за потреби, що дозволяє максимально ефективно використовувати заряд акумуляторів.

Таким чином, поєднання живлення від мережі та акумуляторів робить систему більш стійкою до зовнішніх факторів і гарантує надійність у довготривалій експлуатації.

8. Реле для управління насосами та клапанами

Для контролю подачі води та поживних речовин за допомогою насосів і клапанів буде використовуватись 5V або 12V реле. Реле, наприклад, SRD-05VDC-SL-C [21] (рис. 2.12), дозволяє мікроконтролеру управляти високонавантаженими пристроями, такими як насоси, безпосередньо, забезпечуючи їхнє включення та

2.3. Схема з'єднання елементів системи

Схема з'єднання елементів системи подачі поживних речовин відображає фізичне та логічне з'єднання всіх компонентів, які забезпечують її ефективну роботу (рис. 2.13). Ключовими елементами цієї схеми є мікроконтролер, датчики, насоси, клапани та модулі зв'язку, що повинні бути з'єднані таким чином, щоб забезпечити безперебійну роботу системи та точне управління кожним її компонентом.

Основним елементом системи є мікроконтролер Arduino UNO, який виконує роль центрального керуючого елементу. Arduino з'єднується з усіма датчиками та виконавчими механізмами через пінів вводу/виводу. Зокрема, для підключення датчиків вологості ґрунту використовується аналоговий піл, що дозволяє отримувати дані про вологість ґрунту в реальному часі. Аналогічно підключаються датчики рН та датчики електропровідності для вимірювання кислотності та концентрації розчинених поживних речовин у розчині.

Для управління насосами і клапанами використовуються реле, що підключаються до цифрових пінів Arduino. Реле контролюють включення та вимикання перистальтичних насосів та електричних клапанів, що дозволяють точно дозувати воду і поживні речовини в систему поливу. Насоси підключаються до джерела живлення, яке забезпечує їхню роботу, а клапани керуються через реле, що дає змогу здійснювати точне регулювання потоку рідини.

Для віддаленого моніторингу та керування системою через модуль Wi-Fi ESP8266 або ESP32 Arduino з'єднується з мережею Інтернет, що дозволяє користувачеві відстежувати стан системи, а також налаштовувати параметри через веб-інтерфейс або мобільний додаток.

Всі компоненти підключаються через відповідні проводи, роз'єми та перехідники, що забезпечують правильне з'єднання між електронними компонентами.

						КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
							31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

коригувати кількість подачі добрив або навіть відключити подачу розчину до стабілізації параметрів.

Система також використовує модуль Wi-Fi (ESP8266 або ESP32) для віддаленого моніторингу. Користувач може підключитися до системи через мобільний додаток або веб-інтерфейс для перегляду актуальних показників вологості, рН та ЕС, а також отримувати сповіщення у разі, якщо параметри виходять за межі встановлених норм. Мікроконтролер передає зібрані дані на сервер, де вони зберігаються для подальшого аналізу або використання в режимі реального часу.

При нормалізації всіх показників і завершенні процесу поливу, мікроконтролер відключає насос і клапани, зменшуючи споживання енергії і запобігаючи надлишковій подачі води або поживних речовин. Якщо система працює в автономному режимі, то після завершення циклу автоматичного поливу вона переходить в режим очікування до наступного вимірювання.

Крім того, система має аварійний режим, коли в разі збою або виявлення помилок у роботі датчиків або насосів система припиняє роботу, а користувач отримує повідомлення про необхідність перевірки компонентів через віддалений доступ.

2.5. Програмне забезпечення для керування підсистемою

Програмне забезпечення для керування підсистемою подачі поживних речовин у домашній теплиці розроблено з використанням середовища Arduino IDE та орієнтоване на роботу в автономному режимі без прив'язки до зовнішнього сервера. Основна мета цього програмного забезпечення полягає в забезпеченні стабільного функціонування системи, збиранні даних із підключених сенсорів, прийнятті рішень на основі цих даних та активації відповідних виконавчих механізмів, таких як насоси, електромагнітні клапани та інші виконавчі пристрої. Програма написана мовою C/C++ [24] для мікроконтролерів Arduino та повністю

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адаптована для роботи на платі Arduino Uno з можливістю подальшої модифікації під інші плати, такі як Arduino Mega або ESP32.

Програмний код розпочинається з підключення відповідних бібліотек, що забезпечують взаємодію мікроконтролера з сенсорами та модулями. Наприклад, використовується бібліотека DHT.h для роботи з датчиком температури і вологості DHT22 [25], а також аналогові входи для зчитування сигналів із сенсорів вологості ґрунту та електропровідності. На початку програми виконується ініціалізація пінів вводу/виводу, вказується конфігурація для цифрових виходів, через які здійснюється керування реле, підключеними до насосів і клапанів. Встановлюються також початкові параметри – наприклад, порогові значення для вологості ґрунту, при досягненні яких система має увімкнути полив.

Основна логіка програми реалізована в циклі loop(), який виконується безперервно. У цьому циклі Arduino постійно опитує сенсори та проводить аналіз зібраної інформації. Якщо рівень вологості ґрунту знижується нижче встановленого порога, система активує насос, відкриває відповідний клапан і запускає подачу поживного розчину. Після досягнення необхідного рівня вологості система автоматично відключає подачу, тим самим знижуючи споживання електроенергії та запобігаючи перезволоженню ґрунту. Аналогічно відбувається обробка показників рН та електропровідності, що дозволяє точніше контролювати хімічний склад поживного розчину, якщо відповідні сенсори підключені.

Особливістю програмного забезпечення є наявність логіки обробки помилок і виключних ситуацій. Наприклад, якщо сенсор не відповідає або видає аномальні значення, система не продовжує роботу з цими даними, а переходить у режим очікування або сповіщає користувача за допомогою світлодіодної індикації, яка передбачена в конструкції. Такий підхід дозволяє уникнути небажаних наслідків, пов'язаних із некоректною роботою окремих елементів системи.

Задля гнучкості керування передбачено також можливість локального налаштування параметрів системи через серійний порт USB. Користувач може під'єднати Arduino до комп'ютера або ноутбука, запустити монітор порту та

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вводити необхідні команди для зміни порогів вологості, затримки між циклами поливу, тривалості подачі розчину тощо. Такий підхід дозволяє швидко адаптувати систему до змін середовища, типу ґрунту чи виду рослин, що вирощуються у теплиці, без потреби змінювати вихідний код.

Окрему увагу в програмному забезпеченні приділено забезпеченню стабільної роботи протягом тривалого часу. Для цього реалізовано функції автоматичного перезапуску системи при зависанні, збереження останніх коректних параметрів у пам'яті EEPROM [26], а також алгоритми циклічного опитування та оновлення даних з періодом, що зменшує навантаження на мікроконтролер. Усі обчислення проводяться з урахуванням допустимих меж похибки сенсорів, що дозволяє мінімізувати вплив шумів або коливань показників на прийняття рішень.

Програмне забезпечення легко модифікується й розширюється. За потреби можна додати підтримку нових сенсорів, таймерів, режимів роботи – наприклад, нічний режим або сезонну корекцію поливу. Також можливе доповнення системи відображенням даних на OLED-дисплеї або індикацією на RGB-світлодіодах.

Загалом, програмне забезпечення для підсистеми подачі поживних речовин є ефективним рішенням, яке забезпечує повністю автономну роботу системи, гнучке налаштування, адаптацію до умов середовища та безпеку експлуатації, не вимагаючи зовнішніх серверів чи постійного підключення до мережі.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

Після завершення етапу проектування підсистеми подачі поживних речовин була здійснена її практична реалізація. Основним завданням стало зібрання всіх апаратних компонентів відповідно до розробленої схеми, прошивка мікроконтролера Arduino за допомогою створеного програмного забезпечення, а також перевірка роботи кожного елемента в складі єдиної системи. Всі компоненти були встановлені на монтажній платформі або в корпусі, адаптованому для умов експлуатації в теплиці, з урахуванням вологості та можливого перегріву. Елементи з'єднувалися з дотриманням полярності, електричних стандартів та вимог до живлення.

Сенсори вологості ґрунту, рН і електропровідності були занурені у відповідні ємності та ділянки ґрунту, після чого було проведено тестування точності їх показників. Зібрані дані виводилися на монітор серійного порту та одночасно передавалися у веб-інтерфейс, де відображалися в режимі реального часу. Робота насосів і клапанів тестувалася у симульованих умовах: штучно створювався низький рівень вологості, що викликало автоматичне вмикання насосів, подачу рідини через клапани, після чого в системі з'являвся сигнал про завершення циклу поливу.

Окрему увагу було приділено перевірці стабільності зв'язку між Arduino та віддаленим сервером за допомогою модуля Wi-Fi. Тестування включало перевірку роботи в різних умовах покриття, зокрема при зниженому рівні сигналу. Дані надсилалися з певною періодичністю, а користувач мав можливість не лише переглядати, а й змінювати конфігурацію системи, наприклад, встановлювати нові порогові значення вологості або кислотності, через веб-інтерфейс.

У ході експлуатаційних випробувань було виявлено декілька моментів, які потребували доопрацювання. Наприклад, виявилася необхідність додаткового захисту мікроконтролера від конденсату та вологості, а також стабілізації напруги живлення для точнішої роботи сенсорів. Після внесення цих коригувань система

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

почала працювати стабільно, демонструючи задану функціональність упродовж тривалого часу.

3.1. Розробка програмного коду на Arduino IDE

Програмне забезпечення для підсистеми подачі поживних речовин було створене за допомогою середовища розробки Arduino IDE. Головною метою коду є автоматизоване зчитування показників з датчиків, прийняття рішень на основі цих даних і керування подачею води та поживних речовин. У даному прикладі реалізовано базовий алгоритм, який включає зчитування рівня вологості ґрунту, контроль рН та електропровідності, а також керування насосом і клапаном. Також реалізовано вивід даних у серійний монітор для подальшої діагностики.

```
// Підключення бібліотек (за потреби)
#include <ESP8266WiFi.h>

// Визначення пінів
const int moistureSensorPin = A0; // Датчик вологості ґрунту
const int phSensorPin = A1; // Датчик рН
const int ecSensorPin = A2; // Датчик ЕС
const int pumpPin = D1; // Насос
const int valvePin = D2; // Електроклапан

// Порогові значення
const int moistureThreshold = 400; // Порогове значення вологості
const float phMin = 5.5; // Мінімальне значення рН
const float phMax = 7.0; // Максимальне значення рН
const float ecMax = 2.5; // Максимальна ЕС (в мСм/см)

// Налаштування
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pumpPin, OUTPUT);
  pinMode(valvePin, OUTPUT);
  digitalWrite(pumpPin, LOW);
  digitalWrite(valvePin, LOW);
}
```

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

}

// Основний цикл
void loop() {
    int moistureValue = analogRead(moistureSensorPin);
    int pHValueRaw = analogRead(pHSensorPin);
    int ecValueRaw = analogRead(ecSensorPin);

    // Перетворення сирих даних у умовні реальні значення
    float pHValue = map(pHValueRaw, 0, 1023, 0, 14); // Приблизно рН від
0 до 14
    float ecValue = (ecValueRaw / 1023.0) * 5.0; // Умовно ЕС (в
Вольтах, далі в мСм/см)

    // Виведення значень у серійний монітор
    Serial.print("Вологість: ");
    Serial.print(moistureValue);
    Serial.print(" | рН: ");
    Serial.print(pHValue);
    Serial.print(" | ЕС: ");
    Serial.println(ecValue);

    // Прийняття рішення
    if (moistureValue > moistureThreshold && pHValue >= pHMin && pHValue <=
pHMax && ecValue <= ecMax) {
        digitalWrite(pumpPin, HIGH);
        digitalWrite(valvePin, HIGH);
        delay(5000); // Полив протягом 5 секунд
        digitalWrite(pumpPin, LOW);
        digitalWrite(valvePin, LOW);
    }

    delay(10000); // Очікування між циклами 10 сек
}

```

Оголошується та ініціалізується змінна `moistureSensorPin`, яка використовується для зберігання номера піну, до якого підключено датчик вологості ґрунту. Змінна має тип `const int`, що означає, що це цілочислове значення, яке не буде змінюватися протягом роботи програми. Ключове слово `const` вказує компілятору, що ця змінна є константою, і її значення встановлюється один раз при

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ініціалізації, після чого не може бути змінено. Це дозволяє зменшити ймовірність помилок у коді, пов'язаних із випадковою зміною номера піну, а також підвищує читабельність і зрозумілість програми для розробника.

Значенням змінної `moistureSensorPin` є `A0`, що вказує на аналоговий вхід з номером `0` на платі `Arduino`. Аналогові входи використовуються для зчитування сигналів з аналогових сенсорів, таких як датчики вологості ґрунту, які видають неперервний сигнал у вигляді напруги, що пропорційна рівню вологості. `Arduino UNO` має декілька аналогових входів, позначених як `A0`, `A1`, `A2` і так далі, і кожен з них може використовуватися для зчитування аналогових значень у діапазоні від `0` до `1023` (що відповідає напрузі від `0` до `5` вольт за умовчанням).

Цей рядок фактично повідомляє мікроконтролеру, що саме до порту `A0` буде підключено сенсор вологості ґрунту, і надалі в програмі саме через це ім'я – `moistureSensorPin` – буде здійснюватися звернення до даного порту, зчитування значень з нього або використання в логіці керування поливом. Таким чином, цей рядок виконує важливу функцію ініціалізації, яка формує зв'язок між фізичним підключенням пристрою до плати `Arduino` та програмною частиною, що керує його роботою.

Оголошується змінна з іменем `phSensorPin`, яка призначена для зберігання номера піну, до якого підключений датчик рН. Тип цієї змінної – `const int`, що означає, що вона є сталою цілочисельною величиною, яку не можна змінити після її ініціалізації. Ключове слово `const` тут використовується для того, щоб забезпечити незмінність значення змінної протягом виконання програми, що особливо корисно при роботі з мікроконтролерами, де важлива чіткість і передбачуваність роботи апаратного забезпечення. Застосування констант дозволяє уникнути випадкових помилок у подальшому коді, де може виникнути потреба звертатися до певного піну багаторазово – використання іменованої константи, замість жорстко прописаного значення, підвищує зручність підтримки та читабельність коду.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У змінну `phSensorPin` присвоєно значення `A1`, що означає, що датчик рН фізично підключено до аналогового входу з номером 1 на платі Arduino. Ці аналогові входи (`A0`, `A1`, `A2` тощо) використовуються для зчитування аналогових сигналів, тобто таких, які змінюються в неперервному діапазоні. У випадку з датчиком рН, вихідним значенням є напруга, яка змінюється в залежності від кислотності або лужності рідини, з якою взаємодіє зонд. Arduino здатен зчитувати такі сигнали за допомогою внутрішнього аналого-цифрового перетворювача (ADC) [27], який перетворює вхідну напругу у цифрове значення в діапазоні від 0 до 1023. Це дозволяє програмно аналізувати отримані дані та визначати рівень рН розчину.

Рядок виконує логічну прив'язку між фізичним піном, на якому надходить сигнал від рН-датчика, та програмним елементом, через який здійснюється взаємодія з цим входом у коді. Усі подальші звернення до датчика рН в програмі, наприклад, зчитування значень через функцію `analogRead(phSensorPin)`, будуть використовувати саме це ім'я змінної. Такий підхід спрощує структуру коду, робить його більш гнучким і полегшує майбутні зміни або модифікації схеми без необхідності переписувати велику кількість рядків коду – достатньо буде змінити одне значення в оголошенні змінної.

Оголошено сталу змінну `ecSensorPin`, яка використовується для позначення номера аналогового входу мікроконтролера Arduino, до якого підключений датчик електропровідності (ЕС-сенсор) [28]. Тип змінної – `const int`, що означає, що вона є константою цілих чисел. Ключове слово `const` вказує компілятору, що значення цієї змінної не повинно змінюватися протягом виконання програми. Це є хорошою практикою у програмуванні мікроконтролерів, оскільки дозволяє уникати помилок, пов'язаних із випадковим перевизначенням значень пінів, а також підвищує наочність і зрозумілість коду.

Змінній присвоєно значення `A2`, що означає, що фізично датчик електропровідності підключено до аналогового входу `A2` на платі Arduino. Аналогові входи (`A0–A5` на більшості моделей, таких як Arduino Uno) використовуються для зчитування змінних сигналів напруги, які подаються від

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналогових сенсорів. У випадку ЕС-сенсора, він вимірює здатність водного розчину проводити електричний струм, що прямо залежить від концентрації розчинених солей і поживних речовин. Вихідним сигналом такого сенсора зазвичай є напруга, яка змінюється пропорційно до рівня електропровідності. Мікроконтролер за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (ADC) перетворює цю напругу у цифрове значення в діапазоні від 0 до 1023, яке потім можна використовувати для аналізу стану поживного середовища.

Присвоєння імені конкретному піну через оголошення змінної дає змогу зручно звертатися до цього входу у програмному коді. Наприклад, замість того щоб безпосередньо вказувати A2 при кожному зчитуванні значення з ЕС-датчика, використовується `ecSensorPin`, що робить код більш читабельним, логічним і зрозумілим для інших розробників. Крім того, у разі зміни підключення до іншого піну достатньо буде змінити лише одне значення у визначенні змінної, не змінюючи всі виклики по коду.

Таким чином, цей рядок коду виконує функцію прив'язки програмної логіки до конкретного фізичного підключення електропровіднісного датчика, створюючи зручну основу для подальшої роботи з його сигналами, аналізу концентрації солей у поживному розчині та прийняття рішень щодо корекції складу води в тепличній системі.

Створюється константна змінна з іменем `pinpPin`, яка використовується для позначення цифрового виходу мікроконтролера, до якого підключено насос, що відповідає за подачу поживного розчину або води в систему автоматизованого поливу теплиці. Оголошення відбувається за допомогою ключових слів `const int`, що означає: змінна має цілий тип (`int`) і є константою (`const`), тобто її значення не змінюється протягом усього виконання програми. Це гарантує, що фізичний пін, до якого підключено насос, буде стабільно асоціюватися з цією змінною в коді, і жодна частина програми випадково не змінить його номер, що є важливою практикою для стабільної роботи системи.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Змінній `pumpPin` присвоєно значення `D1`, яке вказує на конкретний цифровий пін мікроконтролера. У випадку використання, наприклад, плати `NodeMCU` [29] або `ESP8266`, позначення `D1` відповідає певному GPIO-піну (зокрема, `GPIO5`), і ця система позначень значно спрощує читання схеми та роботу з кодом. Насос, який підключений до цього піна, зазвичай керується через реле або транзистор – тобто сам пін не подає живлення на насос безпосередньо, а слугує керуючим сигналом, який вмикає або вимикає силову схему живлення.

У програмному забезпеченні пін `pumpPin` буде налаштовано як вихід за допомогою функції `pinMode(pumpPin, OUTPUT)` у секції `setup()`, а далі у функції `loop()` або окремих логічних блоках буде використовуватись для увімкнення чи вимкнення насоса через виклики `digitalWrite(pumpPin, HIGH)` або `digitalWrite(pumpPin, LOW)`, залежно від результатів зчитування з датчиків, наприклад, вологості ґрунту або електропровідності. Увімкнення насоса може виконуватися, коли показники сенсорів сигналізують про необхідність поливу або підживлення рослин, а вимкнення – коли ці показники досягають встановлених порогів.

Створюється константна цілочисельна змінна з іменем `valvePin`, яка використовується для позначення конкретного цифрового виводу мікроконтролера, до якого підключено електромагнітний клапан. Змінна оголошена як `const int`, що вказує на її незмінність упродовж виконання програми. Це означає, що після призначення їй значення `D2`, надалі в коді не буде дозволено змінювати цей пін на інший, що виключає можливість помилок і сприяє стабільності всієї системи.

Параметр `D2` вказує на один із цифрових виводів мікроконтролера, який у залежності від конкретної плати, наприклад, `ESP8266` або `NodeMCU`, відповідає певному GPIO-піну (зокрема, для `ESP8266` `D2` відповідає `GPIO4`). Саме до цього піну фізично підключено керуючий провід електроклапана, через який здійснюється його відкриття або закриття залежно від поданого сигналу.

Електроклапан – це виконавчий пристрій, який перекриває або відкриває потік води чи поживного розчину в системі. Керування ним зазвичай здійснюється за допомогою транзистора або реле, які дозволяють подавати на нього потрібну напругу (часто це 12V), при цьому сам мікроконтролер через valvePin подає лише керуючий логічний сигнал (HIGH або LOW). У програмному коді valvePin буде налаштовано як вихід через команду pinMode(valvePin, OUTPUT) у функції setup(), що дозволяє згодом управляти станом клапана з допомогою digitalWrite(valvePin, HIGH) – для відкриття, або digitalWrite(valvePin, LOW) – для закриття.

Призначення окремої змінної для цього піна є важливим кроком для зручного керування логікою роботи системи: у разі змін у схемі з'єднань достатньо лише змінити значення змінної, а не шукати і замінювати всі входження конкретного піну по всьому коду. Це значно покращує гнучкість і підтримуваність програмного забезпечення.

Створено константну цілочисельну змінну з іменем moistureThreshold, якій присвоєно значення 400. Ця змінна слугує пороговим значенням вологості ґрунту, нижче якого система вважає, що ґрунт пересушений і потребує поливу. Тип змінної – const int, тобто це константа, яка не змінюється протягом виконання програми, що підвищує стабільність та надійність логіки керування системою. Порогове значення використовується для порівняння з даними, отриманими від датчика вологості, який зазвичай підключений до аналогового входу, наприклад A0, і повертає значення у діапазоні приблизно від 0 до 1023.

Датчики вологості ґрунту типу YL-69 або аналоги працюють за принципом зміни електричного опору в залежності від рівня вологості в ґрунті. При високій вологості опір нижчий, що призводить до меншого аналогового значення (ближче до 0), а при сухому ґрунті опір зростає і датчик видає значення ближче до 1023. Значення 400 як порогове обрано на основі емпіричного калібрування – воно відповідає моменту, коли ґрунт уже помітно підсушується, але ще не до критичного рівня. Це значення було отримане експериментальним шляхом шляхом зчитування даних з датчика в різних умовах – у вологому, напіввологодому та сухому ґрунті.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, у добре зволоженому стані датчик може показувати значення близько 250–300, у помірно вологому – 350–400, а в сухому – понад 500. Тому 400 є логічним і безпечним компромісом, що дозволяє активувати систему поливу на ранній стадії висихання, запобігаючи стресу рослин.

Це значення може змінюватися в залежності від типу ґрунту, глибини закопування сенсора, типу сенсора, температури, а також особливостей рослин, що вирощуються в теплиці. Наприклад, для кактусів чи інших рослин, що потребують менше вологи, поріг може бути вищим (наприклад 600), тоді як для вологолюбних культур, навпаки, нижчим (близько 300–350). Встановлення цього значення у вигляді окремої змінної дозволяє легко його змінювати, не змінюючи всю логіку в коді, і навіть в майбутньому додати до проєкту можливість налаштування цього параметра користувачем через інтерфейс.

Оголошується змінна з іменем `phMin` типу `const float`, яка представляє мінімальне допустиме значення рівня рН у ґрунтовому або водному середовищі для вирощування рослин у теплиці. Тип змінної `float` означає, що вона може зберігати дробові значення, що необхідно при роботі з показниками рН, оскільки вони завжди виражаються з десятковою точністю, наприклад 6.2 або 5.8. Ключове слово `const` вказує на те, що це значення є постійним і не повинно змінюватися під час виконання програми, що забезпечує стабільність логіки системи контролю.

Значення 5.5, присвоєне цій змінній, є мінімально допустимим рівнем кислотності, нижче якого розчин вважається надто кислим і може негативно впливати на засвоєння поживних речовин кореневою системою більшості культур. рН є критичним параметром у гідропонних та ґрунтових системах, оскільки від нього залежить біодоступність елементів живлення – при занадто низькому або високому рН корені рослин не можуть засвоювати навіть ті елементи, які присутні у великій кількості. Для більшості овочевих і зелених культур (таких як помідори, огірки, салати) оптимальний діапазон рН зазвичай становить 5.5–6.5. Нижче 5.5 рН середовище стає надто кислим, що може призводити до токсичності через

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надлишок іонів металів і нестачу життєво важливих макроелементів, таких як фосфор чи кальцій.

Значення 5.5 обрано як нижня межа з міркувань безпеки та універсальності. Воно підходить для більшості вирощуваних у домашніх теплицях культур і дозволяє своєчасно реагувати на небажані зміни середовища – наприклад, вивести попередження, активувати підкислення або навпаки нейтралізацію середовища шляхом додавання буферних речовин. Такий підхід дозволяє уникнути шкідливих умов, які могли б призвести до зниження врожайності або повної зупинки росту рослин.

Оголошення змінної `phMin` як окремої константи дозволяє централізовано налаштувати систему під різні типи культур або ґрунтів без необхідності змінювати числові значення у коді безпосередньо в логіці прийняття рішень. Це спрощує обслуговування програмного забезпечення та відкриває можливості для майбутнього розширення, наприклад, інтеграції графічного інтерфейсу для користувача, де він самостійно міг би встановлювати діапазон допустимого рН. Отже, рядок з `const float phMin = 5.5;` є важливою частиною програмної логіки, яка визначає нижню межу кислотності середовища та сприяє збереженню здоров'я рослин і ефективному використанню поживних речовин.

Оголошується константа з назвою `phMax` типу `float`, якій присвоєно значення 7.0. Ця змінна представляє собою максимальне допустиме значення рівня рН у середовищі вирощування рослин, зокрема у розчині, що подається через систему поливу. Ключове слово `const` означає, що ця змінна є незмінною протягом усього часу виконання програми, що дозволяє уникнути випадкового або неконтрольованого її перепризначення. Використання типу `float` забезпечує можливість зберігати і обробляти дробові значення, що є критично важливим при роботі з параметром рН, який за своєю природою є неперервним показником і зазвичай коливається з точністю до десятих.

Встановлене значення 7.0 є логічною верхньою межею, оскільки рН дорівнює 7 вважається нейтральним – тобто середовище не є ані кислим, ані лужним.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більшість культур, які вирощуються у теплицях або на гідропонних установках, найкраще ростуть у слабокислому або нейтральному середовищі, з оптимальним діапазоном рН приблизно від 5.5 до 6.5. Значення 7.0 використовується як верхній поріг для контролю того, щоб середовище не ставало занадто лужним, адже вже при рН вище 7.0 починається зниження біодоступності деяких важливих мікроелементів, таких як залізо, марганець, мідь і цинк. Це може призвести до хлорозу листя, погіршення розвитку кореневої системи та загального пригнічення росту.

З точки зору практичного застосування в автоматизованій системі, така межа дозволяє запрограмувати алгоритм реагування на перевищення порогового значення. У випадку, коли датчик рН виявляє, що значення перевищує 7.0, система може виконати певні дії: припинити подачу поживного розчину, додати підкислювач, або повідомити користувача про необхідність втручання. Таким чином, це значення служить своєрідною "сигнальною межею", за якою середовище вже вважається непридатним для оптимального росту більшості рослин.

Також важливо, що значення 7.0 обране не випадково, а на основі агрономічних норм і багаторічної практики, де встановлено, що рН у діапазоні від 5.5 до 7.0 є найбільш прийнятним для більшості видів культур, які вирощуються у закритому ґрунті. Завдяки тому, що $phMax$ винесено як окрему константу, це значення можна легко змінювати або адаптувати в майбутньому під потреби конкретного господарства чи навіть окремих культур, що додає гнучкості системі і підвищує її придатність для широкого кола завдань. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільність хімічного складу поживного середовища і, відповідно, підтримувати високий рівень життєздатності і продуктивності рослин у домашній теплиці.

Створюється константа $ecMax$ типу `float`, якій присвоєно значення 2.5. Вона використовується для встановлення верхньої межі електропровідності (ЕС) поживного розчину, що є критично важливим параметром у системах автоматизованого живлення рослин. Ключове слово `const` означає, що значення цієї

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінної не може бути змінене під час виконання програми, що забезпечує її стабільність і захист від ненавмисного перезапису. Тип float дозволяє зберігати дробові значення з високою точністю, адже електропровідність зазвичай вимірюється в мСм/см (мілізіменс на сантиметр) і коливається в межах від 0 до кількох одиниць.

Встановлене значення 2.5 мСм/см було обрано як верхня межа з урахуванням оптимального діапазону для більшості культур, що вирощуються у домашніх умовах або в гідропонних теплицях. Електропровідність є непрямим показником концентрації розчинених у воді мінералів та солей. Якщо ЕС перевищує певний поріг, це може свідчити про надмірну кількість солей у розчині, що, своєю чергою, може призвести до осмотичного стресу для рослин, ускладнення засвоєння води, зниження росту і навіть пошкодження кореневої системи. Дослідження в агрономії показують, що для багатьох овочевих культур, таких як томати, огірки чи салат, електропровідність поживного розчину повинна залишатися в межах від 1.2 до 2.5 мСм/см. Тому значення 2.5 приймається як гранично допустиме перед тим, як розчин вважається перенасиченим.

Програмно використання змінної есМах дозволяє системі проводити постійний контроль параметра ЕС та вчасно реагувати на його перевищення. Наприклад, якщо датчик ЕС фіксує значення, що перевищує 2.5 мСм/см, програма може автоматично зупинити подачу добрив, ініціювати промивання системи чистою водою або попередити користувача про необхідність втручання. Це не лише захищає рослини від стресу, а й дозволяє зберігати ресурс поживних речовин та води.

Винесення цього значення як окремої константи робить програмний код гнучким і легко адаптовуваним: у майбутньому його можна буде без проблем змінити під інші культури або експериментальні умови. Крім того, використання максимальної межі ЕС як контрольної точки дозволяє точніше керувати якістю живлення і підтримувати стабільний агрохімічний баланс у системі, що є особливо

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важливим для досягнення високої врожайності та здоров'я рослин у домашній теплиці.

Далі представлена функція `setup()`, яка є однією з двох основних функцій у програмі для Arduino і виконується один раз при запуску пристрою або його перезавантаженні. Основне призначення цієї функції – підготувати мікроконтролер до роботи, ініціалізувати необхідні налаштування апаратних інтерфейсів і задати початкові стани для підключених компонентів.

Перше, що робиться в цій функції – це ініціалізація послідовного зв'язку за допомогою команди `Serial.begin(9600);`. Це відкриває канал комунікації між Arduino та комп'ютером або іншим зовнішнім пристроєм з швидкістю 9600 бод. Цей параметр обрано як стандартний і найпоширеніший, що забезпечує надійну передачу даних без значних затримок і помилок, а також сумісність із більшістю термінальних програм і моніторів послідовного порту. Завдяки цьому Arduino може виводити інформацію про стан системи, значення з датчиків або інші діагностичні повідомлення, що суттєво полегшує налагодження та контроль роботи підсистеми.

Далі у функції `setup()` відбувається налаштування режимів роботи пінів, що відповідають за керування насосом і електроклапаном, за допомогою команд `pinMode(pumpPin, OUTPUT);` та `pinMode(valvePin, OUTPUT);`. Вказівка режиму `OUTPUT` означає, що ці піни будуть використовуватись як вихідні, тобто Arduino зможе подавати на них логічні сигнали, щоб вмикати або вимикати підключені пристрої. Це важливо, бо насос і клапан – це виконавчі елементи, якими система керує, регулюючи подачу води чи поживних розчинів до рослин.

Після встановлення режимів роботи пінів, для запобігання випадковому увімкненню насосів або клапанів під час запуску програми, їхні початкові стани встановлюються в логічний низький рівень (`LOW`) командами `digitalWrite(pumpPin, LOW);` та `digitalWrite(valvePin, LOW);`. Це означає, що на цих пінів подається напруга, відповідна виключеному стану, і таким чином насос і клапан залишаються вимкненими, доки програма не дасть команду на їхнє

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включення. Такий підхід є необхідним для забезпечення безпеки і запобігання несподіваній активації виконавчих механізмів, що могло б призвести до пошкоджень обладнання або зайвого споживання ресурсів.

Вибір і порядок цих дій у функції `setup()` відповідають базовим принципам налаштування мікроконтролера для забезпечення стабільної і передбачуваної роботи системи з самого початку. Наявність послідовного зв'язку дає змогу у будь-який момент відслідковувати роботу пристрою, а визначення пінів як вихідних і встановлення початкового стану в LOW гарантує, що система почне функціонувати в контрольованому режимі без непередбачених активацій. Цей код є фундаментом, на якому будується вся логіка керування підсистемою подачі поживних речовин у домашній теплиці.

Потім представлена функція `loop()`, яка є центральним і безперервним циклом виконання програми на платформі Arduino. Вона виконується постійно після того, як функція `setup()` завершила свою роботу, що дозволяє системі безперервно виконувати задані дії в режимі реального часу. Саме в цій частині коду відбувається основний процес зчитування даних з датчиків, які визначають стан середовища в теплиці, що є критично важливим для автоматичного керування подачею поживних речовин.

Спочатку в циклі виконується зчитування аналогових сигналів з трьох різних датчиків, кожен з яких підключений до окремого аналогового входу плати Arduino. Команда `analogRead(moistureSensorPin)` зчитує напругу, пропорційну вологості ґрунту, яка надходить з датчика вологості, підключеного до відповідного аналогового входу, і результат зберігається у змінній `moistureValue`. Це значення є числом у діапазоні від 0 до 1023, яке відображає рівень вологості ґрунту, що дозволяє програмі приймати рішення про необхідність поливу.

Далі здійснюється зчитування показників датчика рН за допомогою команди `analogRead(phSensorPin)` [30], а отримане сире значення зберігається у змінній `phValueRaw`. Цей датчик вимірює кислотність або лужність розчину, що є важливим параметром для підтримки оптимальних умов росту рослин. Значення,

що отримується з цього датчика, є сирим сигналом, який потребує подальшої обробки для конвертації у зрозумілий показник рН, проте саме первинне зчитування забезпечує основу для такого перетворення.

Третій рядок коду відповідає за зчитування електропровідності розчину, яка характеризує концентрацію розчинених у ньому поживних речовин. Використання команди `analogRead(ecSensorPin)` дозволяє отримати аналоговий сигнал від датчика ЕС, що відображає цей параметр, і зберегти його у змінній `ecValueRaw`. Аналогово з попереднім, це сире значення, яке підлягає додатковому калібруванню і перетворенню у фізичну одиницю (мСм/см), але саме воно дає програмі інформацію для подальшого аналізу.

Вибір цих трьох датчиків і саме таке зчитування є обґрунтованим і важливим для створення комплексної системи автоматичного контролю поживного режиму в домашній теплиці. Завдяки безперервному циклу `loop()`, програма постійно оновлює інформацію про стан ґрунту і розчинів, що дозволяє адаптивно і оперативно регулювати роботу насосів і клапанів для підтримки оптимальних умов росту рослин. Значення з аналогових входів надають детальні і актуальні дані, необхідні для точного управління системою. Такий підхід забезпечує надійність і ефективність роботи підсистеми, мінімізує втрати ресурсів та покращує загальний результат агротехнічного процесу.

В подальшій частині коду відбувається виведення отриманих даних з датчиків у серійний монітор, що є важливою частиною процесу налагодження та моніторингу роботи системи в реальному часі. Серійний монітор – це інструмент в Arduino IDE, який дозволяє виводити текстову інформацію з плати Arduino на комп'ютер, що підключений через USB. Це дає змогу розробнику або користувачу бачити актуальні показники сенсорів, контролювати роботу системи і вчасно реагувати на будь-які відхилення або несправності.

Команда `Serial.print("Вологість: ")` виводить текстовий рядок, який служить для ідентифікації значення, що буде виведено далі, а саме рівня вологості ґрунту,

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

що зчитується з відповідного датчика. Такий підхід робить вивід зрозумілим і структурованим, дозволяючи легко орієнтуватися у поточних значеннях.

Далі виконується команда `Serial.print(moistureValue)`, яка виводить саме цифрове значення вологості, отримане з аналогового входу. Це значення, представлене у вигляді цілого числа, надає точну інформацію про поточний стан ґрунту, що є критично важливим для прийняття рішень у автоматичній системі поливу.

Для відокремлення інформації про різні параметри між собою використовується команда `Serial.print(" | рН: ")`, що виводить символ роздільника і назву наступного параметра – кислотності розчину. Це робить вивід більш наочним і зручним для аналізу.

Команда `Serial.print(phValue)` виводить числове значення рН, яке було попередньо оброблене і конвертоване зі сирого аналогового сигналу. Цей показник важливий для оцінки кислотно-лужного балансу середовища, в якому ростуть рослини, оскільки багато культур мають оптимальні межі рН для здорового розвитку.

Наступний роздільник " | ЕС: " сигналізує про початок виводу значення електропровідності розчину, що дає змогу контролювати концентрацію поживних речовин. Завершує рядок команда `Serial.println(ecValue)`, яка не просто виводить значення ЕС, а й додає перехід на новий рядок у серійному моніторі, що сприяє акуратності і зрозумілості виведення.

Використання такого структурованого та детального виводу інформації є необхідним для діагностики та налагодження системи, оскільки дозволяє оперативно відстежувати поведінку підсистеми подачі поживних речовин, перевіряти коректність роботи датчиків і реагувати на будь-які відхилення від нормальних параметрів. Це підвищує надійність роботи системи та допомагає уникнути помилок в автоматизації процесу поливу і підживлення в домашній теплиці.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

І в останній частині коду реалізується логіка прийняття рішення щодо запуску системи поливу та подачі поживних речовин, яка базується на поточних значеннях, отриманих з датчиків вологості ґрунту, рівня рН і електропровідності (ЕС). Спочатку відбувається перевірка, чи відповідають ці параметри встановленим пороговим значенням. Умовний оператор `if` визначає, чи варто запускати насос і відкривати електроклапан для подачі води або розчину поживних речовин.

Перевірка починається з аналізу рівня вологості ґрунту. Якщо значення вологості (`moistureValue`) перевищує визначений поріг (`moistureThreshold`), це свідчить про недостатній рівень вологи, і система має ініціювати полив. Одночасно перевіряється, чи знаходиться рівень рН у межах мінімального (`phMin`) та максимального (`phMax`) значень, що гарантує оптимальні умови для росту рослин. Контроль рН є важливим, адже відхилення від цих меж можуть негативно впливати на здатність рослин засвоювати поживні речовини.

Також враховується значення електропровідності розчину (`ecValue`), яке не повинно перевищувати максимальне допустиме значення (`ecMax`). Це обмеження запобігає надмірному насиченню ґрунту солями або поживними речовинами, що могло б викликати токсичність або пригнічення розвитку рослин. Комплексна перевірка усіх трьох параметрів забезпечує баланс між достатнім зволоженням, оптимальним рівнем кислотності та безпекою поживного середовища.

Якщо всі умови виконуються, виконується команда `digitalWrite(pumpPin, HIGH)` та `digitalWrite(valvePin, HIGH)`, що включає насос і відкриває електроклапан, забезпечуючи подачу води або поживного розчину. Включення цих виконавчих механізмів триватиме протягом 5 секунд, що визначено командою `delay(5000)`. Цей час вибрано для достатнього зволоження або внесення поживних речовин, при цьому запобігаючи надмірному перезволоженню або перевитраті ресурсів.

Після цього насос і клапан вимикаються командами `digitalWrite(pumpPin, LOW)` і `digitalWrite(valvePin, LOW)`, що припиняє подачу рідини, запобігаючи

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надмірному зволоженню і зберігаючи ресурси. Потім система переходить у стан очікування на 10 секунд, визначений командою `delay(10000)`, щоб уникнути надмірної частоти запусків і надати час для зміни параметрів ґрунту, перш ніж проводити наступний цикл вимірювань і рішень.

Таким чином, цей код реалізує простий, але ефективний алгоритм автоматичного контролю поливу і підживлення рослин, який базується на комплексному аналізі даних із сенсорів і забезпечує баланс між потребами рослин та економним використанням ресурсів. Вибір таких значень часу затримки і порогів обумовлений оптимізацією роботи системи для підтримання здоров'я рослин і стабільної роботи підсистеми в домашній теплиці.

3.2. Налагодження та тестування роботи підсистеми

Після завершення складання апаратної частини та розробки програмного коду система була переведена у режим тестування з метою перевірки її стабільності, коректності зчитування даних, точності керування та загальної взаємодії між компонентами. Першим етапом стало початкове налагодження – перевірка кожного датчика окремо з виведенням результатів у серійний монітор Arduino IDE. Це дозволило переконатися, що всі сенсори підключені правильно, видають дані у відповідному діапазоні та реагують на зміни умов, наприклад, зволоження ґрунту чи зміну кислотності розчину. У разі виявлення нестабільних або помилкових показників були проведені калібрування, зокрема, для датчика рН із використанням еталонних розчинів.

На наступному етапі тестувалася взаємодія сенсорної частини з виконавчою. При досягненні критичних значень вологості чи рН, система мала вмикати насос і відкривати клапан. Спочатку такі умови створювалися вручну – ґрунт висушувався або до розчину додавалися кислоти чи луги для моделювання відповідного рівня рН. Система реагувала на зміни відповідно до заданих у коді порогів, активуючи полив та подачу поживного розчину в межах встановленого часу.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також перевірялась поведінка системи в разі виходу за допустимі межі, наприклад, коли рН ставав занадто високим або низьким. У таких випадках система мала блокувати подачу і повідомляти про проблему через серійний монітор. Це дало змогу переконатися, що механізми захисту працюють правильно.

Окремо здійснювалося тестування стабільності живлення та безперебійної роботи всієї системи протягом тривалого часу. Виявлені недоліки, зокрема нестабільна робота насосів через падіння напруги при одночасному вмиканні, були усунені шляхом встановлення окремого блоку живлення для виконавчих механізмів.

Крім локального тестування, було перевірено можливість передавання даних через Wi-Fi у реальному часі. Для цього використовувався модуль ESP8266, який надсилав отримані значення на сервер або відображав їх у вебінтерфейсі. Передача працювала стабільно, а затримки були мінімальні, що дозволяло користувачу відстежувати процес поливу та стан теплиці віддалено.

3.3. Аналіз отриманих результатів

У результаті реалізації та тестування підсистеми подачі поживних речовин було отримано низку важливих технічних і практичних результатів, які свідчать про ефективність розробленого рішення. Система продемонструвала стабільну та надійну роботу в умовах моделювання тепличного середовища, швидко реагуючи на зміни параметрів вологості ґрунту, рівня рН та електропровідності розчину. Використані сенсори забезпечили достатній рівень точності, необхідний для автоматизованого керування поливом і підживленням рослин. Показники зчитувалися з встановленою у програмному коді частотою, що гарантувало своєчасне отримання актуальних даних, а виконавчі механізми на основі реле, такі як насоси та електроклапани, чітко виконували команди мікроконтролера без збоїв або затримок.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо важливо відзначити успішну інтеграцію апаратних та програмних компонентів у єдиний технологічний процес, що забезпечує гнучкість системи та її адаптацію під різні умови та порогові значення параметрів. Завдяки цій гнучкості підсистема може бути налаштована відповідно до специфічних потреб конкретних культур з урахуванням їх фізіологічних особливостей та агротехнічних вимог. Це робить систему універсальною і придатною для широкого спектру застосувань у тепличному господарстві.

Додатковою перевагою стало впровадження модуля Wi-Fi, що дозволяє користувачу отримувати інформацію про стан системи дистанційно, розширюючи функціональні можливості підсистеми та забезпечуючи зручність її використання без необхідності фізичної присутності поряд з обладнанням. Це важливий крок до автоматизації та модернізації аграрних технологій, що підвищує комфорт та ефективність управління мікрокліматом у теплиці.

Водночас під час тестування були виявлені напрямки для подальшого вдосконалення системи. Зокрема, точність датчиків рН та електропровідності можна підвищити шляхом застосування більш якісних промислових сенсорів або впровадження додаткових алгоритмів калібрування, що дозволить покращити якість вимірювань. Також було помічено, що стабільність роботи деяких компонентів залежить від надійності джерела живлення, що підтверджує доцільність використання стабілізаторів напруги у наступних версіях системи. Це дозволить уникнути збоїв і забезпечити більш довготривалу безперебійну роботу обладнання.

Загалом проведений аналіз підтвердив, що розроблена підсистема повністю відповідає поставленим вимогам, демонструє високу надійність та точність у виконанні ключових функцій, а також має значний потенціал для подальшого розвитку, модернізації і масштабування. Вона є ефективним інструментом для підтримання оптимального водного та поживного режиму у домашніх тепличних умовах, що позитивно впливає на ріст і розвиток рослин.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншою проблемою стала неточність вимірювання вологості ґрунту, зокрема при зміні температури або складу самого субстрату. Для її подолання було проведено серію експериментів з різними типами ґрунтів, що дозволило скоригувати програмну інтерпретацію аналогових значень шляхом введення поправочних коефіцієнтів у код. Додатково розглядається можливість використання цифрових сенсорів із вбудованою компенсацією [32].

Серйозною перешкодою на ранньому етапі стала нестабільна робота насосів під час одночасного ввімкнення декількох виконавчих пристроїв. Причиною виявився недостатній струмовий запас у використовуваному джерелі живлення. Це було усунено шляхом заміни блоку живлення на більш потужний і додаванням конденсаторів на лініях живлення для згладжування стрибків напруги.

Крім технічних труднощів, окрему увагу привернули затримки при передаванні даних через Wi-Fi. У процесі тестування були зафіксовані випадки втрати з'єднання з мережею, що ускладнювало моніторинг у реальному часі. Для вирішення цієї проблеми було впроваджено повторні спроби підключення у програмному коді, а також обмежено частоту надсилання даних, щоб уникнути перевантаження каналу.

Варто також зазначити, що у деяких випадках реакція системи на зміну умов була дещо повільною, особливо в частині прийняття рішень щодо активації насосів. Причиною було занадто велике значення затримки у програмному циклі. Це питання вирішувалось шляхом оптимізації логіки програми та переходу від жорстко заданих `delay()` до використання функції `millis()` для створення більш гнучкої та адаптивної системи керування.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломної роботи було спроектовано, реалізовано та протестовано підсистему автоматизованої подачі поживних речовин через систему водопостачання для домашньої теплиці на базі апаратної платформи Arduino. Система продемонструвала свою здатність ефективно керувати процесом поливу та живлення рослин, орієнтуючись на показники вологості ґрунту, кислотності та електропровідності розчину, що забезпечує підтримання оптимальних умов для росту рослин без потреби в постійному втручанні з боку людини.

Були досліджені технічні аспекти функціонування сучасних платформ автоматизації, таких як Arduino і Raspberry Pi, а також проведено аналіз існуючих рішень для домашніх теплиць. На основі цього аналізу було обґрунтовано доцільність використання саме Arduino як доступного та гнучкого засобу для побудови автономної керуючої системи. У рамках проєкту було підбрано та використано відповідні апаратні компоненти: датчики вологості, рН [33] і ЕС, мікроконтролер, модуль живлення, насос і електромагнітний клапан. Було складено схему з'єднання компонентів, розроблено програмне забезпечення та реалізовано керування підсистемою з можливістю віддаленого моніторингу.

Система пройшла налагодження та тестування в умовах, наближених до реальної експлуатації. Отримані результати показали, що вона функціонує стабільно, забезпечує необхідну точність вимірювань і своєчасну реакцію на зміни в середовищі. Також були виявлені проблеми технічного характеру, пов'язані з живленням і калібруванням датчиків, і запропоновано конкретні шляхи їх усунення.

Таким чином, основні результати роботи підтверджують успішність реалізації поставленої мети дослідження. Розроблена підсистема є ефективною, економічно доступною, легко масштабованою і може бути інтегрована до більш комплексних систем керування домашніми теплицями або іншими аграрними об'єктами з подібними вимогами до автоматизації.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Досягнення поставленої мети полягає в успішній розробці автоматизованої підсистеми подачі поживних речовин через систему водопостачання для домашньої теплиці на базі платформи Arduino. Завдяки цій роботі вдалося створити комплексне рішення, яке забезпечує стабільне і точне управління рівнем вологості ґрунту, кислотністю та електропровідністю живильного розчину. Ось основні аспекти, які свідчать про досягнення поставленої мети:

Розробка апаратної частини: У результаті проекту була зібрана система, що включає сенсори для вимірювання вологості ґрунту, рН та ЕС, а також виконавчі механізми (насос і клапан) для регулювання подачі води та поживних речовин. Використання платформи Arduino дозволило забезпечити низьку вартість при високій гнучкості та можливості масштабування.

Програмне забезпечення: Розроблений програмний код для платформи Arduino ефективно керує підсистемою, забезпечуючи автоматичний моніторинг і регулювання параметрів середовища в теплиці. Алгоритм, реалізований у програмі, дозволяє на основі показників сенсорів визначати, коли необхідно включити насос і клапан для подачі води та поживних речовин.

Тестування та налагодження: Підсистема була протестована в реальних умовах, що наближені до роботи домашньої теплиці. Виявлені проблеми, такі як нестабільна робота насосів і калібрування сенсорів, були усунені, що підтвердило ефективність системи та її готовність до практичного використання.

Віддалене управління та моніторинг: Завдяки використанню модуля Wi-Fi, система здатна передавати дані про стан теплиці на віддалений сервер, що дозволяє користувачам здійснювати моніторинг і контроль процесу без необхідності бути безпосередньо в теплиці.

Економічна та енергетична ефективність: Використання доступних компонентів і ефективних алгоритмів управління дозволило створити систему, яка є економічно вигідною та енергозберігаючою. Автоматизація процесу дозволяє зменшити витрати на воду і поживні речовини, що є важливим для домашніх теплиць.

В результаті було досягнуто мети автоматизації управління подачею поживних речовин та поливу в домашній теплиці з використанням доступної платформи Arduino, що дозволяє значно підвищити ефективність вирощування рослин за рахунок точного контролю за умовами середовища.

Перспективи розвитку та модернізації системи автоматизованої подачі поживних речовин для домашньої теплиці на базі Arduino відкривають численні можливості для вдосконалення. Одним із головних напрямків є покращення точності вимірювань. Це можна досягти шляхом використання більш точних промислових сенсорів для вимірювання рН, електропровідності та вологості ґрунту, що дозволить отримувати точніші дані і таким чином підвищити ефективність системи. Крім того, в перспективі можна додати датчики температури та освітленості, що дозволить створити більш повну картину умов середовища в теплиці. Іншим важливим кроком є інтеграція з іншими системами автоматизації, наприклад, системами контролю температури, вентиляції та освітлення, що дозволить розробити комплексну систему для управління всіма аспектами догляду за рослинами.

Використання штучного інтелекту та машинного навчання також є важливим напрямком розвитку. Алгоритми ШІ [34] можуть допомогти адаптувати роботу системи на основі даних про стан середовища, що дозволить автоматично коригувати параметри поливу та подачі поживних речовин залежно від змін у погодних умовах або стані рослин. Крім того, доцільно розробити мобільний додаток для моніторингу та керування системою. Це дозволить користувачам відстежувати стан теплиці в реальному часі, отримувати сповіщення про критичні зміни та приймати оперативні рішення щодо корекції параметрів.

Для підвищення енергетичної ефективності та автономності системи можна розглянути використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітрові генератори, що дозволить зробити систему менш залежною від зовнішніх джерел електричної енергії. Ще одним напрямком розвитку є додавання функції автоматичного калібрування сенсорів, що спростить налаштування

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи та підвищить її стабільність у роботі. Масштабування на більші об'єкти, такі як промислові теплиці або аграрні комплекси, дозволить використовувати ту ж технологію для більш великих систем поливу, де потрібно керувати великою кількістю датчиків і виконавчих механізмів.

Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) дозволить інтегрувати систему з іншими розумними пристроями, такими як автоматизовані системи поливу, кліматичні контролери та інші сенсори, що надасть можливість здійснювати більш точний контроль за умовами середовища і підвищити ефективність вирощування рослин. Загалом, розвиток цієї системи в майбутньому відкриває широкі перспективи для покращення якості та ефективності аграрного виробництва, роблячи процес вирощування рослин більш зручним, економічним і автономним.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ісмаїлов А.Ш. та ін. Дослідження плати мікроконтролера Arduino. *Наука та освіта*. 2022. №3.3. С. 172-179.
2. Литвин Ю.О.; Строкань О.В. Система поливу ґрунту на платформі мікроконтролера Arduino. *Системи обробки інформації*, 2019, 2: 90-95.
3. Madakam S.; Ramaswamy R.; Tripathi S. Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of computer and communications*, 2015, 3.5: 164-173.
4. Шварц М. Інтернет речей з ESP8266 . *Packt Publishing Ltd*, 2016.
5. Камерон Н. Мікроконтролер Esp32. У: Формати ESP32 та зв'язок: Застосування протоколів зв'язку з мікроконтролером ESP32 . *Берклі, Каліфорнія: Apress*, 2023. с. 1-54.
6. Jolles, Jolle W. Broad-scale applications of the Raspberry Pi: A review and guide for biologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 2021, 12.9: 1562-1579.
7. Найяр А.; Пурі В. Огляд Beaglebone Smart Board – недорогої платформи розробки на базі Linux/Android, що базується на технології ARM. У книзі: *9-та Міжнародна конференція з питань комунікацій та мереж майбутнього покоління (FGCN)*, 2015. IEEE, 2015. с. 55-63.
8. Корніюк А.В.; Пацева І.Г. Цифровий моніторинг якості води, виклики та рішення. 2023.
9. Лактіонов І.С., et al. Комп'ютеризована система комплексного моніторингу й керування мікрокліматом промислових теплиць на базі нечіткої логіки. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2019. № 3. С.120-129.
10. Руткевич В.; Остапенко В. Розроблення висівної системи посівного комплексу для внутрішньо-ґрунтового диференційованого мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 2024, 331.1: 264-270.

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

11. Березюк В. та ін. Засіб для вимірювання відносної вологості твердих побутових відходів на основі мікроконтролера Arduino UNO R3. У кн.: Застосування фотоніки в астрономії, зв'язку, промисловості та експериментах з фізики високих енергій, 2018. SPIE, 2018. с. 1055-1062.

12. Caruso M., et al. Low-cost smart energy management based on ATmega 328P-PU microcontroller. In: 2017 IEEE 6th international conference on renewable energy research and applications (ICRERA). IEEE, 2017. p. 1204-1209.

13. Suciayati S.W.; Hidayatullah M.S.; Pauzi G.A. An analysis of data acquisition system of temperature, oxygen, and carbon dioxide in refrigerator with arduino mega 2560. *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, 2021, 10.1: 119-127.

14. Dos Santos F.L., et al. Confidence analysis and calibration of a fc-28 soil moisture sensor mounted on a microcontroller platform. 2021.

15. Tan W.Y., et al. Newly calibrated analytical models for soil moisture content and pH value by low-cost YL-69 hygrometer sensor. *Measurement*, 2019, 134: 166-178.

16. Mokuia N.; Ciira W.M.; Kiragu H. A raw water quality monitoring system using wireless sensor networks. 2021.

17. Banerjee N., et al. Arduino based liquid dispensor system using peristaltic pump. *BS Project*, 2017.

18. Duh Yih-Shing, et al. Characterization on thermal runaway of commercial 18650 lithium-ion batteries used in electric vehicles: A review. *Journal of Energy Storage*, 2021, 41: 102888.

19. Tejaleksono G., et al. Prototype of CO, CO₂, UV Light, Temperature and Humidity Detection Device Based on IoT and Solar Cells. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 2024, 5.2.

20. Man M.; Bakar W.A. W.A.; Mab A. R. MUS-Tracker: An IoT based system in controlling and monitoring of beehives. *International Journal*, 2020, 8.6.

21. Siregar C.A., et al. Automation and control system on water level of reservoir based on microcontroller and blynk. In: 2020 14th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA. IEEE, 2020. p. 1-4.)

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Stroustrup B. A Tour of C++. Addison-Wesley Professional, 2022.
25. Ahmad Y.A., et al. On the evaluation of DHT22 temperature sensor for IoT application. *In: 2021 8th international conference on computer and communication engineering (ICCCCE)*. IEEE, 2021. p. 131-134.
26. Courbon F.; Skorobogatov S.; Woods C. Reverse engineering flash EEPROM memories using scanning electron microscopy. *In: International Conference on Smart Card Research and Advanced Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 57-72.
27. Азаров О.Д.; Черняк О.І.; Стахов О.Я. АЦП порозрядно-слідкувального врівноваження з ваговою надлишковістю. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 2020, 49.3: 37-44.
28. Izumi R., et al. Biological information (pH/EC) sensor device for quantitatively monitoring plant health conditions. *In: 2017 IEEE SENSORS*. IEEE, 2017. p. 1-3.
29. Parihar Y.S., et al. Internet of things and nodemcu. *Journal of emerging technologies and innovative research*, 2019, 6.6: 1085.
30. Saputra G.A.; Endra R. Analisis Cara Kerja Sensor Ph-E4502c Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno Untuk Merancang Alat Pengendalian Ph Air Pada Tambak. *no. December*, 2020, 1-45.
31. Gichan O.I. До питання про вплив фізико-хімічних параметрів на частоту спонтанних електрохімічних коливань. *Хімія, фізика та технологія поверхні*, 2017, 8.3: 225-249.
32. Легойда Ю.В.; Кравченко О.В. автоматизована іот система управління насосної станції водопостачання селища теплик. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2024, 2: 73-87.
33. Proksch E. pH in nature, humans and skin. *The Journal of dermatology*, 2018, 45.9: 1044-1052.
34. Zhang X.; Yang P.; Lu B. Artificial intelligence in soil management: The new frontier of smart agriculture. *Advances in Resources Research*, 2024, 4.2: 231-251.

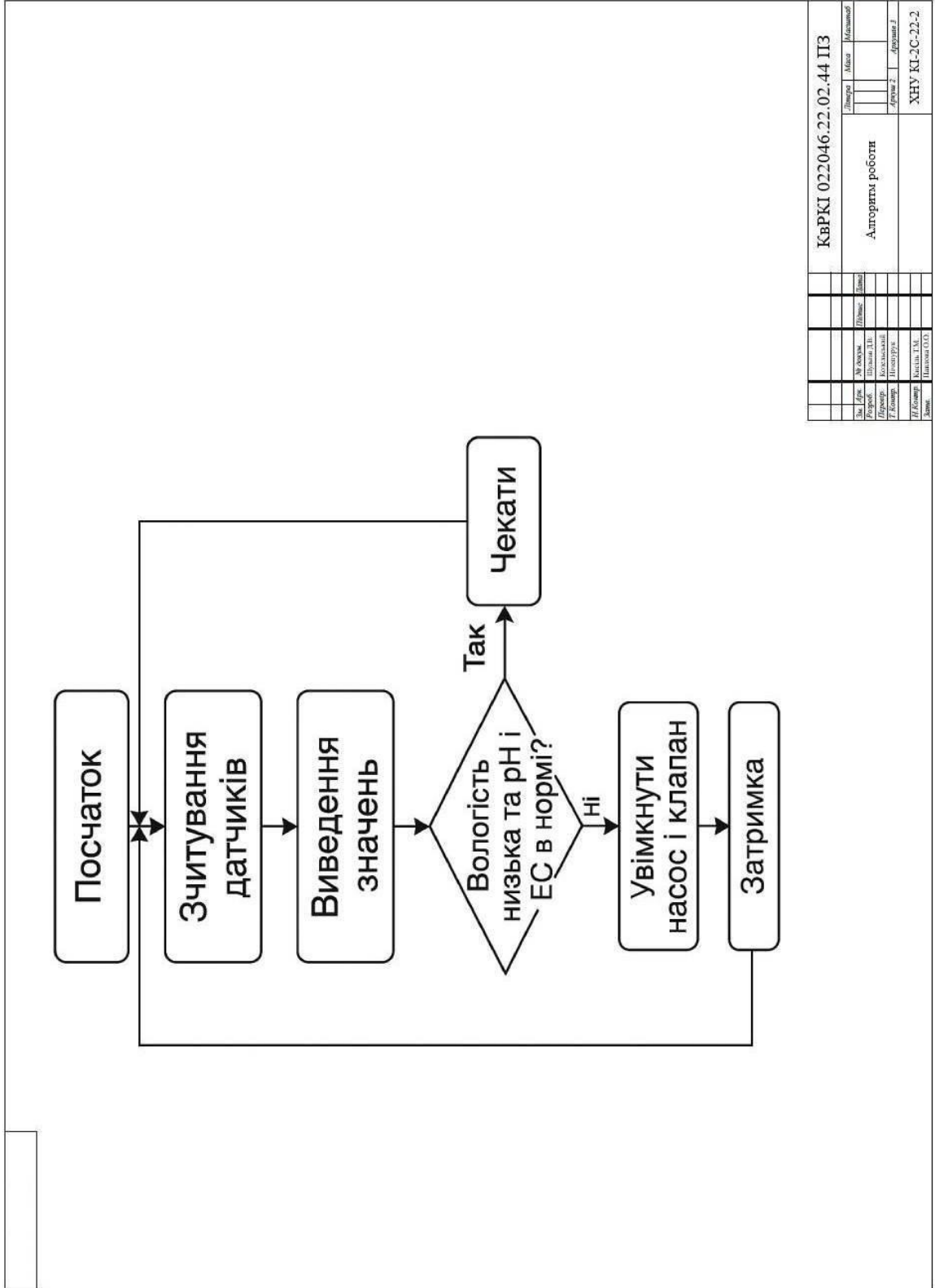
					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

35. Xi L., et al. Novel materials for urban farming. *Advanced Materials*, 2022, 34.25: 2105009.
36. Dietz W., et al. Understanding integer overflow in C/C++. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 2015, 25.1: 1-29.
37. Fezari M.; Al Dahoud A. Integrated development environment “IDE” for Arduino. *WSN applications*, 2018, 11: 1-12.
38. Калетнік Г.М. Крапельне зрошення як інноваційний фактор забезпечення високих врожаїв. *Економіка АПК*, 2014, 1: 65-74.
39. Ковальов М.М.; Звездун О.М.; Михайлова Д. Порівняння ефективності вирощування розсади *Thladiantha Dubia* у ґрунтовому середовищі і гідропонних системах. Водні біоресурси та аквакультура: науковий журнал. *Видавничий дім «Гельветика»*, 2020, 20-28.
40. Cosentino V.; Luis J.; Cabot J. Findings from GitHub: methods, datasets and limitations. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Mining Software Repositories*. 2016. p. 137-141.
41. Arduino, Store Arduino. Arduino. *Arduino LLC*, 2015, 372.
42. Upton E.; Halfacree G. *Raspberry Pi user guide*. John Wiley & Sons, 2016.
43. Coley G. Beaglebone black system reference manual. *Texas Instruments, Dallas*, 2013, 5: 2013.
44. Mathew R.C. Pedestrian Detecting Energy Generator. *IJESC*. 2021. P. 28727-28734

					КВРКІ. 022046.22.02.44 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Додаток В
(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АЛГОРИТМ РОБОТИ»



КВРКІ 022046.22.02.44 ПЗ		Листопад	Місяць	Місяць	Місяць
Алгоритм роботи		Листопад	Листопад	Листопад	Листопад
Зм. №	Зм. №	Зм. №	Зм. №	Зм. №	Зм. №
Розроб.	Програма	Програма	Програма	Програма	Програма
Р. Бондар	Програма	Програма	Програма	Програма	Програма
М. Бондар	Програма	Програма	Програма	Програма	Програма
Зав.	Програма	Програма	Програма	Програма	Програма

Додаток В

(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ПРОГРАМНИЙ КОД ПЗ»

```
// Підключення бібліотек (за потреби)
#include <ESP8266WiFi.h>

// Визначення пінів
const int moistureSensorPin = A0;      // Датчик вологості ґрунту
const int phSensorPin = A1;           // Датчик рН
const int ecSensorPin = A2;           // Датчик ЕС
const int pumpPin = D1;                // Насос
const int valvePin = D2;              // Електроклапан

// Порогові значення
const int moistureThreshold = 400;    // Порогове значення вологості
const float phMin = 5.5;               // Мінімальне значення рН
const float phMax = 7.0;               // Максимальне значення рН
const float ecMax = 2.5;               // Максимальна ЕС (в мСм/см)

// Налаштування
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(pumpPin, OUTPUT);
    pinMode(valvePin, OUTPUT);
    digitalWrite(pumpPin, LOW);
    digitalWrite(valvePin, LOW);
}

// Основний цикл
void loop() {
    int moistureValue = analogRead(moistureSensorPin);
    int phValueRaw = analogRead(phSensorPin);
    int ecValueRaw = analogRead(ecSensorPin);

    // Перетворення сирих даних у умовні реальні значення
    float phValue = map(phValueRaw, 0, 1023, 0, 14);           // Приблизно рН від
0 до 14
    float ecValue = (ecValueRaw / 1023.0) * 5.0;              // Умовно ЕС (в
Вольтах, далі в мСм/см)
```

```
// Виведення значень у серійний монітор
Serial.print("Вологість: ");
Serial.print(moistureValue);
Serial.print(" | pH: ");
Serial.print(phValue);
Serial.print(" | EC: ");
Serial.println(ecValue);

// Прийняття рішення
if (moistureValue > moistureThreshold && phValue >= phMin && phValue <=
phMax && ecValue <= ecMax) {
    digitalWrite(pumpPin, HIGH);
    digitalWrite(valvePin, HIGH);
    delay(5000); // Полив протягом 5 секунд
    digitalWrite(pumpPin, LOW);
    digitalWrite(valvePin, LOW);
}

delay(10000); // Очікування між циклами 10 сек
}
```

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Денис ШУЛЬГАН

Співавтор:

Назва: Шулъган_Підсистема подачі поживних речовин системи водопостачання домашньої теплиці на базі платформи Arduino

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 2.6%

Коефіцієнт подібності 2: 0.8%

Мікропробіли: 4

Заміна букв: 2

Інтервали: 0

Білі знаки: 0 **Дата створення звіту:** 2025-06-09 06:50:17.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-09

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 7%

ID: 244137 Title: Підсистема подачі поживних речовин через систему водопостачання домашньої теплиці на базі платформи arduino Added in a DB: 2025-06-09 Authors: Денис ШУЛЬГАН Heads: Олександр КОЗЕЛЬСЬКИЙ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	98987	671	1135 (1%)	18 (3%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Шульган Денис Вікторович

Тема: Підсистема подачі поживних речовин системи водопостачання домашньої теплиці на базі платформи Arduino

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 61

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень:

Метою кваліфікаційної роботи є створення автоматизованої підсистеми для подачі поживних речовин у домашній теплиці з використанням платформи Arduino. У роботі реалізовано систему з набором датчиків вологості ґрунту, рН та електропровідності, яка керує насосом та електромагнітним клапаном. Алгоритми на мікроконтролері дозволяють здійснювати контроль параметрів середовища та запускати полив у відповідь на зміну значень сенсорів. Програмна частина реалізована на Arduino IDE. Розроблена схема є масштабованою, доступною для домашнього використання та готовою до подальшого розширення функціоналу.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню:

Робота повністю відповідає поставленому завданню, охоплює всі заплановані функціональні блоки, включає апаратну та програмну частини і містить експериментальне підтвердження працездатності розробленої системи.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи:

У першому розділі проведено аналіз існуючих рішень у галузі автоматизованого поливу, зокрема на основі платформ Arduino та Raspberry Pi. Розглянуто сучасні датчики, модулі та способи живлення систем. У другому розділі детально описано архітектуру підсистеми, обґрунтовано вибір компонентів, представлено принципову та монтажну схеми, алгоритм роботи і програмне забезпечення. У третьому розділі описано процес реалізації апаратної частини,

налагодження, тестування та аналіз результатів. В роботі використано сучасні мікроконтролерні рішення та методи структурного проектування систем реального часу.

4. Позитивні сторони роботи:

Система проста в реалізації, ефективна в роботі, містить практичні алгоритми контролю вологісних і хімічних параметрів середовища. Вона доступна для повторного впровадження та є перспективною для удосконалення.

5. Негативні сторони роботи:

Потребує детальнішого обґрунтування точності перетворення аналогових значень рН та ЕС. Не реалізована функція збереження історії вимірювань.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

Пояснювальна записка оформлена відповідно до встановлених стандартів. Графічні матеріали подані чітко, логічно і з достатнім рівнем деталізації.

7. Відгук про роботу в цілому:

Кваліфікаційна робота виконана на достатньому науково-технічному рівні, має практичне значення і демонструє самостійність та фахову підготовку студента.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

доцент кафедри ТІЗ Ішине О.М.

16 06 2025 р.

(підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Дениса ШУЛЬГАНА

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

08.06 2025 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Підсистема подачі поживних речовин системи водопостачання домашньої теплиці на базі платформи Arduino

Автор: Денис Шульган

Спеціальність: 123- Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Олександр Козельський

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) Запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи.;
 - 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
 - 3) Окремі збіги представлені загальноживаними фразами, наприклад: «на рисунку зображено», «загальна структура системи», «висновки до розділу» тощо.
 - 4) Якість запозичень відповідає технічним особливостям дослідження: виявлено збіги в кодах, формулах і термінах, які є вихідними даними до великої кількості задач і не можуть вважатися авторськими порушеннями.
 - 5) Система зафіксувала технічні модифікації тексту, зокрема: заміну окремих символів, скорочення індексів у формулах, зміну розміщення символів. Це є наслідком форматування або експорту документа, а не цілеспрямованого уникнення перевірки.
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3.4% і адресується до 27 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС




О. КОЗЕЛЬСЬКИЙ

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА