

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ІЛЬКІВ Роман Андрійович

Автоматизована система підготовки розчинів поживних речовин для систем гідропоніки/ Automated system for preparation of nutrient solutions for hydroponics systems

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ - 41
Р.А. Ільків

Науковий керівник
к.т.н., О.М.Заставний

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

« ____ » _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2025

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ” 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ІЛЬКІВУ Роману Андрійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизована система підготовки розчинів поживних речовин для систем гідропоніки/ Automated system for preparation of nutrient solutions for hydroponics systems

керівник роботи к.т.н., Заставний О.М.

затверджені наказом по університету від 28.11.2024р №938

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи: 10.05.2025р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Обладнання для дозування поживних розчинів для систем гідропоніки

2. Сенсори та виконавчі механізми систем гідропоніки

3. Засоби керування технологічними процесами

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз систем дозування поживних розчинів для рослин

2. Розроблення системи дозування поживних розчинів

3. Розроблення модуля керування дозування поживного розчину

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема роботи теплиці на основі гідропоніки

2. Структурна схема системи дозування поживних речовин

3. Блок схема алгоритму роботи контролера дозування поживного розчину

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Заставний О.М.		
2	Заставний О.М.		
3	Заставний О.М.		

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем дозування поживних розчинів для рослин	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Розроблення системи дозування поживних розчинів	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Розроблення модуля керування дозування поживного розчину	04.2025р. – 05.2025р.	
4.	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2025р. – 10.05.2025	

Студент

(підпис)

Ільків Р.А.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., Заставний О.М.

АНОТАЦІЯ

Ільків Р.А. Автоматизована система підготовки розчинів поживних речовин для систем гідропоніки. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У роботі проведено аналіз сучасних автоматизованих систем поливу та внесення добрив, зокрема їх архітектури, принципів роботи та способів взаємодії з сенсорами та виконавчими пристроями. На основі аналізу сформовано технічне завдання та спроектовано програмне забезпечення контролера системи автоматичного керування поливом і внесенням добрив.

У процесі проектування розроблено функціональну структуру програми, що включає обмін даними з датчиками температури та електропровідності, керування виконавчими механізмами через розширювачі портів, а також збереження конфігурацій.

Запропоноване рішення є гнучким, адаптованим до розширення функціоналу, що дозволяє його використання в умовах різної складності та масштабу сільськогосподарських об'єктів.

ANNOTATION

Ilkiv R.A. Automated system for preparation of nutrient solutions for hydroponics systems. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Bachelor'» with the title 151 Automation and Computer-Integrated Technologies. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The study presents an analysis of modern automated irrigation and fertilization systems, focusing on their architecture, operating principles, and interaction methods with sensors and actuators. Based on the analysis, a technical specification was developed, followed by the design of controller software for an automatic irrigation and fertilization control system.

During the design process, a functional program structure was created, incorporating data exchange with temperature and electrical conductivity sensors, control of actuators via port expanders, and configuration storage.

The proposed solution is flexible and scalable, making it suitable for use in agricultural facilities of various levels of complexity and scale.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ДОЗУВАННЯ ПОЖИВНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ РОСЛИН	12
1.1 Системи дозування поживних розчинів.....	12
1.2 Переваги автоматичного дозування розчинів.....	18
1.3 Постановка задачі.....	20
2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ ПОЖИВНИХ РОЗЧИНІВ	22
2.1 Структурна схема роботи обладнання теплиці в системі гідропоніки.....	22
2.2 Розроблення структурної схеми системи дозування поживних розчинів.....	24
2.3 Вибір обладнання	26
2.4 Розроблення алгоритму роботи системи дозування поживних розчинів.....	37
3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯ ПОЖИВНОГО РОЗЧИНУ	40
3.1 Розроблення щита керування системи дозування поживного розчину	40
3.2 Розроблення НМІ інтерфейсу	42
3.3 Розроблення програмного забезпечення контролера	46
ВИСНОВКИ	48
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТОК А	51

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ									
Розроб		Ільків Р.А			Автоматизована система підготовки розчинів поживних речовин для систем гідропоніки/ Automated system for preparation of nutrient solutions for hydroponics systems				Літ.		Арк.	Аркушів		
Перевірив		Заставний О.												
Консульт		Заставний О.							ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41					
Н.Контроль		Заставний О.												
Затвердив		Сегін А.І.												

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасне сільське господарство стоїть перед низкою глобальних викликів, серед яких зростання населення, зміна клімату, деградація ґрунтів та обмежені водні ресурси. У цих умовах гідропоніка - метод вирощування рослин без ґрунту на поживних розчинах - набуває все більшого значення як альтернатива традиційному землеробству. Однак процес приготування та дозування поживних розчинів потребує високої точності і є трудомістким при ручному управлінні. Розробка автоматизованої системи підготовки розчинів стає критично важливою для підвищення ефективності гідропонного виробництва.

Гідропонні технології дозволяють вирощувати рослини без використання ґрунту, забезпечуючи їх усіма необхідними поживними речовинами через спеціально підготовлений розчин. Однак процес приготування та підтримки оптимального складу таких розчинів є надзвичайно важливим і водночас складним завданням. Ручне приготування та контроль поживних розчинів потребують значного часу, кваліфікованого персоналу і не завжди забезпечують необхідну точність. Саме тому розробка автоматизованої системи підготовки розчинів стає критично важливою для подальшого розвитку гідропоніки.

Важливість та актуальність такої системи обумовлена кількома ключовими факторами. По-перше, автоматизація процесу дозування поживних речовин дозволяє досягти кращої точності у підтримці оптимального складу розчину. Ручне змішування компонентів неминуче призводить до певних похибок, що може негативно впливати на ріст і розвиток рослин. Автоматизована система усуває цей недолік, забезпечуючи ідеально точні пропорції кожного елемента в будь-який момент часу.

По-друге, така система значно підвищує ефективність використання ресурсів. Завдяки точному дозуванню усувається надмірна витрата добрив, що є особливо важливим у світі, де ресурси стають дедалі обмеженішими. Крім

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

того, автоматизований контроль дозволяє мінімізувати втрати води, яка в гідропонних системах циркулює у замкнутому циклі. Це відкриває нові можливості для сільського господарства в регіонах з обмеженими водними ресурсами.

Третім важливим аспектом є можливість динамічної адаптації складу розчину до потреб конкретних культур на різних стадіях їх розвитку. Автоматизована система може враховувати численні фактори: від виду рослини та її віку до зовнішніх умов навколишнього середовища. Такий підхід дозволяє створювати ідеальні умови для росту кожної окремої культури, що в кінцевому підсумку позитивно позначається на урожайності та якості продукції.

Особливу актуальність автоматизовані системи набувають у контексті розвитку вертикального фермерства та міського сільського господарства. У містах, де вільні землі відсутні або дорого коштують, компактні гідропонні установки з автоматизованим приготуванням розчинів стають ідеальним рішенням для локального виробництва свіжих овочів та зелені. При цьому такі системи дозволяють мінімізувати транспортні витрати та пов'язані з ними викиди вуглекислого газу, що робить їх важливим елементом сталого розвитку.

Інтеграція сучасних технологій, таких як IoT та машинне навчання, відкриває додаткові перспективи для вдосконалення автоматизованих систем. Вони дозволяють не лише контролювати поточний стан розчину, але й прогнозувати необхідні зміни на основі аналізу великих масивів даних. Це створює передумови для розвитку по-справжньому "розумних" гідропонних систем, здатних самостійно оптимізувати всі параметри для отримання максимального врожаю.

Таким чином, розробка автоматизованої системи підготовки розчинів поживних речовин для гідропоніки є вкрай актуальним завданням, яке відповідає основним тенденціям розвитку сучасного сільського господарства. Вона поєднує в собі потреби у підвищенні продуктивності, оптимізації використання ресурсів, забезпеченні стабільної якості продукції та розвитку сталих методів виробництва. Впровадження таких систем відкриває нові

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

горизонти для забезпечення продовольчої безпеки в умовах швидкозмінного світу.

Мета роботи. Розробка автоматизованого контролера для точного дозування поживних розчинів (А та Б) та керування поливом у гідропонній системі. Система має забезпечувати:

- автоматичний контроль електропровідності (ЕС) розчину за допомогою сенсорів;
- енергоефективне керування циркуляційною помпою;
- локальний моніторинг через сенсорний дисплей;
- віддалене керування та візуалізацію даних через MQTT-протокол.

Предметом дослідження. Процеси автоматизованого дозування поживних речовин, контроль параметрів розчину (ЕС) та оптимізація енергоспоживання циркуляційної помпи в гідропонних системах. Досліджується інтеграція апаратних (контролер, насоси, сенсори) та програмних (алгоритми регулювання, MQTT) рішень для підвищення точності та ефективності системи.

Об'єкт дослідження. Гідропонна система з:

- двома дозуючими насосами для розчинів А та Б;
- сенсором ЕС для аналізу концентрації поживних речовин;
- циркуляційною помпою з керованим енергоспоживанням;
- сенсорним дисплеєм для локального керування;
- MQTT-клієнтом для зв'язку з сервером моніторингу.

Методи дослідження.

Аналітичні: Вивчення наукових джерел щодо оптимальних параметрів поживних розчинів для різних культур.

Експериментальні:

- Тестування точності дозування насосів при різних режимах роботи;
- Калібрування сенсора ЕС та перевірка його стабільності;
- Вимірювання енергоефективності системи при різних алгоритмах керування помпою.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

Програмні:

- Розробка алгоритмів PID-регулювання для підтримки заданого рівня ЕС;
- Реалізація MQTT-клієнта для передачі даних на сервер (наприклад, Node-RED або Home Assistant).

Апаратні:

- Проєктування схеми підключення компонентів до контролера;
- Оптимізація енергоспоживання за рахунок періодичної активації помпи.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблений автоматизований контролер на базі ESP32 для гідропонних систем має значний практичний потенціал для сучасного сільського господарства та точного землеробства. Отримані результати дослідження відкривають нові можливості для оптимізації процесів вирощування рослин у безґрунтових умовах.

Для гідропонного виробництва система пропонує конкретні економічні переваги. Автоматизоване точне дозування поживних розчинів дозволяє суттєво зменшити витрати на добрива - на 15-20% порівняно з традиційними методами ручного дозування. Водночас система забезпечує оптимальний баланс поживних речовин у розчині, що безпосередньо впливає на якість та кількість врожаю. Енергоефективні алгоритми керування циркуляційною помпою дозволяють додатково знизити витрати електроенергії на 25-30%, що особливо важливо для комерційних гідропонних господарств, які працюють у режимі 24/7.

Важливим практичним результатом є створення універсальної платформи для моніторингу та керування гідропонними системами. Використання сенсорного дисплею та MQTT-протоколу забезпечує зручний інтерфейс як для локального керування, так і для віддаленого моніторингу через інтернет. Це особливо цінно для великих господарств, де потрібно одночасно контролювати кілька гідропонних установок.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

Для наукових досліджень розробка пропонує нові підходи до автоматизації гідропонних систем. Отримані дані про ефективність PID-регулювання концентрації поживних розчинів можуть стати основою для подальших досліджень у галузі точного землеробства. Впроваджені алгоритми керування насосами та помпами демонструють новий підхід до енергозбереження в агротехнічних системах.

Розробка має особливе значення для розвитку малих фермерських господарств та городництва в міських умовах. Компактність та відносно низька вартість системи на базі ESP32 робить її доступною для широкого кола споживачів. Це сприятиме популяризації гідропонних технологій серед малих виробників сільськогосподарської продукції.

Отримані результати також мають значення для розвитку IoT-рішень в агропромисловому секторі. Розроблена архітектура системи може бути адаптована для інших завдань точного землеробства, таких як автоматизоване керування мікрокліматом у теплицях або моніторинг стану ґрунту в традиційному землеробстві.

Таким чином, практичне значення роботи полягає не лише у безпосередній реалізації конкретної системи керування гідропонною установкою, але й у створенні передумов для подальшого розвитку автоматизованих рішень у сільському господарстві, що поєднують енергоефективність, точність керування та доступність для різних категорій виробників.

Апробація. Лисик М.А. 1, Ільків Р.А.1 Заставний О.М. Автоматизована система підготовки розчинів поживних речовин для систем гідропоніки. – Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ-2025), Тернопіль, 2025. – 92-95с.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ДОЗУВАННЯ ПОЖИВНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ РОСЛИН

1.1 Системи дозування поживних розчинів

Системи дозування поживних розчинів є ключовим елементом сучасного рослинництва, особливо в умовах закритого ґрунту, вертикального землеробства та гідропоніки. Від точності та ефективності дозування залежить здоров'я рослин, їх ріст, врожайність та економічна доцільність усього агропроцесу. В таблиці 1.1 наведено порівняльний аналіз видів систем дозування.

Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз видів систем дозування

Тип системи	Принцип роботи	Точність	Вартість	Підходить для:
Гравітаційні	Потік розчину під дією сили тяжіння	Низька	Дуже низька	Невеликі теплиці, домашнє вирощування
Інжекторні (пропорційні)	Змішування концентрату з водою у фіксованій пропорції	Середня	Середня	Малий та середній бізнес
Автоматизовані дозуючі	Електронне регулювання за ЕС/рН	Висока	Висока	Промислове вирощування
ІоТ-системи нового покоління	Розумне дозування на основі датчиків та аналітики	Дуже висока	Висока	Інноваційні агропроекти, дослідні центри

На рисунку 1.1 наведено приклад системи дозування поживних розчинів компанії Prosystem Aqua.

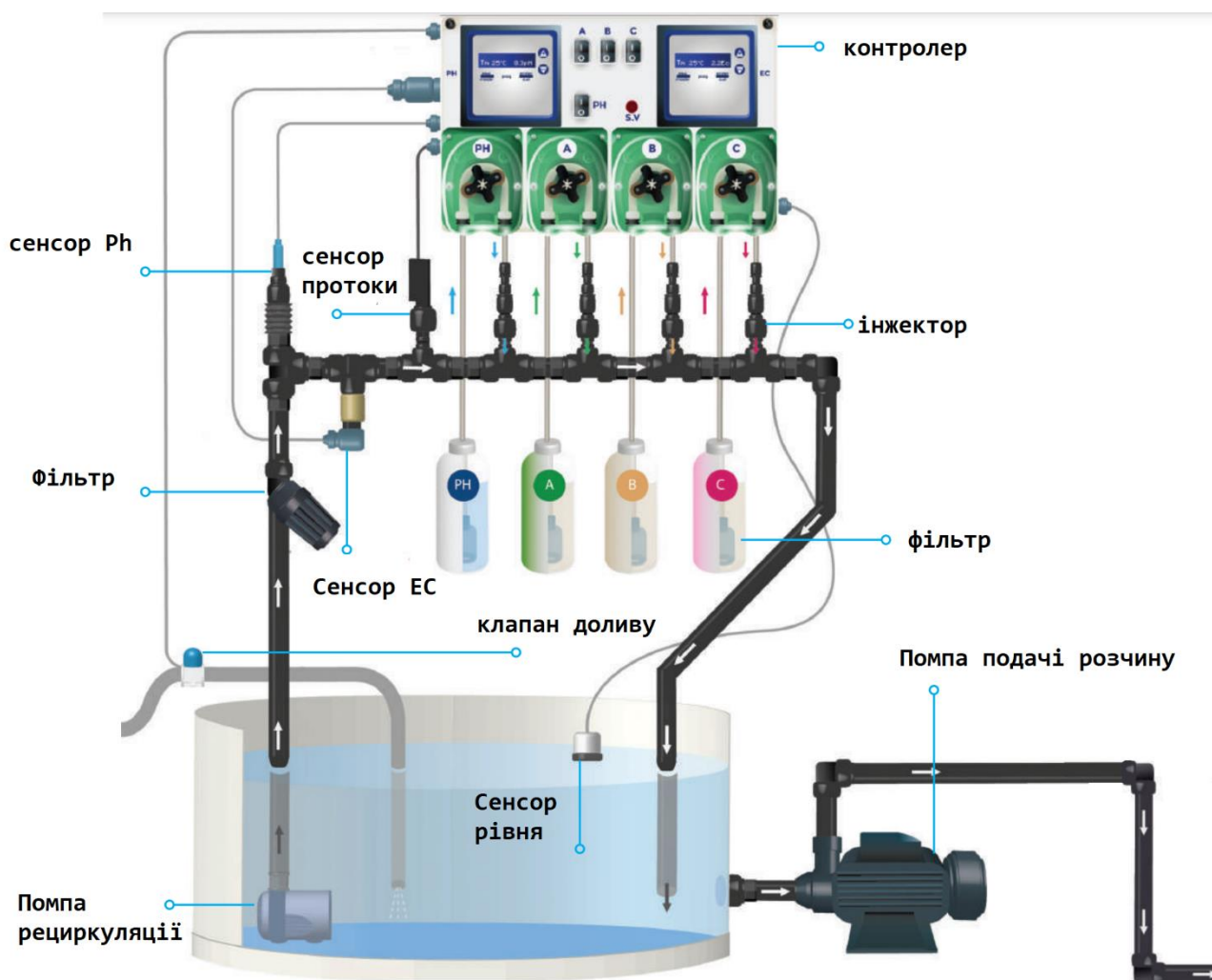


Рисунок 1.1 – Система дозування поживних розчинів компанії Prosystem Aqua

Контролер поживних речовин Hydroponic System (компанії Prosystem Aqua) — це автоматична система фертигації, ідеальна для всіх типів культур. Вона здатний вносити різні види добрив разом через три насоси, А, В і С, і четвертий насос для регулювання рН води в баку. Кожен насос є незалежним та пропорційно регулюється, з витратою 0-7 л/год.

Він містить показання температури, що вказуються на дисплеї Ес. З додаткових елементів: автоматичне наповнення водою за допомогою сенсора рівня, який активує електромагнітний клапан для наповнення водою.

Застосування: гідропоніка, аквапоніка, посівні грядки, вертикальні сади, домашні сади, садові центри, акваріуми, вирощувальні магазини, фармацевтичні препарати... Будь-які установки, де потрібне регулювання Ес та рН води.

У коробці міститься (рисунок 1.2): пластиковий колектор для рециркуляції води, зонд рН, зонд ЕС з датчиком температури, з'єднувальний кабель ЕС-соди, фільтр для забруднень, швидкі з'єднувачі для шлангів, пляшка для калібрування рН 7 на 50 мл, пляшка для калібрування рН 4 на 50 мл, саше для калібрування 20 мл 1430 мс. Інжектори, фільтри, всмоктувальні та нагнітальні трубки для резервуарів для поживних речовин і рН.



Рисунок 1.2 – Комплектація контролера Hydroponic System

На рисунку 1.3 наведено контролер Hydroponic System, та описано функціональне призначення його елементів. Як видно з рисунку він має кілька перестальтичних pomp, які можуть дозовано вливати потрібний концентрат в інжектори, зазвичай використовується два типи розчинів А і В.

У гідропоніці часто використовують три окремі концентровані розчини — А, В і С — для живлення рослин. Їх розділення зумовлене як хімічними, так і практичними міркуваннями.

Розчин А зазвичай містить кальцій (Ca^{2+}) і залізо (найчастіше у формі хелатів). Ці елементи відіграють важливу роль у формуванні клітинних стінок, рості рослини та процесах фотосинтезу.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Розчин В включає в себе інші макроелементи, такі як калій (K^+), магній (Mg^{2+}), сульфати та фосфати, а також деякі мікроелементи. Вони необхідні для енергетичного обміну, розвитку кореневої системи та інших фізіологічних процесів.

Розчин С (іноді присутній як окремий компонент) містить або мікроелементи в стабільній формі, або виконує роль буфера для регулювання рН живильного розчину.

Основна причина розділення цих речовин — хімічна несумісність деяких елементів у концентрованому вигляді. Наприклад, при змішуванні кальцію (з розчину А) з фосфатами або сульфатами (з розчину В) утворюються нерозчинні солі (наприклад, кальцій сульфат або кальцій фосфат), які випадають в осад. Це не лише знижує ефективність живлення, а й може призвести до забивання трубок і форсунок у системі.

Крім того, розділення дозволяє краще зберігати розчини, уникати осаду під час зберігання, а також точніше дозувати потрібні елементи залежно від фази росту рослин.

Перед подачею у гідропонну систему розчини А, В і С зазвичай розводять окремо у воді, а потім змішують у спільному резервуарі або за допомогою дозувальної системи.

Такий підхід забезпечує стабільність живильного розчину, ефективне засвоєння елементів рослинами та довготривалу безперебійну роботу всієї системи.

Кожна з дозуючих pomp має регулятор витрати, що дозволяє встановлювати різні пропорції подачі компонентів. А також в деяких системах контролю поживних розчинів використовується нормалізація кислотності, зазвичай додають кислоту. Проте оскільки сенсор рН зазвичай має обмежений термін служби та потребує регулярної калібровки, тому не дотримання регулярного контролю роботи даного сенсора, може практично знищити урожай, тому цей метод дозування зазвичай використовується професійних

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

системах дозування де регулярно проводиться калібрування сенсорів та перевірка їх працездатності.

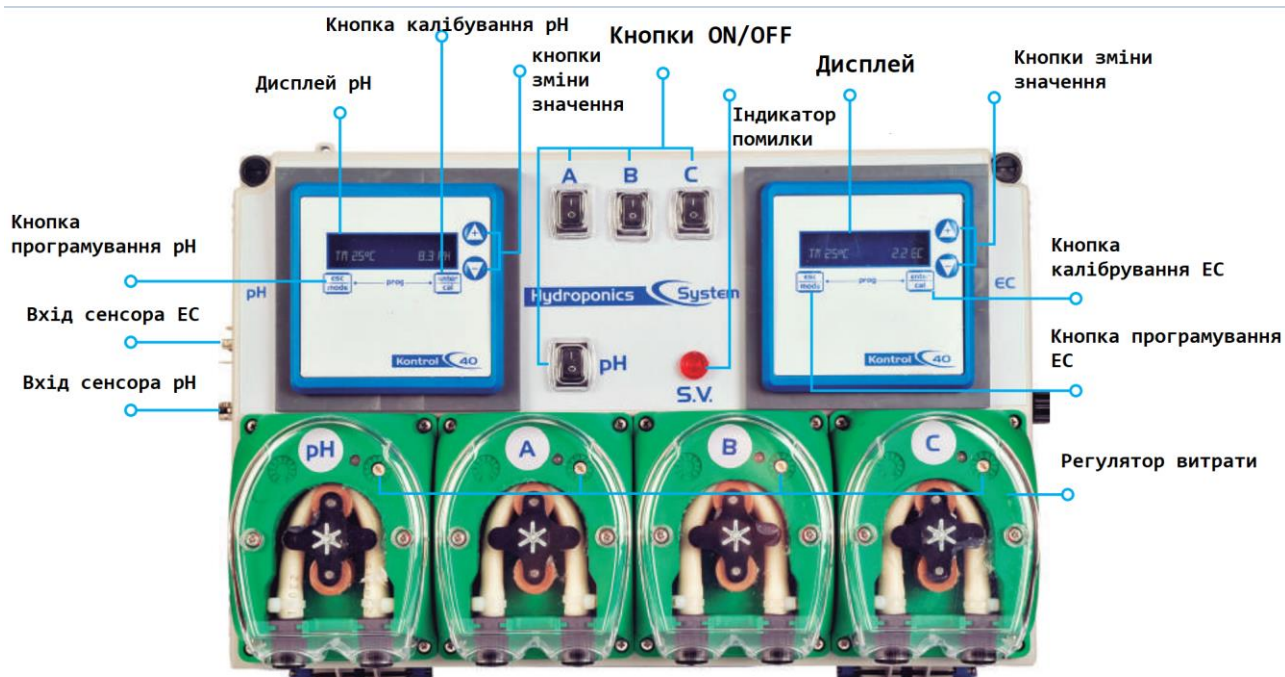


Рисунок 1.3 – Контролер Hydroponic System та функціональне призначення елементів

Більшість культур мають дуже різні потреби в поживних речовинах протягом свого життєвого циклу, вимагаючи порівняно мало на стадії щойно висаджених рослин і значно більше, коли рослини дозрівають і плодоносять/цвітуть. Період максимального попиту слід враховувати під час вибору насосної системи.

У рециркуляційних системах, таких як затоплення та дренаж, аеропоніка тощо, насоси зазвичай повинні лише замінювати поживні речовини, що використовуються культурою в системі вирощування. Часто резервуар дозується вручну до потрібного рівня під час першого приготування або заміни розчину, а система дозування підтримує рівні лише тоді, коли культура видаляє поживні речовини та змінює рівень pH. Це дозволяє використовувати меншу насосну систему.

Потреба в поживних речовинах також зазвичай досягає піку в яскравішу, теплішу частину дня, тому розмір насоса повинен бути здатним задовольнити

період максимальної добової потреби. Розгляд лише 24-годинне споживання поживних речовин, не розуміючи, що 80% цього, можливо, потрібно буде подати за 4 години в яскравішу, теплішу частину дня, може призвести до вибору менших насосів, які потім будуть намагатися підтримувати необхідний рівень в середині дня.

У деяких системах періодичного використання або в системах крапельного зливу потреби відрізняються. Встановлену кількість поживних речовин може знадобитися швидко приготувати перед наступною подачею. Це може вимагати більших насосів, які можуть подавати поживні речовини набагато швидше, використовуючи більший час дозування та мінімальний час простою, але все ж достатній для забезпечення гарного змішування між дозами. Визначальними факторами тут є кількість необхідної поживної речовини та швидкість, з якою вона має бути готова. Швидкість, необхідна для дозування в резервуарі, може диктувати необхідність використання більших насосів.

Ще одним фактором, який слід враховувати, є концентрація розчину поживних речовин. Комерційні розчини поживних речовин часто готуються приблизно у співвідношенні 1 частина кожного розчину на 100 частин поживного розчину. Тому, якщо потрібно 1000 літрів розчину поживних речовин, то з кожного насоса в резервуар потрібно перекачати приблизно 10 літрів розчину, тому вимоги до розміру насоса можна визначити на основі цього. Якщо використовувати розчини інших концентрацій, необхідно розрахувати необхідні кількості та відповідно скоригувати вимоги до насоса.

При пакетному дозуванні може знадобитися більше коригування рН, особливо якщо вода у водопроводі містить багато розчинених мінералів. Може знадобитися значне початкове коригування, а не незначні зміни, спричинені рослинами. Як правило, якщо поживні насоси та насоси для регулювання рН мають однаковий розмір, проблем із продуктивністю не виникне. Регулятор рН можна розбавити до дуже низьких рівнів, щоб він відповідав розміру насоса більшого розміру, якщо необхідно, а 5-10% розчин (наприклад) набагато

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

безпечніший у використанні та зберіганні, ніж більш концентровані кислоти, і набагато менше пошкоджує трубки насоса.

Якщо у вас є досвід роботи з цільовою культурою, її розміром та системою вирощування, а також ви знаєте, скільки поживних речовин зазвичай потрібно, це можна використовувати для визначення розміру насосної системи.

На рисунку 1.4 наведено зовнішній вигляд системи дозування Bluelab® PeriPods™.



Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд системи дозування Bluelab® PeriPods™

1.2 Переваги автоматичного дозування розчинів

Автоматичне дозування живильних розчинів у гідропоніці має низку суттєвих переваг, які значно підвищують ефективність вирощування та знижують потребу в постійному ручному контролі. Найочевидніша з них — це економія часу: автоматична система бере на себе постійний моніторинг і коригування рівнів рН, електропровідності (ЕС), температури та концентрації поживних речовин. Але переваги цим не обмежуються.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

По-перше, автоматизація дозволяє зменшити витрати на робочу силу. Багато виробників витрачають 15–30 хвилин щодня на перевірку та корекцію параметрів системи — це до 2–3 годин на тиждень. Початківці можуть витрачати ще більше часу, особливо поки не освоять особливості живлення культур. Автоматична система усуває потребу в щоденному ручному втручанні, вивільняючи час для інших завдань.

По-друге, вона допомагає уникати помилок, пов'язаних із надмірним коригуванням. Люди часто схильні «перевиправляти» показники, наприклад, додаючи занадто багато коригувальної речовини. Це викликає нестабільність і потребу в подальших виправленнях. Автоматична система працює поступово й точно, стабілізуючи умови без різких коливань, що сприяє здоровішому росту рослин.

По-третє, автоматичне дозування захищає рослини від шоків змін середовища. Різка заміна води або неправильне дозування може призвести до зміни осмотичного балансу, що викликає стрес або навіть втрату врожаю. Наприклад, при щотижневому зливів води та додаванні свіжого розчину змінюється концентрація, і рослини можуть поглинати надто розведений розчин, що провокує «осмотичне затоплення». Автоматична система запобігає цьому, поступово додаючи воду або поживні речовини в міру потреби, підтримуючи стабільність.

По-четверте, така система надає фермеру більше свободи. При постійній необхідності стежити за параметрами системи вручну, фермер змушений бути на місці щодня. Автоматизація дозволяє залишити господарство на день-два без ризику для рослин. Це також спрощує передачу догляду за фермою іншим особам у разі відсутності.

Крім того, автоматичне дозування сприяє зниженню витрат завдяки меншій потребі у скиданні розчину. Постійне та точне підживлення дозволяє уникати перевитрат поживних речовин і мінімізувати відходи. У підсумку — здоровіші рослини, кращий врожай і стабільніший процес вирощування.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.3 Постановка задачі

Провівши аналіз існуючих технічних рішень у сфері автоматизації гідропонних систем у промислових теплицях, можна зробити висновок, що більшість доступних рішень є дорогими, складними в обслуговуванні та нерідко вимагають втручання кваліфікованого персоналу або спеціалістів компаній-виробників. Це ускладнює експлуатацію систем у віддалених регіонах та підвищує витрати на підтримку працездатності обладнання.

Зважаючи на зростання попиту на енергоефективні, надійні та гнучкі системи керування для вирощування рослин у гідропонних умовах, актуальною є задача розробки системи дозування поживного розчину, яка б базувалась на доступних і стандартизованих компонентах промислової автоматики, мала чітку логіку роботи та зручний інтерфейс керування.

Метою розробки є створення автоматизованої системи керування дозуванням поживного розчину для гідропонної теплиці, що забезпечує:

- точне регулювання концентрації поживного розчину на основі вимірювання електропровідності (ЕС);
- дозування двох концентратів (розчинів А і В);
- контроль рівня води в баку ємністю 20 м³ (висота 2,5 м) з використанням датчика з аналоговим виходом 4–20 мА;
- автоматичне доливання осмотичної води при зниженні рівня;
- керування насосами подачі розчину в теплиці відповідно до режиму роботи для економії електроенергії.

Для реалізації поставленої задачі необхідно:

- розробити систему керування з панеллю оператора на базі 4-дюймового сенсорного дисплея (480x480 пікселів);
- забезпечити візуалізацію поточних значень ЕС, стану датчика рівня, режиму роботи та стану насосів;
- передбачити індикацію нормального режиму (зелена лампа) та аварійного стану (червона лампа);

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- реалізувати ручне керування насосами дозування А і В за допомогою кнопок (для запуску або після заміни розчинів);
- передбачити перемикач для вибору між ручним та автоматичним режимами роботи;
- забезпечити захист від помилок дозування, перегріву насосів, а також попередження про низький рівень води;
- можливість розширення системи для віддаленого моніторингу та керування.

Система має бути надійною, простою в обслуговуванні та масштабованою з урахуванням особливостей великих тепличних господарств.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ ПОЖИВНИХ РОЗЧИНІВ

2.1 Структурна схема роботи обладнання теплиці в системі гідропоніки

У сучасній гідропонній теплиці весь процес вирощування рослин забезпечується інтегрованою автоматизованою системою, яка складається з трьох основних модулів: системи водопідготовки, осмотичної установки та системи дозування поживних речовин. Їхня узгоджена робота гарантує стабільне забезпечення рослин чистою водою з оптимальною концентрацією поживних елементів. На рисунку 2.1 наведена структурна схема роботи теплиці на основі гідропоніки.

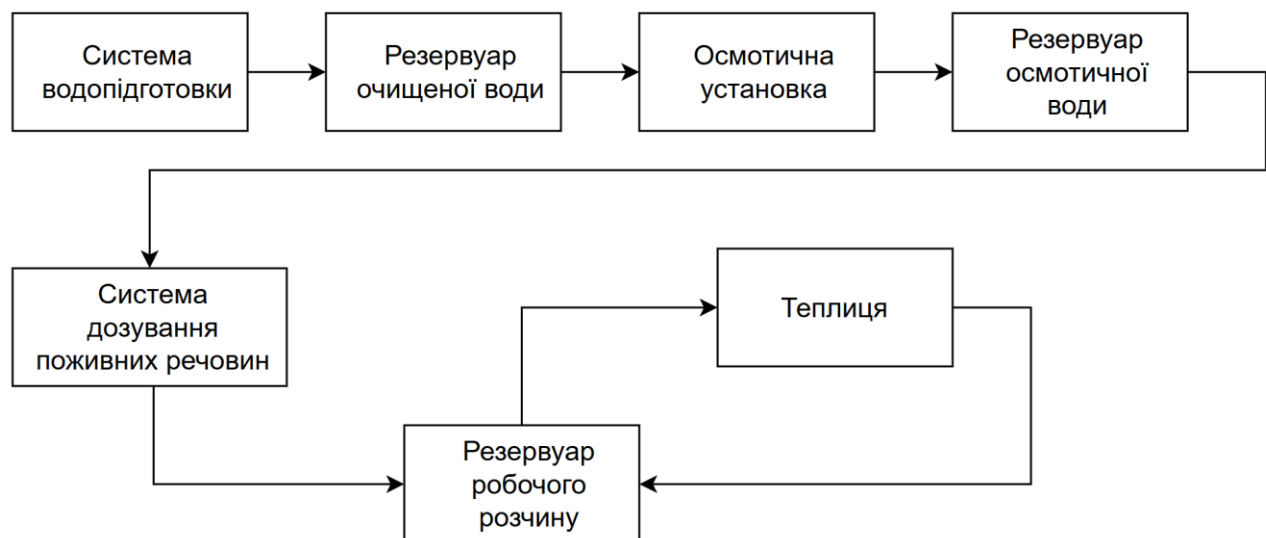


Рисунок 2.1 - Структурна схема роботи теплиці на основі гідропоніки

На початковому етапі водопостачання вода надходить із джерела (централізоване водопостачання, свердловина або накопичувальний резервуар) у блок попередньої водопідготовки. Тут відбувається механічне очищення від піску та бруду, а також, за необхідності, первинна фільтрація для зниження жорсткості або вмісту хлору.

Метою цієї системи є зменшення навантаження на осмотичну установку та продовження ресурсу її роботи.

Після попередньої фільтрації вода подається до осмотичної установки, яка виконує тонке очищення методом зворотного осмосу. Завдяки цьому процесу з води видаляються солі, мінерали, бактерії та інші домішки, що можуть негативно впливати на ріст рослин або спричинити дисбаланс поживного розчину.

Очищена осмотична вода накопичується у спеціальній ємності великого об'єму, з якої вона використовується для подальшого приготування поживного розчину. Рівень води в цій ємності постійно контролюється, і за потреби запускається осмотична установка для приготування осмотичної води, оскільки це доволі тривалий процес, то є потреба підтримувати певну кількість осмотичної води в необхідному об'ємі який в разі потреби можна долити в робочий резервуар.

Після очищення вода надходить у робочий змішувальний резервуар, де до неї додаються концентровані розчини мінеральних добрив — розчин А та розчин В. Дозування здійснюється автоматично за допомогою насосів, керованих контролером на основі показників електропровідності (ЕС), яку вимірює цифровий ЕС-метр у реальному часі.

Мета дозування — підтримка стабільної концентрації поживних речовин відповідно до потреб рослин на поточній стадії росту. У разі зниження або перевищення заданого рівня ЕС система в автоматичному режимі додає або воду (для розведення), або добриво (для підвищення концентрації).

Уся система керується з центральної панелі керування, що включає 4-дюймовий сенсорний дисплей, який відображає основні параметри: рівень ЕС, рівень води, стан насосів та сигнали тривоги. Користувач може обирати між ручним та автоматичним режимами роботи за допомогою перемикача.

Також передбачені кнопки ручного увімкнення насосів А і В для підкачування концентратів після їх заміни або при запуску системи. Червоний та зелений індикатори інформують оператора про аварійний стан або нормальну роботу відповідно.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Готовий поживний розчин подається в зрошувальну систему теплиці через мережу трубопроводів. Робота насосів подачі розчину оптимізується з урахуванням режиму споживання, часу доби та з метою економії електроенергії. У разі потреби система може забезпечити зональне живлення окремих ділянок теплиці.

2.2 Розроблення структурної схеми системи дозування поживних розчинів

Модуль керування дозуванням поживного розчину покликаний забезпечити точне та автоматизоване приготування оптимальної суміші для живлення рослин у гідропонних системах. Він призначений для автоматичного контролю та регулювання концентрації поживних речовин шляхом точного дозування компонентів А та Б з подальшим моніторингом електропровідності (ЕС) отриманого розчину.

Основне завдання модуля полягає у підтримці стабільного рівня живлення рослин, що досягається завдяки:

- автоматичному визначенню необхідних пропорцій поживних компонентів;
- плавному коригуванні складу розчину відповідно до показників сенсорів;
- запобіганню як дефіциту, так і надлишку мінеральних речовин;
- забезпеченню рівномірного розподілу поживних елементів у водному середовищі.

Крім того, модуль повинен забезпечувати можливість дистанційного керування та налаштування параметрів через інтерфейс сенсорного дисплея або мережеве з'єднання, що значно підвищує зручність експлуатації системи. Його робота спрямована на максимізацію ефективності вирощування сільськогосподарських культур при мінімізації витрат ресурсів та енергії.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Для забезпечення виконання даних вимог можна зобразити наступну структурну схему системи дозування поживних розчинів, яка наведена на рисунку 2.1.

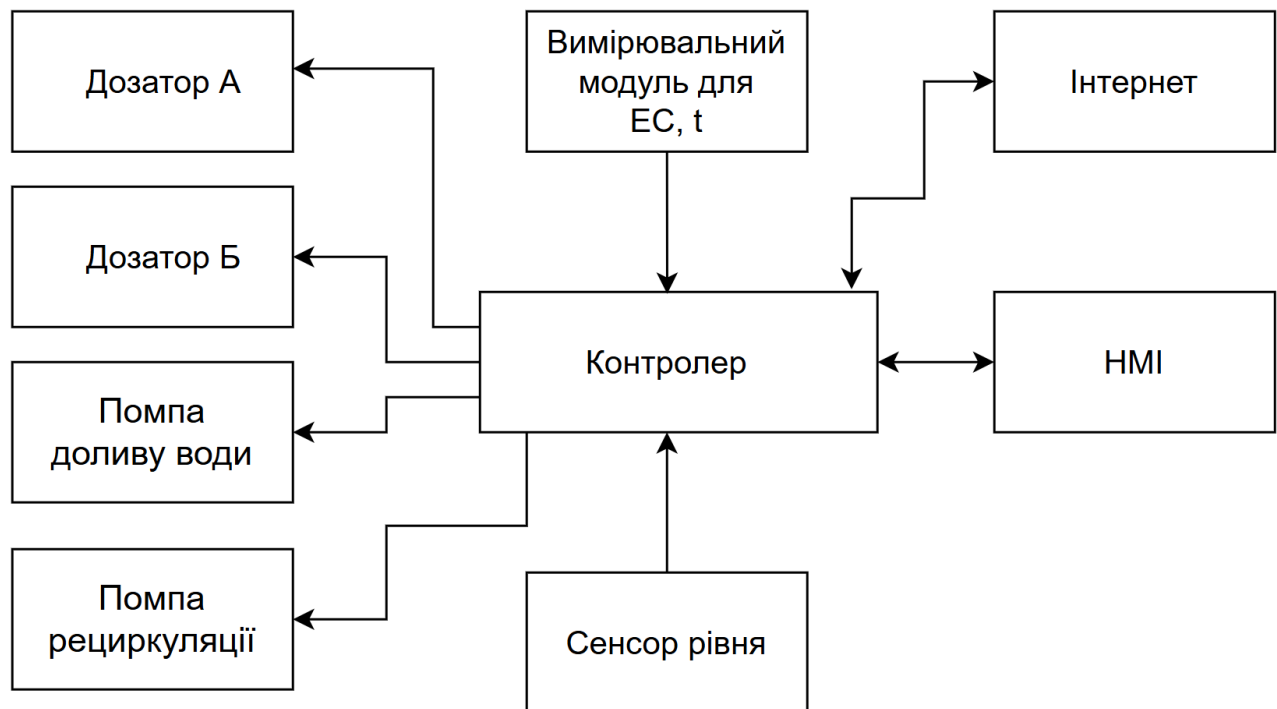


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи дозування поживних речовин

В даній структурній схемі виділено 9 основних компонентів системи дозування поживних речовин.

За керування роботою даної системи відповідає контролер, який містить необхідні модулі та інтерфейси для роботи з іншими модулями даної системи. Сюди входять транзисторні виходи з гальванічною розв'язкою, цифрові входи з гальванічною розв'язкою, аналогові входи для підключення пристроїв 4-20мА та 0-5В, а також інтерфейси RS485, Ethernet.

Набір даних інтерфейсів та засобів вводу виводу дозволяє отримувати необхідні дані та керувати необхідним обладнанням.

За допомогою вимірювального модуля ЕС та температури, а також сенсора рівня, отримується необхідна інформація про концентрацію розчину та його рівень, що знаючи об'єм резервуару та ЕС води що доливається, а це зазвичай осмотична вода дозволяє доволі точного розрахувати необхідне

дозування концентрату, що дозволяє за невелику кількість ітерацій отримати необхідну концентрацію розчину.

За допомогою дозуючих pomp додається потрібна кількість концентратів, зазвичай їх розводять до такого рівня, що розчини А і В дозуються пропорційно. При завеликій концентрації є можливість додати осмотичну воду, що відповідно знизити концентрацію розчину, а також при низькому рівні розчину також додається осмотична вода та потрібні пропорції концентрату.

Циркуляційна pompa призначена для обміну розчину з гідропонічною теплицею, можливість керування даною pomпою дозволяє керувати обміном розчину між рециркуляцією, якщо теплиці запущені не повну потужність.

НМІ - призначений для виводу інформації про поточний стан системи, виконання налаштувань роботи системи та виконання тестування системи.

Вихід в інтернет призначений для виводу інформації про стан роботи системи та її керуванням, а також дозволяє оновлювати програмне забезпечення даної системи, що особливо зручно, якщо сама теплиця розташована віддалено.

Сенсор рівня дозволяє свідкувати за рівнем розчину в резервуарі та наповнювати його до необхідного рівня.

2.3 Вибір обладнання

Для побудови системи дозування поживних речовин необхідно вибрати наступні компоненти:

- контролер;
- модуль НМІ;
- дозуючі помпи;
- рециркуляційну помпу;
- цифровий ЕС метр;

та необхідне супутнє обладнання:

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

- блок живлення;
- пускачі;
- твердотільні реле;
- кнопки;
- сигнальні лампи та ін.

В якості головного контролера вибрано контролер Kincony

У якості головного контролера для реалізації автоматизованої системи дозування поживного розчину, а також керування водоподачею в промисловій теплиці обрано контролер Kincony KC868-A16. Це універсальний програмований пристрій на базі ESP32, який забезпечує достатню кількість входів/виходів, підтримку цифрових та аналогових сигналів, а також можливість інтеграції з сенсорами та актуаторами різних типів. Його вибір обґрунтований технічними характеристиками, відкритістю програмного забезпечення та широкими можливостями конфігурації. Зовнішній вигляд плати даного контролера та призначення його елементів наведено на рисунку 2.3.

Контролер KC868-A16 має 16 релейних виходів, що дозволяє одночасно керувати усіма ключовими виконавчими пристроями системи: насосами дозування розчинів А і В, насосом доливу осмотичної води, насосами подачі води в теплиці тощо. Також передбачена підтримка аналогових входів типу 0–5 В або 4–20 мА, що дає змогу під'єднати датчик рівня води в накопичувальному резервуарі. Крім того, завдяки підтримці цифрових інтерфейсів (RS485, I²C, UART, Ethernet), можливе підключення ЕС-метра, сенсорного дисплея та інших периферійних пристроїв.

Однією з ключових переваг є гнучке програмування на мовах високого рівня, зокрема через платформу Arduino або ESPHome, що дає можливість легко адаптувати контролер під конкретні потреби теплиці. Водночас відкритість системи дає змогу реалізувати віддалений моніторинг, журналювання параметрів і віддалене керування через локальну мережу або інтернет.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

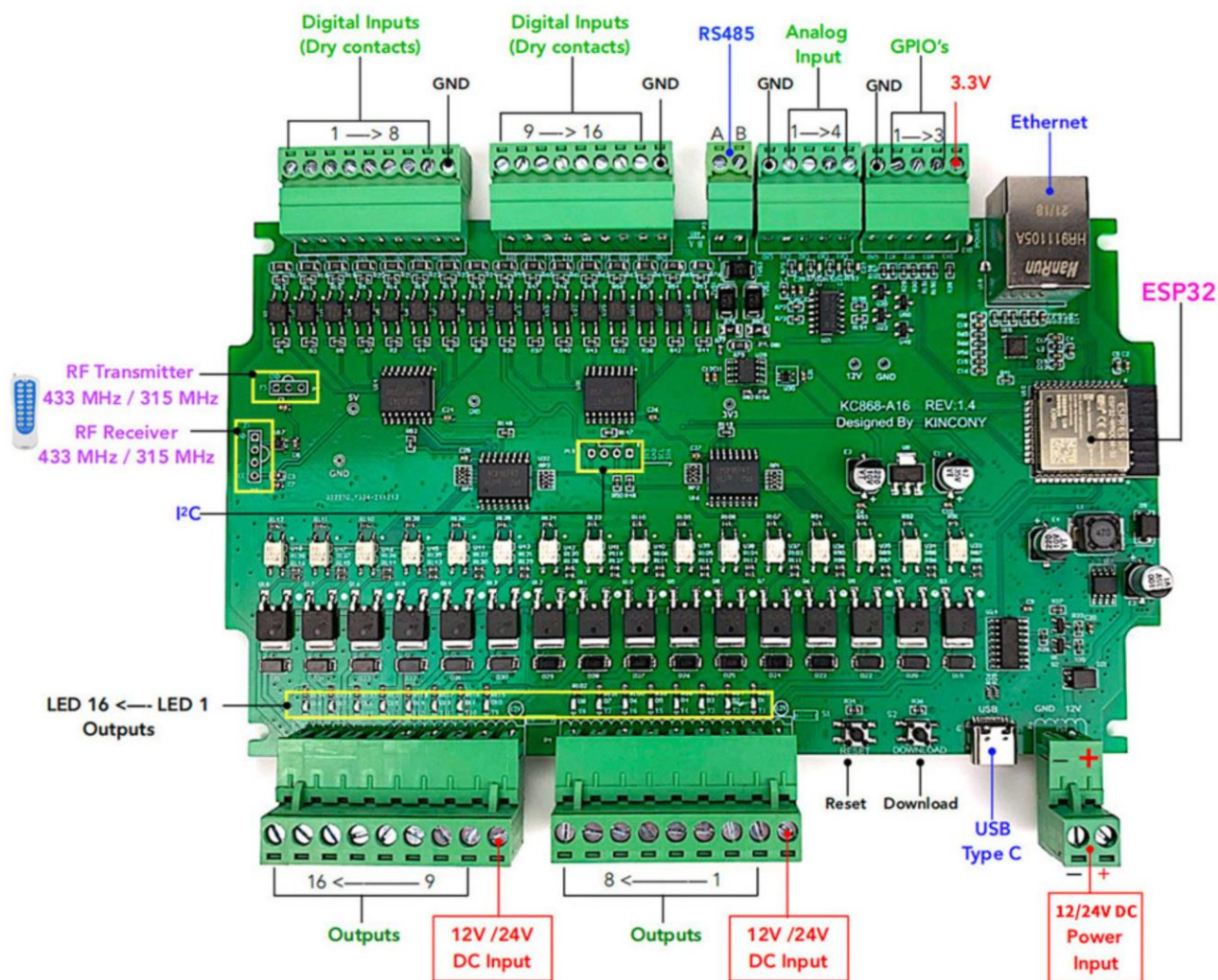


Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд плати контролера Kincony KC868-A16 та призначення його елементів

Таким чином, Kincony KC868-A16 є оптимальним вибором як центральний контролер для побудови надійної, масштабованої та доступної за ціною системи автоматичного дозування поживних речовин і керування водним режимом теплиці.

Для вимірювання показників ЕС вибрано контролер ЕС TDS-600M. У складі системи контролю параметрів поживного розчину особливе значення має точне й надійне вимірювання електропровідності (ЕС), яка є ключовим показником концентрації поживних речовин у гідропоніці. Для реалізації цього завдання обрано контролер ЕС TDS-600M, який підтримує цифровий інтерфейс

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

RS485, що дозволяє інтегрувати його в промислову автоматизовану систему з високою надійністю.

Інтерфейс RS485 забезпечує стійкий до завад, довготривалий та стабільний зв'язок з головним контролером, навіть на великих відстанях у середовищах із підвищеним рівнем електричних завад, що типово для промислових об'єктів. Це дозволяє не лише передавати значення ЕС з високою точністю, але й отримувати інші параметри, такі як температура, та виконувати конфігурування пристрою через протокол Modbus RTU.

Контролер TDS-600M також оснащений цифровим дисплеєм, що дає змогу локально відображати показники ЕС у режимі реального часу, а також має зручну систему калібрування, що забезпечує точність вимірювань у різних умовах експлуатації. Зовнішній вигляд контролера TDS-600M наведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд контролера TDS-600M.

Таким чином, вибір ЕС-контролера TDS-600M з RS485 обумовлений його високою точністю, зручністю інтеграції через стандартний промисловий

					ДП.АКИТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

інтерфейс та надійною роботою в складних умовах, що робить його оптимальним рішенням для контролю якості поживного розчину в системі автоматизованої теплиці.

У системі гідропонної теплиці, яка функціонує в режимі рециркуляції поживного розчину, важливу роль відіграє забезпечення надійної та безперервної циркуляції рідини між резервуаром та кореневою зоною рослин. Для виконання цього завдання було обрано рециркуляційний насос Espa Multi 55 4 N, який поєднує високу продуктивність, енергоефективність та стійкість до агресивного середовища.

Насос Espa Multi 55 4 N є багатоступеневим центробіжним насосом з корпусом з нержавіючої сталі, що забезпечує довготривалу експлуатацію в умовах контакту з поживними розчинами, які можуть містити солі, мікроелементи та інші добавки. Його продуктивність дозволяє обслуговувати великі об'єми системи, включно з баком на 20 м³, зберігаючи стабільний тиск у системі подачі. Зовнішній вигляд даного насоса наведено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд насоса Espa Multi 55 4 N

Завдяки високому напору та ефективній гідравліці, насос забезпечує рівномірну подачу розчину до всіх частин теплиці, що є критичним для

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

підтримання однорідного середовища росту. Це сприяє рівномірному живленню рослин і зменшує ризик застою рідини або утворення осаду в трубопроводах.

Насос також добре інтегрується з системою автоматичного керування, оскільки може працювати в режимі керування через реле або частотний перетворювач, що відкриває можливості для економії електроенергії шляхом регулювання потужності в залежності від потреб системи.

Таким чином, Esra Multi 55 4 N є технічно обґрунтованим вибором для рециркуляційного контуру в гідропонній теплиці, забезпечуючи стабільну подачу поживного розчину, довговічність, низькі експлуатаційні витрати та сумісність із системами автоматизації.

У системі автоматизованого керування гідропонною теплицею важливим елементом є забезпечення інтуїтивного та зручного інтерфейсу користувача (НМІ) для відображення параметрів, керування насосами та моніторингу стану системи в реальному часі. Для цього завдання обрано модуль ESP32-S3 Development Board із 4-дюймовим сенсорним дисплеєм 480x480 пікселів та підтримкою RS485 (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 - ESP32-S3 Development Board із 4-дюймовим сенсорним дисплеєм 480x480 пікселів та підтримкою RS485.

Цей модуль поєднує у собі обчислювальну потужність мікроконтролера ESP32-S3, що має два ядра та підтримку Wi-Fi/Bluetooth, з яскравим сенсорним IPS-дисплеєм, що дозволяє реалізувати зручний графічний інтерфейс для оператора. На дисплеї можуть відображатися такі параметри, як поточне значення ЕС, стан дозаторів, рівень води у баку, аварійні повідомлення, а також елементи керування — кнопки, перемикачі режимів тощо.

Наявність апаратної підтримки RS485 у модулі дає змогу напряму обмінюватися даними з промисловими датчиками та контролерами через протокол Modbus RTU, зокрема з ЕС-метром, датчиком рівня води 4–20 мА через перетворювач, або з головним контролером системи на базі KC868-A16. Це суттєво спрощує інтеграцію та зменшує кількість проміжного обладнання.

Завдяки сенсорному управлінню, користувач може перемикати режими (ручний/автоматичний), запускати дозатори вручну, або переглядати історію аварій та показників. Програмне забезпечення для ESP32-S3 може бути розроблене у середовищах Arduino, LVGL або ESP-IDF, що надає широкі можливості для адаптації інтерфейсу під потреби конкретного об'єкта.

Таким чином, використання ESP32-S3 із сенсорним дисплеєм та інтерфейсом RS485 як HMI-панелі є економічно ефективним та функціонально гнучким рішенням, що забезпечує візуалізацію, локальне керування та комунікацію з іншими компонентами автоматизованої системи теплиці.

У системі автоматичного дозування поживних речовин для гідропонної теплиці обрано використання дозуючої помпи моделі 2203, що працює від напруги 12В. Це рішення є оптимальним для точного та контрольованого введення концентрованих розчинів А і В у головний резервуар з поживним розчином.

Помпа 2203 є мембранним насосом, що забезпечує стабільний потік рідини навіть при роботі в системах із невеликим тиском.

Живлення насоса 12 В робить його сумісним із системами на базі DC-електроживлення, що спрощує інтеграцію з акумуляторними або резервними джерелами живлення, підвищуючи надійність у разі збоїв мережі. Додатковою

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

перевагою є низьке енергоспоживання, що відповідає загальній стратегії енергоефективності теплиці. Зовнішній вигляд даної помпи наведено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 - Зовнішній вигляд помпи типу 2203

Насос легко керується від контролера КС868-А16 або подібної системи автоматизації, через реле або транзисторні ключі, що дає змогу точно дозувати потрібний об'єм розчину у потрібний час, наприклад, у відповідь на зміну рівня ЕС, виявлену ЕС-метром.

Таким чином, дозуюча помпа 2203 з вбудованим датчиком тиску є компактным, надійним і економічним рішенням для автоматичного дозування концентрованих компонентів поживного розчину, забезпечуючи високу

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

точність, захист від перевищення тиску та зручність інтеграції з системою керування.

У системі автоматизованого керування гідропонною теплицею для живлення основних компонентів обрано блок живлення LRS-350N2-12 виробництва MeanWell. Це надійний імпульсний джерело живлення потужністю до 350 Вт, яке забезпечує стабілізовану напругу 12 В при максимальному струмі до 29 А, що дозволяє одночасно жити кілька споживачів у системі.

Основними споживачами є:

- дозуючі насоси 12 В (наприклад, помпи моделі 2203);
- електромагнітні клапани;
- контролери або реле, що працюють на 12 В;
- індикатори та частина НМІ-обладнання.

Зовнішній вигляд даного модуля живлення наведено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд модуля живлення LRS-350N2-12.

Модель LRS-350N2-12 має широкий температурний діапазон роботи та захист від перевантаження, короткого замикання та перенапруги, що забезпечує високу надійність і безпечну експлуатацію в умовах вологого або змінного мікроклімату теплиці.

Окрім цього, даний блок живлення має регульований вихід (потенціометр на корпусі), що дозволяє незначно коригувати напругу (в межах $\sim 10\%$), у

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

випадках, коли потрібно компенсувати падіння напруги на довгих кабелях або адаптувати живлення для чутливого обладнання.

Таким чином, LRS-350N2-12 виступає центральним джерелом живлення постійного струму, забезпечуючи стабільну та енергоефективну роботу всіх низьковольтних компонентів системи автоматичного дозування та управління теплицею.

У системі автоматизації гідропонної теплиці контактор Hager ESC425 (230 В / 25 А, 4НВ) (рисунок 2.9) використовується для керування силовим навантаженням, зокрема для ввімкнення та вимкнення рециркуляційного насоса, осмотичної установки або інших потужних електроприладів, які працюють від змінного струму 230 В.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд контактора Hager ESC425

Цей контактор є чотириполюсним (4НВ), що дозволяє комутувати як однофазні, так і трифазні навантаження, або організувати резервні групи живлення, розділені по фазах. Номінальний струм 25 А забезпечує запас по навантаженню для більшості насосів, нагрівачів або виконавчих механізмів, що можуть бути залучені в роботі тепличної системи.

Завдяки компактній модульній конструкції, Hager ESC425 легко монтується в стандартному електрощиті на DIN-рейку, що відповідає вимогам до промислового монтажу. Контактор керується низьковольтним або автоматичним сигналом від контролера (наприклад, KC868-A16), який, у свою

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

чергу, приймає рішення на основі таймерів, датчиків рівня води, ЕС або температури.

Це дозволяє:

- вмикати рециркуляційний насос за графіком або в режимі реального часу;
- забезпечити автоматичне вимкнення навантаження в разі аварійної ситуації (через контролер);
- мінімізувати споживання електроенергії за рахунок гнучкого сценарного керування навантаженням.

Таким чином, контактор Hager ESC425 забезпечує надійне, безпечне та автоматизоване керування силовими елементами системи, підвищуючи ефективність і надійність експлуатації теплиці.

У системі автоматичного керування гідропонною теплицею твердотіле реле SSR-25DD використовується для керування постійним струмом (DC) з номінальним струмом до 25 А. Це реле забезпечує гальванічну розв'язку між низьковольтною логікою контролера та силовими колами постійного струму, такими як дозуючі помпи 12 В або електромагнітні клапани.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд SSR-25DD

Модель SSR-25DD має:

- вхідний діапазон керування: зазвичай 3–32 В DC (сумісний із виходами цифрових портів контролера);

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

- вихідний діапазон комутованої напруги: до 200 В DC;
- номінальний струм: до 25 А (залежно від охолодження).

Основні переваги використання SSR-25DD:

- Безшумне комутування (відсутність механічного клацання, на відміну від реле);
- Висока швидкість реагування, що дозволяє точно керувати подачею розчину або води;
- Відсутність механічного зносу, що забезпечує довготривалу надійність у системах із частими включеннями/вимкненнями;
- Компактність та простота монтажу на радіатор або металеву поверхню (для кращого відведення тепла).

У тепличній системі SSR-25DD може бути використане для керування дозуючими помпами моделі 2203 на 12 В, з високою точністю і стабільністю;

Таким чином, SSR-25DD є ключовим елементом у безпечному та точному керуванні низьковольтними навантаженнями постійного струму, забезпечуючи довговічність, безшумність і електробезпеку системи гідропонної теплиці.

2.4 Розроблення алгоритму роботи системи дозування поживних розчинів.

Алгоритм роботи системи дозування поживних речовин розроблено з урахуванням специфіки гідропонного вирощування культур у промислових теплицях, де необхідно забезпечити стабільні параметри поживного розчину, зокрема електропровідність (ЕС), а також підтримання необхідного рівня води в резервуарі. Основною метою алгоритму є автоматичне регулювання концентрації поживних речовин шляхом дозування розчинів А і В, а також долив осмотичної води при її зниженні.

Алгоритм базується на циклічному опитуванні сенсора ЕС (через контролер TDS-600M по RS485) та рівня води (через аналоговий сенсор з інтерфейсом 4–20 мА), та виконує наступні послідовні етапи:

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Моніторинг рівня води в 20-кубовій ємності. Якщо рівень падає нижче допустимого, активується осмотичний насос для поповнення води до досягнення необхідного рівня.

Зчитування значення ЕС з цифрового вимірювача (TDS-600M) і порівняння його з заданим цільовим діапазоном. Якщо значення нижче цільового, система переходить до етапу дозування.

Подача концентрованих розчинів А і В за допомогою дозуючих pomp (модель 2203, 12 В із вбудованим датчиком тиску) протягом визначеного часу, або до досягнення заданого приросту ЕС. Для уникнення перенасичення алгоритм передбачає затримки між імпульсами дозування, щоб дати можливість суміші рівномірно перемішатись у баку.

Повторна перевірка значення ЕС. У разі недосягнення цільового рівня – алгоритм продовжує корекцію; у разі перевищення – активується сигналізація аварії (червоний індикатор на панелі НМІ), та блокується подальше дозування.

У нормальному режимі (усі параметри в межах норми) світиться зелений індикатор, і система переходить у режим очікування з періодичним опитуванням датчиків.

Режим ручного керування активується перемикачем на панелі управління. У цьому режимі можливе примусове включення дозуючих pomp для підкачки розчинів при запуску чи обслуговуванні системи.

Керування насосом циркуляції (Espa Multi 55 4 N) здійснюється відповідно до графіка або при активації дозування для забезпечення перемішування розчину.

На рисунку 2.11 наведено блок-схему алгоритму роботи контролера дозування поживного розчину.

Алгоритм реалізований у контролері KC868-A16, який виконує опитування та керування всіма виконавчими пристроями. Інтерфейс користувача реалізовано на НМІ-панелі на базі ESP32-S3 із сенсорним 4" дисплеєм 480×480, який відображає поточні параметри, дозволяє вручну запускати компоненти та візуалізує стан системи.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

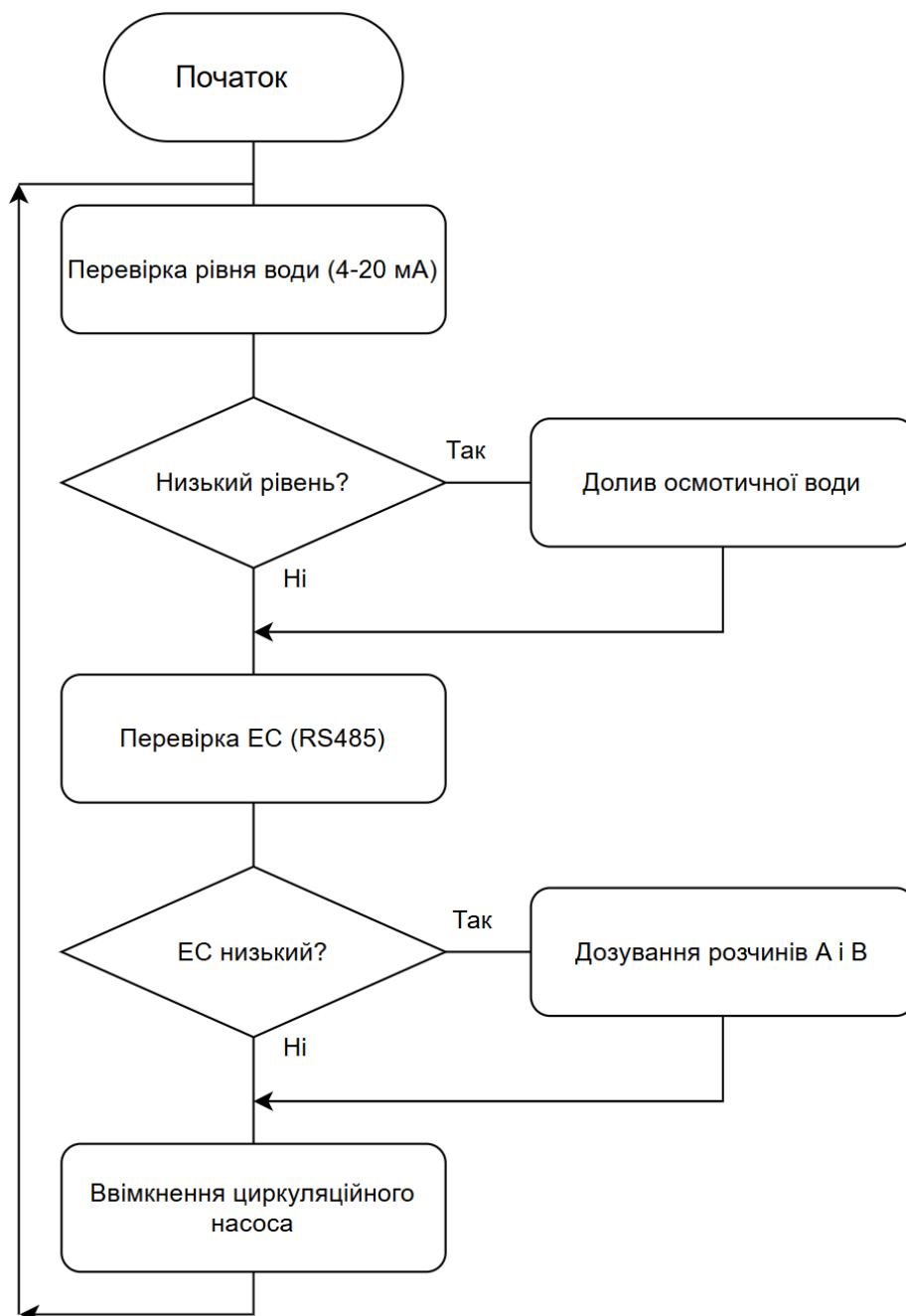


Рисунок 2.11 - блок-схема алгоритму роботи контролера дозування поживного розчину.

Такий підхід дозволяє досягти високої точності та стабільності роботи системи, мінімізувати втрати поживних речовин і води, а також забезпечити безперервний контроль та адаптивність до умов вирощування різних культур.

3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯ ПОЖИВНОГО РОЗЧИНУ

3.1 Розроблення щита керування системи дозування поживного розчину

Розроблення щита керування є одним із ключових етапів створення автоматизованої системи дозування поживного розчину для гідропонної теплиці. Основна мета цього етапу — забезпечити надійне, безпечне та зручне електротехнічне середовище для взаємодії всіх компонентів системи: контролерів, виконавчих пристроїв, сенсорів, модулів зв'язку та інтерфейсу користувача.

Щит керування складається зі стандартного металевого корпусу із захистом не нижче IP54, всередині якого змонтовані всі необхідні електронні й електротехнічні елементи. До його складу входить головний контролер системи (KC868-A16), який забезпечує логіку роботи всіх підсистем. Через шину RS485 до контролера підключено ЕС-метр (наприклад, TDS-600M), який забезпечує зчитування значення електропровідності розчину в режимі реального часу.

Живлення системи забезпечується імпульсним блоком живлення типу LRS-350N2-12, який перетворює мережеву напругу 230 В у стабілізовану напругу 12 В для живлення контролера, дозуючих насосів, дисплею HMI, реле та інших компонентів. В якості виконавчих пристроїв для дозуючих pomp використовуються твердотільні реле SSR-25DD та SSR-25DA які дозволяють безшумно й безіскрово керувати подачею живлення на 12В помпи, зокрема моделі 2203. Твердотільні реле SSR-25DA використовуються для керування пускачами з напругою керування 230В.

Для керування потужними пристроями, зокрема циркуляційним насосом (типу Espa Multi 55 4N), який працює від мережі 380 В, передбачено використання модульного контактора Hager ESC425.

Щит також включає комутаційні елементи (автоматичні вимикачі, запобіжники, клемники), сигнальні елементи (зелений та червоний світлодіодні

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

індикатори для візуального контролю режимів роботи), а також перемикач режимів "Автоматичний / Ручний" і кнопки примусового вмикання насосів А і В для обслуговування системи. Зовнішній вигляд щита керування наведено на рисунку 3.1.

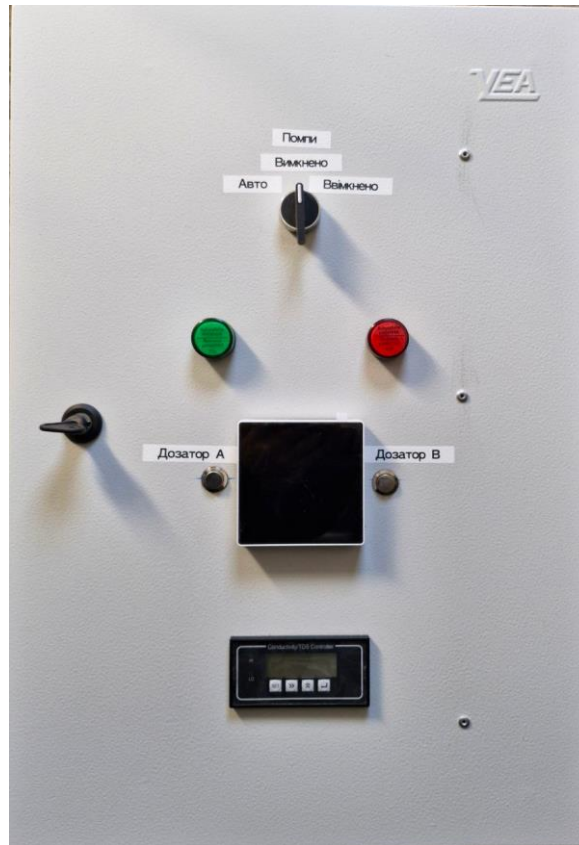


Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд щита керування

На передній панелі щита або окремій панелі встановлено сенсорний HMI-дисплей на базі ESP32-S3 із 4-дюймовим екраном (480x480), що забезпечує локальне керування, моніторинг параметрів та індикацію стану системи. Зв'язок між дисплеєм і контролером також реалізовано через RS485, що дозволяє досягти стабільної роботи навіть у зашумленому промисловому середовищі.

Таким чином, щит керування інтегрує в собі всі елементи управління, діагностики та живлення, необхідні для ефективного функціонування системи дозування поживних речовин, забезпечуючи зручність обслуговування, безпеку експлуатації та гнучкість масштабування системи в майбутньому.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вигляд змонтованих компонентів у щиті керування наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Вигляд змонтованих компонентів у щиті керування

3.2 Розроблення НМІ інтерфейсу

НМІ (Human-Machine Interface) інтерфейс є важливою складовою системи автоматичного дозування поживного розчину, оскільки забезпечує візуалізацію, моніторинг і керування всіма параметрами системи. Для реалізації інтерфейсу було використано сенсорний дисплей на базі ESP32-S3 із вбудованим 4-дюймовим екраном роздільною здатністю 480×480 пікселів, який підтримує зв'язок із головним контролером через інтерфейс RS485.

Основним завданням НМІ є надання оператору доступу до ключових функцій та стану системи в режимі реального часу. Інтерфейс дозволяє відображати поточні значення електропровідності (ЕС), температури, рівня води в резервуарі, а також статус роботи дозуючих pomp А і В. На головному

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

екрані передбачено індикатори аварій (червона лампа), нормального режиму (зелена лампа), а також візуальні повідомлення про критичні значення параметрів або збої у роботі системи.

НМІ інтерфейс також дає змогу оператору вручну запускати помпи для попередньої підкачки розчинів, перемикає режими роботи між автоматичним та ручним, а також задавати бажане значення ЕС, при досягненні якого система автоматично зупиняє дозування. Для зручності передбачено просте та інтуїтивно зрозуміле меню з великими кнопками, розрахованими на роботу в умовах теплиці, включаючи можливість керування в рукавицях.

На рисунку 3.3 наведено головне вікно візуалізації.

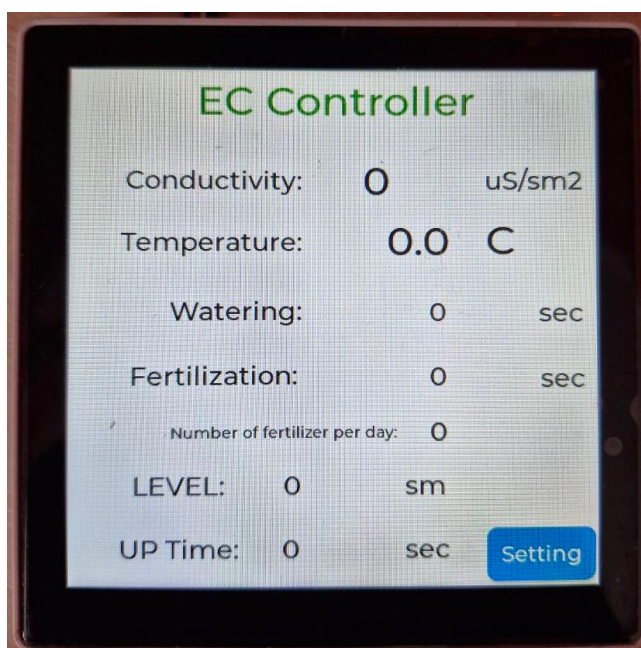


Рисунок 3.3 - Головне вікно візуалізації.

В даній візуалізації відображаються основні параметри стану системи такі як: електропровідність розчину; температура розчину; час поливу або період між поливами (зворотній таймер, в залежності від того який етап зараз виконується, якщо відбувається «полив», то відображається кількість секунд до завершення, якщо пауза між поливами, то кількість секунд до завершення паузи); час доливу концентратів (відображення аналогічно поливу), кількість доливів концентратів на добу (для запобігання перевищенню концентрацію

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

розчину, тобто при введенні установки в експлуатацію, будуть відомі ці кількості, які зазвичай залежать від об'єму розчину що перебуває в обігу); рівень розчину в резервуарі та час безперервної роботи.

Оскільки дані фотографії зроблені безпосередньо з модуля візуалізації в який головний контролер їх записує та зчитує відповідні налаштування, то зараз там відображені нулі, оскільки головний контролер не під'єднано.

Візуалізація блоку налаштувань наведено на рисунку 3.4.

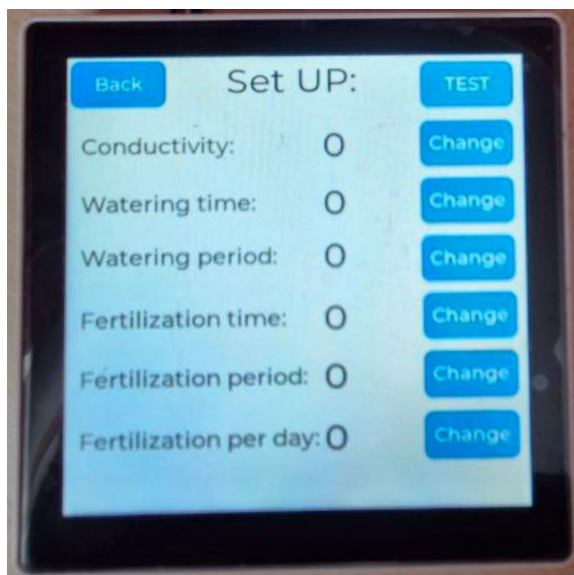


Рисунок 3.4 - Візуалізація блоку налаштувань

В даній візуалізації користувач може змінювати параметри підтримки розчину за необхідної провідності. Також задається час поливу або рециркуляції, період рециркуляції.

В цьому вікні налаштовується час внесення поживних речовин який задається в секундах і для маленьких теплиць може складати від 3-10 секунд до 30хв для великих (звичайно це залежить від об'єму подачі дозуючими помпами, в даному випадку дозуючі помпи подають по 3,6 літри концентрату за хвилину)

Також необхідно задати період між підживленнями, зазвичай він залежить від періоду перемішування розчину та кількість підживлень на добу.

На рисунку 3.5 наведено візуалізацію налаштування необхідного рівня провідності розчину.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

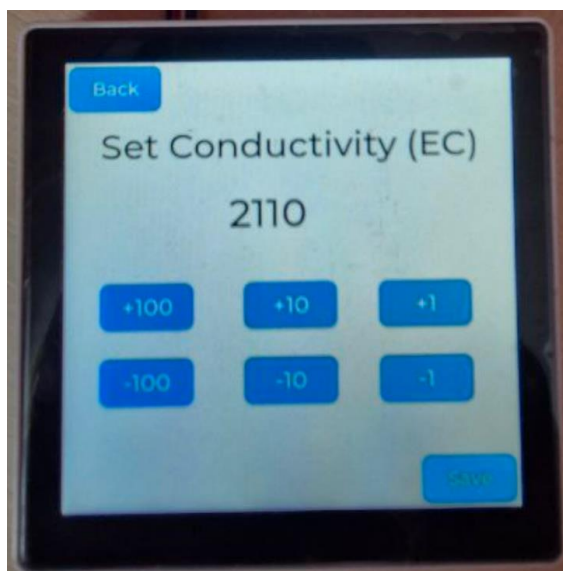


Рисунок 3.5 - Візуалізація налаштування необхідного рівня провідності розчину

Дана візуалізація дозволяє налаштувати потрібну провідність розчину за допомогою кнопок +/- 100, +/- 10, +/- 1. Та або зберегти відповідні налаштування за допомогою кнопки Save або повернутись назад за допомогою кнопки Back.

Інші налаштування зроблені в аналогічному стилі, наприклад візуалізації часу поливу чи рециркуляції (рисунок 3.6).

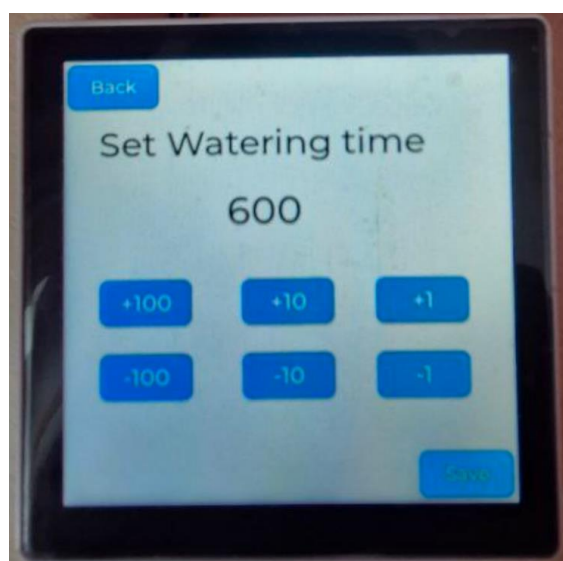


Рисунок 3.5 - Візуалізація налаштування часу поливу

Інші візуалізації зміни налаштувань виконані в аналогічному стилі, тому приводити їх немає змісту.

Слід звернути також увагу на меню тестування, яке призначене для технічного персоналу для перевірки роботи відповідних вузлів. Дана візуалізація наведена на рисунку 3.6.

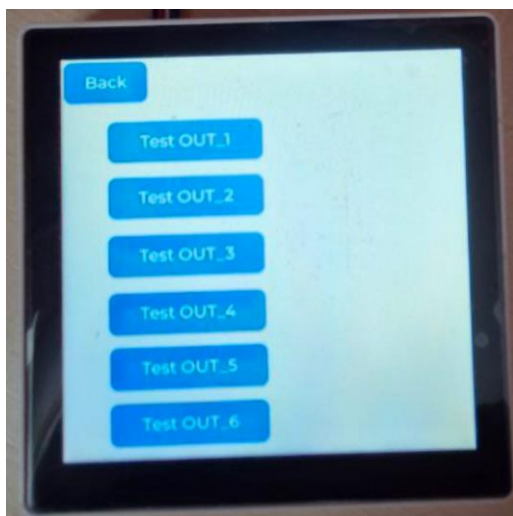


Рисунок 3.6 – Візуалізація тестування виконавчих вузлів

Інтерфейс побудовано з урахуванням ергономічних принципів — усі важливі параметри розміщені на видимій області екрана, а критичні елементи управління мають підтвердження дій для уникнення випадкових спрацювань.

Таким чином, розроблений НМІ інтерфейс забезпечує повноцінне управління всіма аспектами роботи системи дозування поживного розчину, спрощує обслуговування й дозволяє оперативно реагувати на зміни в роботі системи.

3.3 Розроблення програмного забезпечення контролера

Програмне забезпечення контролера було реалізоване з використанням редактора VS Code з використання модуля PlatformIO для мікроконтролера з підтримкою багатозадачності (FreeRTOS) та комунікаційних протоколів I²C і Modbus RTU. Основні завдання ПЗ полягають у зчитуванні параметрів

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

навколишнього середовища, збереженні налаштувань користувача, управлінні виконавчими пристроями та обміні даними з НМІ інтерфейсом і датчиками. Текст програми наведено в додатку А.

У програмі створено декілька паралельних задач: TaskAutoconnect, TaskModbus, TaskWebServer та TaskControll. Основна логіка реалізована в задачі TaskModbus, де контролер через інтерфейс RS-485 читає з зовнішнього пристрою значення електропровідності (ЕС) та температури води. Отримані значення конвертуються у формат float та передаються на НМІ для візуалізації. Окрім цього, через Modbus передаються й поточні налаштування поливу та добрив.

Для зберігання користувацьких налаштувань у незалежній пам'яті використовується EEPROM. У функціях store_settings() та read_settings() реалізовано механізми збереження і відновлення параметрів, таких як тривалість поливу, періодичність, тривалість дозування тощо. Це забезпечує стабільність роботи системи після перезапуску контролера.

Керування виконавчими пристроями (наприклад, клапанами чи насосами) реалізовано через розширювачі портів вводу/виводу PCF8574, які з'єднані по шині I²C. Контролер може вмикати або вимикати окремі лінії залежно від команд, що надходять з НМІ інтерфейсу.

Для зручності контролю часу роботи реалізовано змінну upTime, яка інкрементується щосекунди окремою задачею TaskControll. Це дозволяє вести облік часу для внутрішніх таймерів системи.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення забезпечує комплексну взаємодію між користувачем, виконавчими пристроями та сенсорами, а також підтримує налаштування і стабільну роботу автоматизованої системи поливу та внесення добрив.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній роботі розроблено програмне забезпечення для контролера системи автоматизованого керування поливом та внесенням добрив.

У процесі роботи проведено аналіз вимог до систем автоматичного поливу та внесення добрив, визначено основні функціональні блоки та сформовано технічне завдання до розроблюваної системи.

Розроблено архітектуру програмного забезпечення, яке реалізує взаємодію з датчиками та виконавчими механізмами через інтерфейси I2C та Modbus RTU (RS-485). Реалізовано обмін даними з електропровіднісним датчиком та термодатчиком, керування реле через розширювачі портів PCF8574, а також збереження та відновлення налаштувань у енергонезалежній пам'яті EEPROM. Для підвищення стабільності роботи системи програму реалізовано з використанням FreeRTOS.

Спроектоване програмне забезпечення може бути доповнене додатковим функціоналом відповідно до потреб користувача, оскільки реалізована архітектура дозволяє масштабування за рахунок розширення кількості периферійних пристроїв через наявні інтерфейси.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Юрійчук В. І. Системи керування у сільському господарстві : навч. посіб. / В. І. Юрійчук. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 164 с.
2. Шматко О. П. Основи проєктування систем автоматизованого управління : навч. посіб. / О. П. Шматко. – Дніпро : ДНУ, 2020. – 211 с.
3. Журавель В. С. Сенсорні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. / В. С. Журавель. – К. : НАУ, 2020. – 148 с.
4. Деркач В. М., Левченко І. С. Мікропроцесорні засоби та системи автоматизації : навч. посіб. / В. М. Деркач, І. С. Левченко. – Харків : ХНАДУ, 2019. – 232 с.
5. Ткаченко І. С. Інформаційні технології в агропромисловому комплексі : монографія / І. С. Ткаченко. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 198 с.
6. Arduino Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/reference/en> – Назва з екрана.
7. STM32CubeIDE User Manual [Електронний ресурс]. – STMicroelectronics. – Режим доступу: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> – Назва з екрана.
8. LVGL – Light and Versatile Graphics Library [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.lvgl.io> – Назва з екрана.
9. Kozlova I., Nikolaev V. Sensor Systems in Smart Agriculture: Trends and Technologies // Agricultural Engineering Journal. – 2022. – № 4. – С. 25–32.
10. Sharma R. IoT-Based Smart Irrigation System // International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering. – 2021. – Vol. 10, No. 5. – P. 134–139.
11. Власенко С. Ю. Автоматизовані системи управління в аграрному секторі : навч. посіб. / С. Ю. Власенко. – К. : НАУ, 2023. – 176 с.
12. Козаченко Ю. М. Сучасні технології точного землеробства : навч. посіб. / Ю. М. Козаченко. – Полтава : ПДАА, 2020. – 190 с.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

- 13.Сидоренко В. О. Інтелектуальні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. / В. О. Сидоренко. – Суми : СНАУ, 2021. – 154 с.
- 14.Технології автоматизації в агропромисловому комплексі : зб. наук. пр. / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – К. : НУБіП, 2023. – Вип. 15.
- 15.Мельник І. А. Використання мікроконтролерів в аграрній автоматизації : навч. посіб. / І. А. Мельник. – Львів : ЛНАУ, 2022. – 120 с.

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А

```
#include <Arduino.h>
#include "network.h"
#include <ModbusRTUMaster.h>

#include <stdint.h>
// #include <string.h>
#include "web_server.h"
#include "PCF8574.h"
#include <EEPROM.h>

// define the number of bytes you want to access
#define EEPROM_SIZE 14

#define HMI_MB_ADDR 1
#define EC_MB_ADDR 2

// Set i2c address
PCF8574 pcf8574_1(0x24, 4, 5);
PCF8574 pcf8574_2(0x25, 4, 5);

float water_temperature;
float ec_value;
uint32_t upTime = 0;

TaskHandle_t Task_AutoConnect;
TaskHandle_t Task_Modbus;
TaskHandle_t Task_WebServer;
TaskHandle_t Task_Controll;

void TaskModbus(void * pvParameters);
void TaskControll(void * pvParameters);
float modbus_u32_to_float(uint16_t high_word, uint16_t low_word);

ModbusRTUMaster modbus(Serial2); // serial port, driver enable pin
for rs-485 (optional)

// uint16_t res_table[64];
uint16_t res_table_ec[8];

uint16_t watch_table[16];
uint16_t current_setting_table[10];
uint16_t new_setting_table[10];
```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата	Текст програми.	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Говенко							
Перевірів.	Заставний О.М							
Консульт.	Заставний О.					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.	Заставний О.М							
Затверд.	Сегін							

```

uint16_t SETUP_EC = 0;
uint16_t SET_WATERING_TIME = 0;
uint16_t SET_WATERING_PERIOD = 0;
uint16_t SET_FERTILIZATION_TIME = 0;
uint16_t SET_FERTILIZATION_PERIOD = 0;
uint16_t SET_FERTILIZATION_PER_DAY = 0;

void store_settings();
void read_settings();

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(115200);
    Serial.print("setup() running on core ");
    Serial.println(xPortGetCoreID());

    pcf8574_1.pinMode(P0, OUTPUT);
    pcf8574_1.pinMode(P1, OUTPUT);
    pcf8574_1.pinMode(P2, OUTPUT);
    pcf8574_1.pinMode(P3, OUTPUT);
    pcf8574_1.pinMode(P4, OUTPUT);
    pcf8574_1.pinMode(P5, OUTPUT);
    pcf8574_1.pinMode(P6, OUTPUT);
    pcf8574_1.pinMode(P7, OUTPUT);

    pcf8574_2.pinMode(P0, OUTPUT);
    pcf8574_2.pinMode(P1, OUTPUT);
    pcf8574_2.pinMode(P2, OUTPUT);
    pcf8574_2.pinMode(P3, OUTPUT);
    pcf8574_2.pinMode(P4, OUTPUT);
    pcf8574_2.pinMode(P5, OUTPUT);
    pcf8574_2.pinMode(P6, OUTPUT);
    pcf8574_2.pinMode(P7, OUTPUT);

    Serial.print("Init pcf8574_1...");
    if (pcf8574_1.begin()){
        Serial.println("PCF8574_1_OK");
    }else{
        Serial.println("PCF8574_1_KO");
    }

    Serial.print("Init pcf8574_2...");
    if (pcf8574_2.begin()){
        Serial.println("PCF8574_2_OK");
    }else{
        Serial.println("PCF8574_2_KO");
    }

    // initialize EEPROM with predefined size
    EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);
    read_settings();
}

```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

```

        //create a task that will be executed in the TaskAutoconnect()
function, with priority 1 and executed on core 0
        xTaskCreatePinnedToCore(
            TaskAutoconnect,      /* Task function. */
            "TaskAutoconnect",    /* name of task. */
            20000,                /* Stack size of task */
            NULL,                 /* parameter of the task */
            1,                    /* priority of the task */
            &Task_AutoConnect,     /* Task handle to keep track of
created task */
            1                      /* pin task to core 0 */
        );

        xTaskCreatePinnedToCore(
            TaskModbus,           /* Task function. */
            "TaskModbus",        /* name of task. */
            20000,                /* Stack size of task */
            NULL,                 /* parameter of the task */
            1,                    /* priority of the task */
            &Task_Modbus,         /* Task handle to keep track of created
task */
            1                      /* pin task to core 0 */
        );

        xTaskCreatePinnedToCore(
            TaskWebServer,       /* Task function. */
            "TaskWebServer",     /* name of task. */
            20000,                /* Stack size of task */
            NULL,                 /* parameter of the task */
            1,                    /* priority of the task */
            &Task_WebServer,      /* Task handle to keep track of
created task */
            1                      /* pin task to core 0 */
        );

        xTaskCreatePinnedToCore(
            TaskControll,        /* Task function. */
            "TaskControll",      /* name of task. */
            20000,                /* Stack size of task */
            NULL,                 /* parameter of the task */
            1,                    /* priority of the task */
            &Task_WebServer,      /* Task handle to keep track of
created task */
            1                      /* pin task to core 0 */
        );

    }

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    vTaskDelay(50);
}

void TaskModbus(void * pvParameters)
{

```

```

Serial2.begin(19200,SERIAL_8N1,16,13); //for Kincony a16 RS485
ModbusRTUMaster modbus(Serial2); // serial port, driver enable pin
for rs-485
modbus.begin(19200);

int i = 0;

ModbusRTUMasterError modbus_error;

for(;;)
{
    //modbus.readHoldingRegisters(1, 0, resTable, 10); // For
Master
    modbus_error = modbus.readHoldingRegisters(EC_MB_ADDR, 0,
res_table_ec, 4);
    Serial.print("Read EC Status:");
    Serial.println(modbus_error);

    water_temperature = modbus_u32_to_float( res_table_ec[1], 0
);
    ec_value = modbus_u32_to_float( res_table_ec[3],
res_table_ec[2] );

    Serial.printf("T=%.2f, EC= %.2f", water_temperature,
ec_value);

    // modbus_error =
modbus.writeSingleHoldingRegister(HMI_MB_ADDR, 1, (uint16_t)
ec_value);
    // Serial.println(modbus_error);
    // modbus_error =
modbus.writeSingleHoldingRegister(HMI_MB_ADDR, 2, (uint16_t)
water_temperature * 10);
    // Serial.println(modbus_error);
    // Запис даних у таблицю відображення на головному екрані
    watch_table[1] = static_cast<uint16_t>(ec_value);
// EC (без дробової частини)
    watch_table[2] = static_cast<uint16_t>(water_temperature *
10); // Температура (збільшена в 10 разів для збереження 1
десятькового знаку)
    watch_table[3] = 0; // Зворотній таймер поливу
    watch_table[4] = 0; // Зворотній таймер дозування
    watch_table[5] = 0; // Лічильник дозувань на день
    watch_table[6] = static_cast<uint16_t>(upTime >> 16); //
Старші 16 біт upTime
    watch_table[7] = static_cast<uint16_t>(upTime & 0x0000FFFF);
// Молодші 16 біт upTime
    watch_table[8] = 0; // Полив (1 - ввімкнено, 0 - вимкнено)
    watch_table[9] = 0; // Внесення добрив (1 - ввімкнено, 0 -
вимкнено)
    watch_table[10] = 0; // Рівень води в бочці

```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

```

        // Відправка даних через Modbus (9 регістрів, починаючи з
адреси 0)
        vTaskDelay(100);
        modbus_error =
modbus.writeMultipleHoldingRegisters(HMI_MB_ADDR, 0, watch_table,
11);
        Serial.print("Write HMI Status:");
        Serial.println(modbus_error);

        current_setting_table[0] = SETUP_EC;
        current_setting_table[1] = SET_WATERING_TIME;
        current_setting_table[2] = SET_WATERING_PERIOD;
        current_setting_table[3] = SET_FERTILIZATION_TIME;
        current_setting_table[4] = SET_FERTILIZATION_PERIOD;
        current_setting_table[5] = SET_FERTILIZATION_PER_DAY;

        // current_setting_table[0] = 10;
        // current_setting_table[1] = 20;
        // current_setting_table[2] = 30;
        // current_setting_table[3] = 40;
        // current_setting_table[4] = 50;
        // current_setting_table[5] = 60;
        vTaskDelay(100);
        modbus_error =
modbus.writeMultipleHoldingRegisters(HMI_MB_ADDR, 20,
current_setting_table, 6);
        Serial.println(modbus_error);
        vTaskDelay(100);
        modbus_error = modbus.readHoldingRegisters(HMI_MB_ADDR, 40,
new_setting_table, 10);
        Serial.println(modbus_error);
        Serial.printf("new_setting_table[0]      %d      \n      ",
new_setting_table[0]);
        Serial.printf("new_setting_table[1]      %d      \n      ",
new_setting_table[1]);
        if(new_setting_table[0] == 1){
            SETUP_EC = new_setting_table[2];
            Serial.printf("New SETUP_EC = %d \n ", SETUP_EC);
            SET_WATERING_TIME = new_setting_table[3];
            SET_WATERING_PERIOD = new_setting_table[4];
            SET_FERTILIZATION_TIME = new_setting_table[5];
            SET_FERTILIZATION_PERIOD = new_setting_table[6];
            SET_FERTILIZATION_PER_DAY = new_setting_table[7];

            store_settings();
            modbus_error =
modbus.writeSingleHoldingRegister(HMI_MB_ADDR, 40, 0);
        }

        if(new_setting_table[0] == 2){
            if(new_setting_table[1] == 1 ) pcf8574_1.digitalWrite(P0,
LOW);

```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

        if(new_setting_table[1] == 2 ) pcf8574_1.digitalWrite(P1,
LOW);
        if(new_setting_table[1] == 3 ) pcf8574_1.digitalWrite(P2,
LOW);
        if(new_setting_table[1] == 4 ) pcf8574_1.digitalWrite(P3,
LOW);
        if(new_setting_table[1] == 5 ) pcf8574_1.digitalWrite(P4,
LOW);
        if(new_setting_table[1] == 6 ) pcf8574_1.digitalWrite(P5,
LOW);
        if(new_setting_table[1] == 0 ) {
            pcf8574_1.digitalWrite(P0, HIGH);
            pcf8574_1.digitalWrite(P1, HIGH);
            pcf8574_1.digitalWrite(P2, HIGH);
            pcf8574_1.digitalWrite(P3, HIGH);
            pcf8574_1.digitalWrite(P4, HIGH);
            pcf8574_1.digitalWrite(P5, HIGH);
        }
    }

    // Serial.println(modbus_error);
    // Serial.print("res_table_ec[0] = ");
    // Serial.println(res_table_ec[0]);
    // Serial.print("res_table_ec[1] = ");
    // Serial.println(res_table_ec[1]);
    // Serial.print("res_table_ec[2] = ");
    // Serial.println(res_table_ec[2]);
    // Serial.print("res_table_ec[3] = ");
    // Serial.println(res_table_ec[3]);
    // Serial.print("t = ");
    // Serial.println(water_temperature);
    // Serial.print("EC = ");
    // Serial.println(ec_value);
    Serial.println(upTime);
    Serial.println("=====");

    //                                     modbus_error =
modbus.writeSingleHoldingRegister(HMI_MB_ADDR, 1, (uint16_t) ec);
    //modbus_error =
modbus.writeSingleHoldingRegister(HMI_MB_ADDR, 1, i);
    // if(i>65000) i=0;
    // Serial1.println(modbus_error);
    // vTaskDelay(100 / portTICK_PERIOD_MS);

    vTaskDelay(200);
}
}

// Функція для перетворення двох uint16_t у float (Little-Endian
byte swap)
float modbus_u32_to_float(uint16_t high_word, uint16_t low_word) {

```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56


```

// Збираємо 32 біти з двох 16-бітних слів
uint32_t combined = ((uint32_t)high_word << 16) | low_word;
// Інтерпретуємо ці 32 біти як float
union {
    uint32_t u32;
    float f;
} converter;

converter.u32 = combined;
return converter.f;
}

void store_settings()
{
    EEPROM.writeShort(0, SETUP_EC);
    EEPROM.writeShort(2, SET_WATERING_TIME);
    EEPROM.writeShort(4, SET_WATERING_PERIOD);
    EEPROM.writeShort(6, SET_FERTILIZATION_TIME);
    EEPROM.writeShort(8, SET_FERTILIZATION_PERIOD);
    EEPROM.writeShort(10, SET_FERTILIZATION_PER_DAY);
    EEPROM.commit();

    read_settings();
}

void read_settings()
{
    SETUP_EC = EEPROM.readShort(0);
    Serial.printf("SETUP_EC = %d \n ", SETUP_EC);
    SET_WATERING_TIME = EEPROM.readShort(2);
    SET_WATERING_PERIOD = EEPROM.readShort(4);
    SET_FERTILIZATION_TIME = EEPROM.readShort(6);
    SET_FERTILIZATION_PERIOD = EEPROM.readShort(8);
    SET_FERTILIZATION_PER_DAY = EEPROM.readShort(10);
}

void default_settings()
{
    EEPROM.writeShort(0, 360); // SETUP_EC
    EEPROM.writeShort(2, 120); // SET_WATERING_TIME
    EEPROM.writeShort(4, 180); // SET_WATERING_PERIOD
    EEPROM.writeShort(6, 10); // SET_FERTILIZATION_TIME
    EEPROM.writeShort(8, 10); // SET_FERTILIZATION_PERIOD
    EEPROM.writeShort(10, 300); // SET_FERTILIZATION_PER_DAY
    EEPROM.commit();

    read_settings();
}

void TaskControll(void * pvParameters)
{
    for(;;){
        upTime += 1;
    }
}

```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

```
        vTaskDelay(1000);  
    }  
}
```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		