

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

КУХЦЯК Станслав Ігорович

**Розроблення вагонетки для автоматичного оприскування
рослин в теплиці/ Development of a trolley for automatic
spraying of plants in a greenhouse**

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

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

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ - 41
С.І. Кухцяк

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
КУХЦЯКУ Станславу Ігоровичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Розроблення вагонетки для автоматичного оприскування рослин в теплиці/
Development of a trolley for automatic spraying of plants in a greenhouse

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. Засоби оприскування рослин в теплицях

2. Сенсори та виконавчі механізми для автоматизованих вагонеток

3. Засоби керування технологічними процесами

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз автоматизованих засобів оприскування рослин

2. Розроблення структурної схеми вагонетки

3. Розроблення програмного забезпечення для автоматизованої вагонетки

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема автоматизованої вагонетки

2. Блок схема алгоритму роботи контролера вагонетки

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз автоматизованих засобів оприскування рослин	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Розроблення структурних схем вагонетки	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Розроблення програмного забезпечення	04.2025р. – 05.2025р.	

Студент

(підпис)

Кухцяк С.І.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., Заставний О.М.

АНОТАЦІЯ

Кухцяк С.І. Розроблення вагонетки для автоматичного оприскування рослин в теплиці. – 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 розглянуто процес розроблення автоматизованої вагонетки для оприскування рослин у тепличному господарстві. Проведено аналіз сучасних технічних рішень у сфері автоматизації поливу та обробки рослин у закритому ґрунті. На основі аналізу сформовано вимоги до системи та запропоновано конструкцію мобільної платформи з оприскувальним механізмом.

Спроектовано електронну частину системи, яка включає мікроконтролер для керування рухом вагонетки, обробки даних від сенсорів та активації системи оприскування. Розроблено алгоритм роботи пристрою та функціональну схему, що забезпечують автономне виконання задачі обробки рослин.

Запропонована система дозволяє підвищити ефективність догляду за рослинами в теплиці, знизити трудовитрати та забезпечити рівномірне нанесення захисних або поживних речовин. Рішення є масштабованим і може бути адаптоване до теплиць різних розмірів і типів.

ANNOTATION

Kuhcjak S.I. Development of a trolley for automatic spraying of plants in a greenhouse. - Manuscript.

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

This work presents the development of an automated cart for plant spraying in greenhouse environments. An analysis of modern technical solutions in the field of irrigation and plant treatment automation under protected conditions has been conducted. Based on the analysis, system requirements were defined and a mobile platform design with a spraying mechanism was proposed.

The electronic subsystem was designed to include a microcontroller responsible for controlling the cart's movement, processing sensor data, and activating the spraying system. An operating algorithm and functional diagram were developed to ensure autonomous execution of the plant treatment process.

The proposed system improves the efficiency of plant care in greenhouses, reduces labor costs, and ensures uniform application of protective or nutrient substances. The solution is scalable and can be adapted to greenhouses of various sizes and configurations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ ОПРИСКУВАННЯ РОСЛИН....	9
1.1 Аналіз автоматизованих вагонеток для оприскування рослин.....	9
1.2 Модель автоматизованого оприскувача Spray Robot S55	11
1.3 Мобільна обприскувальна вагонетка Qii-Jet ТАН-342.....	14
1.4 Постановка задачі.....	18
2. РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ВАГОНЕТКИ.....	20
2.1 Розроблення структурної схема вагонетки для обприскування рослин....	20
2.2 Розроблення алгоритму роботи	21
2.3 Розроблення панелі керування	23
2.4 Вибір обладнання для побудови вагонетки	24
3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	43
3.1 Розроблення програмного забезпечення для сенсорного дисплею	43
3.2 Розроблення програмного забезпечення контролера	48
ВИСНОВКИ	55
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ	59

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ			
Розроб	Кухцяк С.І.				Розроблення вагонетки для автоматичного оприскування рослин в теплиці/ Development of a trolley for automatic spraying of plants in a greenhouse	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 стрімко розвивається у напрямку автоматизації процесів, що дозволяє підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати ручної праці та забезпечити стабільну якість продукції. Особливо важливою ця тенденція є для тепличного господарства, де контроль умов вирощування та регулярність догляду за рослинами відіграють ключову роль у досягненні високих врожаїв.

Оприскування рослин — один із критично важливих процесів у теплицях, що забезпечує захист від шкідників і хвороб, а також живлення мікроелементами. Виконання цієї процедури вручну пов'язане з високими трудозатратами, нерівномірністю обробки та ризиком для здоров'я персоналу. Автоматизація цього процесу дозволяє усунути згадані недоліки, підвищити точність дозування препаратів і забезпечити стабільну якість обробки всієї тепличної площі.

Розробка вагонетки для автоматичного оприскування рослин є актуальним технічним рішенням, що сприятиме підвищенню продуктивності тепличного господарства, зниженню витрат та впровадженню сучасних технологій у галузі захищеного ґрунту.

Мета роботи. Метою даної роботи є розроблення конструкції та принципу дії автоматизованої вагонетки для оприскування рослин у тепличних умовах, що забезпечить ефективне, рівномірне та безпечне нанесення захисних і поживних речовин на рослини з мінімальним залученням людської праці. Реалізація цієї мети передбачає проектування механічної частини вагонетки, системи керування рухом та оприскуванням, а також вибір необхідних компонентів і модулів для автоматизації процесу.

Предметом дослідження. Предметом дослідження є конструктивні, програмні та алгоритмічні рішення для створення автоматизованої вагонетки, призначеної для оприскування рослин у тепличних умовах.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

Об’єкт дослідження. Об’єктом дослідження є технологічний процес догляду за рослинами в умовах теплиці, зокрема — процес автоматизованого оприскування культур для забезпечення їх захисту та живлення.

Методи дослідження.

У роботі використано аналітичні методи для огляду сучасних рішень у сфері автоматизованих систем догляду за рослинами, методи системного аналізу для визначення вимог до конструкції та функціоналу вагонетки, методи інженерного проєктування для розробки механічної частини пристрою, а також експериментальні методи для тестування та вдосконалення роботи системи в умовах теплиці.

Практичне значення одержаних результатів.

Одержані результати мають важливе практичне значення для підвищення ефективності догляду за рослинами в тепличних господарствах. Розроблена вагонетка для автоматичного оприскування дозволяє зменшити трудові витрати, забезпечити рівномірне нанесення робочих розчинів, знизити ризики, пов’язані з людським фактором, та покращити умови праці персоналу. Система може бути адаптована до різних типів теплиць і технологічних процесів, а також слугувати основою для подальшої автоматизації та інтеграції з «розумними» агротехнологіями.

Апробація. Кухцяк С., Заставний О. Вагонетка для автоматичного оприскування рослин в теплиці. – Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» (АКІТ-2025), Тернопіль, 2025. – 89-91с.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ ОПРИСКУВАННЯ РОСЛИН

1.1 Аналіз автоматизованих вагонеток для оприскування рослин

Сучасне сільське господарство, зокрема тепличне рослинництво, активно впроваджує автоматизовані системи догляду за рослинами для підвищення ефективності та зниження витрат. Однією з важливих задач у теплицях є своєчасне та рівномірне оприскування рослин водою, добривами або засобами захисту. Виконання цієї процедури вручну є трудомістким процесом, що пов'язаний з великими затратами часу, нерівномірністю обробки та ймовірністю помилок через людський фактор. Відтак, актуальним є впровадження автоматизованих вагонеток для оприскування, які можуть виконувати процедури з високою точністю та повторюваністю [1].

Автоматизовані вагонетки для оприскування рослин [2] — це механізовані пристрої, які рухаються по напрямних або рейках, зазвичай встановлених у міжряддях теплиці. На таких платформах монтуються системи оприскування (форсунки, насоси), резервуари з робочим розчином, а також електроніка, яка забезпечує керування рухом і подачею рідини.

Ключові складові таких систем:

- Механічна база — вагонетка з приводом (електричним або механічним), яка забезпечує переміщення вздовж теплиці.
- Система оприскування — насос, трубки та форсунки, які забезпечують подачу та розпилення рідини.
- Контролер управління — мікроконтролер або промисловий ПЛК, який керує алгоритмом обприскування, швидкістю руху, активацією насосів.
- Датчики та модулі зворотного зв'язку — використовуються для визначення положення вагонетки, рівня рідини, тиску, перешкод тощо.

На ринку представлені як повністю автоматизовані системи, так і напівавтоматизовані варіанти. Серед найбільш поширених брендів та рішень:

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

- Munckhof Spraying Systems (Нідерланди) — пропонують автономні вагонетки з точним регулюванням норми внесення препарату, GPS-навігацією та інтелектуальним контролем зон обробки.
- TAVA Systems (Канада) — спеціалізуються на створенні залізничних систем із вагонетками, які можуть виконувати полив, оприскування та навіть обслуговування рослин у вертикальних фермах.
- Gremon Systems (Угорщина) — розробляють рішення з аналітикою, які комбінують оприскування з автоматизованим збором даних про стан рослин.

Ці системи зазвичай мають високу вартість, складну інфраструктуру та потребують кваліфікованого персоналу для налаштування та обслуговування. Тому багато господарств, особливо малого та середнього масштабу, шукають бюджетніші варіанти, які можна адаптувати під свої потреби.

Основними характеристиками, які впливають на ефективність автоматизованої вагонетки для оприскування [3], є:

- Швидкість руху — визначає продуктивність обробки теплиці;
- Об'єм резервуару — залежить від площі, яку планується обробити без дозаправки;
- Тип та кількість форсунок — впливає на рівномірність розподілу рідини;
- Наявність автоматичних режимів та програмування — дозволяє адаптувати роботу системи до потреб рослин на різних етапах вегетації;
- Система живлення — автономне живлення на акумуляторах або підключення до електромережі.

Попри велику кількість готових рішень, вони мають низку недоліків, що знижують їхню доступність і ефективність для малого та середнього виробника:

- Висока вартість — імпортні системи можуть коштувати десятки тисяч євро.
- Складність технічного обслуговування — потреба у фахівцях або навчанні персоналу.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

- Недостатня гнучкість — деякі системи важко адаптувати до індивідуальних умов конкретної теплиці (розміри, тип рослин, кліматичні особливості).
- Проблеми сумісності з іншими автоматизованими модулями — як-от клімат-контроль, автоматичне внесення добрив тощо.

На основі аналізу наявних рішень можна виділити такі напрями для вдосконалення систем автоматичного оприскування:

- Модульна конструкція — що дозволяє легко модернізувати або адаптувати систему.
- Інтеграція з IoT — підключення до мережі дозволяє дистанційне керування, отримання статистики та аналітики.
- Використання відкритих платформ і недорогих контролерів (STM32, Arduino, ESP32) — знижує вартість розробки та обслуговування.
- Застосування алгоритмів адаптивного поливу та обробки — наприклад, в залежності від мікроклімату або стану рослин, визначеного через датчики або комп'ютерний зір.

Цей аналіз показує, що на ринку вже існують ефективні рішення, однак вони не завжди доступні або зручні для широкого використання в умовах локального агробізнесу. Саме тому розроблення власної автоматизованої вагонетки з урахуванням специфіки конкретного господарства є доцільним і перспективним напрямом науково-технічної діяльності.

1.2 Модель автоматизованого оприскувача Spray Robot S55

Одним із яскравих представників сучасних автоматизованих систем для обприскування в теплицях є Spray Robot S55 [4]. Це комерційно доступна система, розроблена для автоматичного обприскування рослин у закритих приміщеннях. Вона являє собою вагонетку, яка пересувається рейками, закріпленими вздовж тепличних проходів (рисунок 1.1).

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11



Рисунок 1.1 - Автоматизований опрыскувач Spray Robot S55

Spray Robot S55 оснащена баком для рідини, насосом високого тиску, електронною системою керування на базі ПЛК (програмованого логічного контролера), набором форсунок, акумуляторною батареєю та інтерфейсом користувача у вигляді сенсорного екрана. Основним принципом роботи є циклічне переміщення вагонетки по рейковій системі з періодичним розпиленням засобів захисту рослин.

Форсунки забезпечують дрібнодисперсне розпилення, що дозволяє краще покривати поверхню листя та зменшити витрати речовини. Також передбачена можливість регулювання тиску, швидкості руху вагонетки та частоти обприскування. Всі ці параметри можна налаштувати вручну або за допомогою попередньо заданих програм.

Серед технічних переваг Spray Robot S55 варто відзначити високу точність і повторюваність обробки, економічність використання препаратів, а також

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

мінімізацію впливу людського фактору. Водночас існують певні обмеження — потреба в спеціалізованій інфраструктурі (рейки, рівна підлога), висока вартість встановлення та обслуговування (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Роботизований комплекс на основі Spray Robot S55

З даного рисунку видно що роботи переміщуються на платформі яка зупиняється навпроти кожного рядка, за платформою тягнеться шланг на бабіні та у кожного робота є бабіна зі шлангом, яка розмотується та змотується при переміщенні робота по рядку. Таке рішення незважаючи на свої очевидні недоліки дозволяє не возити на роботі резервуару з робочим розчином, а лише потрібний концентрат і підмішувати його в потрібній пропорції, та таким чином дозволяє практично охопити значну частину теплиці не задіюючи обслуговуючого персоналу.

Інтерфейс управління дозволяє задавати сценарії обприскування залежно від типу рослин, фази вегетації або шкідника, що спрощує інтеграцію системи у виробничий процес. Деякі модифікації також підтримують зворотний зв'язок із сенсорами, що дозволяє формувати умови адаптивного обприскування.

Модель S55 може стати прикладом для проектування власного прототипу з урахуванням вимог локального виробництва, зниження вартості компонентів та гнучкості архітектури.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

1.3 Мобільна обприскувальна вагонетка Qii-Jet ТАН-342

Серед високотехнологічних рішень для автоматизованого догляду за рослинами в теплицях вагонетка Qii-Jet ТАН-342 [5], розроблена бельгійською компанією Qii-Machines, займає особливе місце. Це сучасна обприскувальна система, орієнтована на середні та великі тепличні комплекси, яка поєднує точність, ефективність та високий рівень автоматизації (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 - Мобільна обприскувальна вагонетка Qii-Jet ТАН-342

Qii-Jet ТАН-342 — це самохідна вагонетка, що переміщується по рейковій системі, встановленій уздовж тепличних рядів. Основу конструкції становить сталевий каркас із порошковим покриттям, що забезпечує стійкість до вологи та агресивних середовищ. Модель має електропривод та живиться від акумуляторної батареї, яка забезпечує тривалу автономну роботу — до 8 годин без підзарядки.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Обприскувальна система складається з великого бака об'ємом до 200 літрів, багатоступеневого насоса високого тиску та серії обертових розпилювачів, які встановлені на вертикальній телескопічній штанзі. Така конструкція дозволяє обробляти не лише горизонтальні поверхні, а й вертикальні площини рослин — що особливо важливо для високорослих культур у сучасних теплицях.

Технічні особливості Qii-Jet ТАН-342 [5]:

- Електронне керування з програмованими маршрутами: вагонетка може виконувати обприскування згідно із заздалегідь заданими алгоритмами;
- Регульована висота штанги: дозволяє адаптувати розпилення під різну висоту рослин;
- Наявність датчиків тиску, витрати рідини, а також рівня у баку;
- Автоматичне повернення у вихідну точку після завершення циклу;
- Можливість інтеграції з іншими елементами автоматизації теплиці, зокрема зі зрошувальними та кліматичними системами.

Окрім високої якості матеріалів, Qii-Jet ТАН-342 вирізняється надійністю та ергономікою. Наприклад, технік може легко здійснювати обслуговування без потреби демонтажу обладнання — усі компоненти доступні ззовні. Система також підтримує кілька режимів роботи — безперервне обприскування, імпульсне дозування, а також можливість швидкої промивки магістралей. На рисунку 1.4 наведено приклад використання даних вагонеток в теплиці.

Переваги Qii-Jet ТАН-342:

- Висока точність обприскування завдяки сучасним форсункам;
- Економне використання ЗЗР (засобів захисту рослин);
- Мінімізація людського фактору;
- Низький рівень шуму та вібрацій, що важливо для роботи у теплиці з чутливими культурами;
- Готовність до масштабування та оновлення прошивки ПЛК.

Недоліки:

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

- Висока вартість (у середньому понад €9,000–12,000 залежно від комплектації);
- Потреба в попередньому встановленні рейкової інфраструктури;
- Необхідність кваліфікованого персоналу для налаштування та обслуговування.



Рисунок 1.4 – Приклад використання вагонеток Qii-Jet ТАН-342

Таким чином, Qii-Jet ТАН-342 є прикладом якісного європейського підходу до автоматизації тепличного господарства, де поєднуються надійність, технологічність і довгострокова ефективність. Модель може бути використана як прототип або орієнтир при створенні вітчизняних аналогів із застосуванням доступніших компонентів, збереженням ключових функціональних характеристик та орієнтацією на локальні потреби аграрного виробництва.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

На рисунку 1.5 наведено зовнішній вигляд пульта керування Qii-Jet ТАН-342.



Рисунок 1.5 - Зовнішній вигляд пульта керування Qii-Jet ТАН-342.

Панель керування обприскувача Qii-Jet ТАН-342, має компактний і ергономічний дизайн, орієнтований на зручність користувача в реальних умовах експлуатації. Вона оснащена низкою апаратних елементів для ручного керування:

- Цифровий дисплей рівня заряду акумулятора, що дозволяє швидко оцінити залишковий ресурс енергії;
- Кнопка живлення (On/Off);
- Кнопка запуску роботи (синього кольору);
- Регулятор швидкості руху (жовта обертаюча ручка з іконкою стрілки);
- Перемикачі режимів роботи — ймовірно для вибору типу обробки або конфігурації форсунок;
- Кнопка аварійної зупинки (STOP) червоного кольору, що гарантує швидке припинення роботи у разі небезпеки.

Бічна панель містить перемикач живлення та індикатор стану системи, що, ймовірно, сигналізує про наявність живлення або помилки.

Ця панель не є сенсорною, але її простота дозволяє оператору легко та швидко виконувати основні дії без потреби в тривалому навчанні, що робить її ефективною у щоденній роботі в тепличному середовищі.

1.4 Постановка задачі

Провівши аналіз існуючих технічних рішень у сфері автоматизованого обприскування рослин у тепличних господарствах, можна зробити висновок, що більшість доступних систем є надто дорогими для впровадження в невеликих або середніх теплицях, мають складну конструкцію та потребують професійного технічного обслуговування. Значна частина таких пристроїв розрахована на роботу з централізованими системами керування, що ускладнює інтеграцію у вже існуючу інфраструктуру. Крім того, використання складного спеціалізованого програмного забезпечення робить експлуатацію подібних рішень недоцільною для фермерських господарств з обмеженими технічними ресурсами.

З огляду на зростаючу потребу в доступних, енергоефективних і надійних системах для догляду за культурами в захищеному ґрунті, актуальною є задача розроблення мобільної автоматизованої вагонетки для обприскування рослин у теплиці. Система має базуватись на поширених промислових або побутових компонентах, бути простою в обслуговуванні та мати інтуїтивно зрозуміле керування.

Метою розробки є створення мобільної автоматизованої вагонетки для теплиць, яка забезпечує:

- автономне пересування вздовж тепличних рядів;
- рівномірне обприскування рослин робочим розчином;
- налаштування інтенсивності подачі рідини (тиск, частота, об'єм);
- аварійне вимкнення при виявленні перешкод або збоїв;

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- живлення від акумулятора з можливістю зарядки від побутової мережі.

Для реалізації поставленої задачі необхідно:

- розробити компактну та ремонтпридатну конструкцію вагонетки, що базується на модульному принципі;
- обрати приводну систему (двигуни, редуктори, колеса) з достатньою тягою для переміщення тепличними доріжками;
- спроектувати блок керування з панеллю оператора, що дозволяє задавати режим обприскування, стежити за станом системи та вручну втручатися у роботу;
- реалізувати систему розпилення з декількома форсунками та регульованим насосом;
- передбачити датчики контролю рівня рідини в баку, руху вагонетки, а також перешкод на шляху;
- розробити просту систему сигналізації та індикації стану роботи (наприклад, за допомогою світлодіодів або екрану).

Система має бути технологічно придатною до серійного виробництва, простою в налаштуванні та надійною в щоденній експлуатації в умовах підвищеної вологості та температурних коливань тепличного середовища.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

2. РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ВАГОНЕТКИ

2.1 Розроблення структурної схема вагонетки для обприскування рослин

На основі вимог до функціональності автоматизованої вагонетки для обприскування рослин у теплицях було розроблено структурну схему системи, яка відображає основні функціональні блоки та взаємозв'язки між ними. Схема дозволяє узагальнити логіку роботи пристрою та визначити перелік необхідних компонентів для реалізації апаратної та програмної частини.

На рисунку 2.1 наведена структурна схема вагонетки для обприскування рослин.

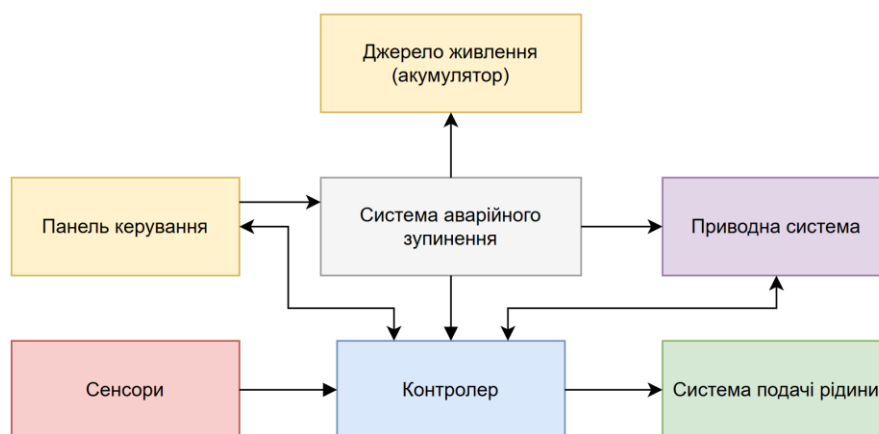


Рисунок 2.1 - Структурна схема вагонетки

Основу системи становить контролер, який здійснює керування всіма виконавчими механізмами та обробку даних з сенсорів. До нього підключається панель керування з елементами індикації та ручного управління (кнопки, тумблери, аварійний вимикач), що дозволяє оператору обирати режими роботи, запускати або зупиняти систему, а також контролювати її стан. Приводна система складається з електродвигуна, який забезпечує рух вагонетки вздовж тепличного ряду. Його робота регулюється контролером на основі сигналів з сенсорів та лімітних вимикачів.

Для виконання основної функції — обприскування — у структурі передбачено систему подачі рідини, що включає помпи, форсунки та бак з

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

робочим розчином. Помпи активуються контролером відповідно до обраного режиму, а сенсор рівня рідини у баку дозволяє своєчасно попереджати про необхідність дозаправки. Додатково в структурі передбачено джерело живлення, яке може бути представлено акумуляторною батареєю з зарядним пристроєм, та систему захисту і аварійного зупинення, яка спрацьовує у разі виявлення критичних ситуацій (наприклад, перегріву двигуна, виявлення перешкоди або зупинки руху).

Розроблена структурна схема дозволяє реалізувати гнучку та надійну систему керування з можливістю подальшої модернізації та розширення функціональності відповідно до вимог конкретного господарства.

2.2 Розроблення алгоритму роботи

У даному розділі представлено розробку алгоритму роботи автоматизованої вагонетки для обприскування рослин у теплиці, а також опис панелі керування, яка забезпечує інтуїтивне керування й контроль системи.

Автоматизована вагонетка працює у напіваавтоматичному режимі за таким алгоритмом:

1. Початок роботи: оператор встановлює вагонетку на початок рядка та натискає кнопку "СТАРТ".
2. Рух уперед: вагонетка починає плавне прискорення до заданої максимальної швидкості. Відстань до кінцевої точки визначається ультразвуковим сенсором A21 (RS485).
3. Уповільнення: за кілька метрів до кінця маршруту (значення налаштовується) система автоматично зменшує швидкість, використовуючи дані сенсора.
4. Зупинка: вагонетка зупиняється перед стінкою. Для точного позиціонування застосовується сенсор Холла, який зчитує імпульси з магнітів на шестерні редуктора двигуна.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

5. Обприскування: вмикається обприскування (ліворуч/праворуч відповідно до положення перемикачів).

6. Зворотний рух: вагонетка рухається назад з робочою швидкістю, яку задає оператор. Одночасно зменшується лічильник пройденої відстані. Обприскування активне під час всього зворотного шляху.

7. Завершення циклу: при поверненні у вихідну позицію (лічильник = 0) вагонетка зупиняється, обприскування вимикається.

8. Очікування: система переходить у режим очікування наступної команди від оператора.

Для додаткової безпеки використовується оптичний сенсор (типу GTRIC ЕЗЖК) як аварійне дублювання зупинки. Блок-схема алгоритму роботи програми наведена на рисунку 3.22



Рисунок 2. 2 – Блок-схема алгоритму роботи програми

2.3 Розроблення панелі керування

Панель керування виконує дві основні функції:

- забезпечення взаємодії користувача з системою;
- відображення ключових параметрів у режимі реального часу.

Компоненти панелі керування:

1. Сенсорний дисплей Panlee 480×480 (4 дюйми):

- графічний інтерфейс реалізовано з використанням бібліотеки LVGL;
- відображення рівня робочого розчину (через датчик TL-136 4–20 мА);
- індикація заряду акумулятора (через BMS JK-PB2A16S20P з інтерфейсом RS485);
- показ дистанції до кінцевої точки маршруту;
- статус режиму (рух уперед, назад, обприскування, пауза).

2. Фізичні перемикачі та органи керування:

- Перемикач “Оприскувачі (правий ряд)”;
- Перемикач “Оприскувачі (лівий ряд)”;
- Перемикач “Дренажний насос” — активує насос для розмішування розчину;
- Регулятор швидкості зворотного руху — задає інтенсивність обприскування;
- Кнопка “СТАРТ” — початок автоматичного циклу;
- Кнопка “СТОП” — зупинка в будь-який момент;
- Аварійна кнопка — відключає всю систему живлення (виконує також функцію головного вимикача).

На рисунку 3.23 наведено розміщення елементів на панелі керування.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

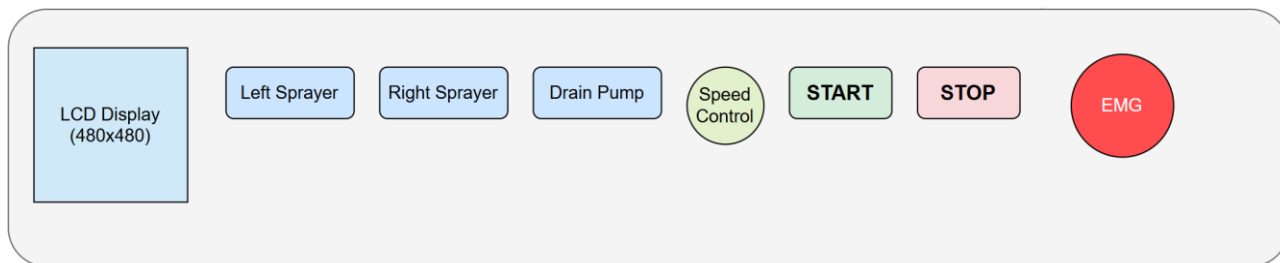


Рисунок 3.23 - Розміщення елементів на панелі керування

2.4 Вибір обладнання для побудови вагонетки

Для реалізації системи автоматичного обприскування рослин у теплиці було обрано мембранну міні-помпу KF-2203. Вибір цієї моделі зумовлений поєднанням технічних характеристик, які оптимально відповідають вимогам проекту, а саме:

1. Продуктивність і тиск

KF-2203 забезпечує продуктивність до 2 л/хв при робочому тиску до 0.48 МПа (4.8 бар). Цього достатньо для рівномірного покриття поверхні рослинного покриву навіть при наявності кількох форсунок, встановлених на мобільній платформі.

2. Низьке енергоспоживання

Помпа працює від постійного струму 12 В з номінальним струмом близько 1.5–2 А, що дозволяє жити їй від акумулятора на борту вагонетки. Це критично важливо для автономної роботи системи без підключення до стаціонарного джерела енергії.

3. Компактність і легкість інтеграції

Завдяки своїм малим габаритам і вазі KF-2203 зручно монтується на мобільну платформу. Вона має стандартні штуцери для шлангів, що спрощує гідравлічне підключення до форсунок.

4. Автоматичне відключення по тиску

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Вбудований пресостат дозволяє автоматично зупиняти помпу при досягненні заданого тиску в системі, що підвищує її надійність і захищає від перевантажень. Це важливо для довговічності в умовах циклічної роботи.

5. Стійкість до хімічних речовин

Матеріали, з яких виготовлена KF-2203, сумісні з більшістю рідин, що застосовуються для захисту рослин. Це дозволяє використовувати широкий спектр препаратів без ризику пошкодження помпи.

6. Доступність і вартість

KF-2203 — розповсюджена модель з хорошим співвідношенням ціна-якість. Її легко придбати, а в разі потреби — замінити або відремонтувати завдяки наявності на ринку запасних частин і аналогів.

На рисунку 2.3 наведено зовнішній вигляд помпи KF-2203.



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд помпи KF-2203

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таким чином, вибір KF-2203 як основного елементу системи подачі рідини обґрунтований її відповідністю технічним і експлуатаційним вимогам проекту автоматичної обприскувальної вагонетки.

У системі автоматичного обприскування рослин у теплиці мобільна платформа повинна переміщатися вздовж рядів рівномірно, надійно й енергоефективно. Для забезпечення руху було обрано електродвигун постійного струму MY1016Z з редуктором (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд електродвигуна MY1016Z

Його вибір обґрунтовано наступними технічними та експлуатаційними перевагами:

1. Наявність вбудованого редуктора

MY1016Z оснащено редуктором з передавальним числом 1:9.78, що дозволяє отримати високий обертовий момент при відносно невеликій швидкості обертання. Це ідеально підходить для руху вагонетки з вантажем по рівній поверхні теплиці, забезпечуючи стабільність та плавність ходу.

2. Оптимальна напруга та потужність

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

Двигун працює від джерела 24 В та має номінальну потужність близько 250 Вт, що забезпечує баланс між продуктивністю та енергоспоживанням. Він легко живиться від акумуляторної батареї, що важливо для автономної мобільної системи.

3. Компактність і простота монтажу

Незважаючи на потужність, MY1016Z має компактні розміри й стандартне кріплення, що спрощує його інтеграцію на платформу. Також доступне стандартне з'єднання з ланцюговою передачею (зірочка), що полегшує підключення до колісної бази.

4. Надійність і перевірена конструкція

MY1016Z широко використовується в електроскутерах, електровелосипедах і мобільних платформах, що свідчить про його надійність у практичному застосуванні. Ресурс роботи та стійкість до навантажень підтверджені багатьма успішними проєктами.

5. Доступність на ринку

Двигун є популярною моделлю, що полегшує його закупівлю, обслуговування та можливу заміну. Також є доступними запасні частини — щітки, зірочки, кріплення тощо.

6. Сумісність із системами керування

Двигун легко інтегрується в систему керування рухом, сумісний з типовими контролерами ШІМ або драйверами Н-мосту, що дозволяє реалізувати як ручне, так і автоматичне керування швидкістю та напрямком руху.

З огляду на вищевикладене, двигун MY1016Z є оптимальним вибором для приводу вагонетки в тепличному середовищі, забезпечуючи необхідну потужність, керованість, надійність і простоту інтеграції.

Для ефективного, надійного та безпечного керування роботою електродвигунів у складі автоматизованої платформи було обрано драйвер SmartDriveDuo Smart Dual Channel 60A Motor Driver (рисунк 2.5).

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

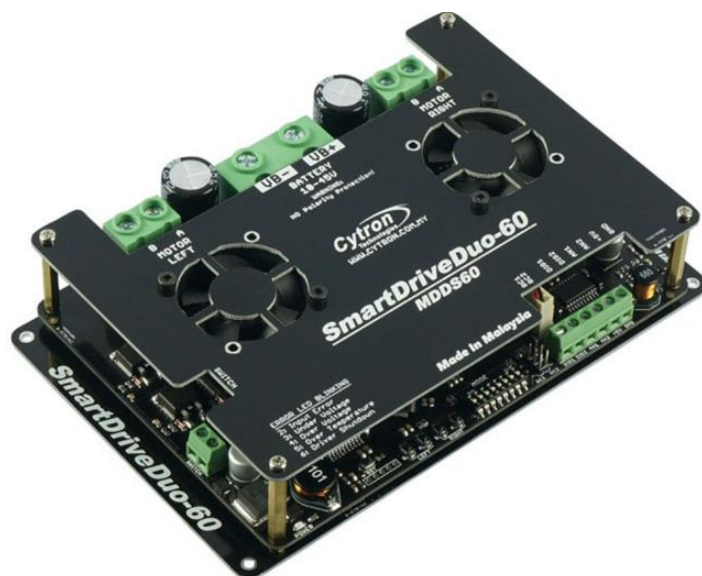


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд драйвера SmartDriveDuo Smart Dual Channel 60A Motor Driver

Цей драйвер відповідає технічним вимогам системи як за потужністю, так і за можливостями інтерфейсу, і має низку ключових переваг.

Підтримка струму до 60 А на канал (пікова витримка до 100 А) дозволяє драйверу працювати з потужними двигунами постійного струму (DC), з достатнім запасом по струму для запуску, прискорення та тривалої роботи.

Це забезпечує надійну роботу навіть у випадках високого механічного навантаження, наприклад, на платформу вагонетки.

Можливість керування швидкістю та напрямком обертання за допомогою аналогового сигналу 0–5 В дозволяє безпосередньо інтегрувати драйвер із ПЛК, мікроконтролерами, DAC або іншими пристроями автоматизації.

Це дає гнучкість керування: наприклад, швидкість обертання можна змінювати пропорційно до вхідної напруги без складного ШІМ-програмування.

Драйвер має два незалежних канали, що дозволяє керувати двома двигунами одночасно, або одним двигуном у режимі підвищеної потужності (двоканальний режим).

Це зручно у випадку двомоторного приводу платформи, або як резерв для підключення другого актуатора (наприклад, насоса чи системи повороту).

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Підтримуються кілька режимів: аналоговий, RC (servo), PWM, UART, що дозволяє адаптувати драйвер до різних типів керуючих систем — від простих аналогових до цифрових інтерфейсів.

У перспективі це забезпечує масштабованість або перехід до інтелектуального керування без заміни драйвера.

Вбудовані захисти від перегріву, перевантаження, зворотної полярності, короткого замикання роблять пристрій безпечним у роботі в складних умовах теплиці або польових систем.

Робоча температура: -20°C до $+85^{\circ}\text{C}$, що підходить для широкого спектру зовнішніх застосувань.

Інтуїтивне налаштування режимів роботи за допомогою DIP-перемикачів.

Світлодіодна індикація стану каналів та помилок спрощує діагностику при монтажі та обслуговуванні.

Вибір SmartDriveDuo Smart Dual Channel 60A Motor Driver обумовлений його високою потужністю, підтримкою аналогового керування 0–5 В, двоканальною конструкцією та вбудованими захистами. Це робить його ідеальним рішенням для надійного та ефективного керування електродвигуном у складі мобільної платформи для автоматизованого обприскування рослин у теплицях або схожих системах. У системі автоматичного обприскування рослин в теплиці критично важливим є точний контроль рівня робочої рідини (води або розчину препаратів) у резервуарі. Для цієї мети було обрано сенсор рівня TL-136 з аналоговим виходом 4–20 мА і діапазоном вимірювання 0–1 м (рисунок 2.6).

Вибір цієї моделі обґрунтований наступними перевагами:

1. Оптимальний вимірювальний діапазон

Діапазон 0–1 м повністю охоплює висоту стандартного баку або резервуара для рідини в мобільній системі, забезпечуючи точний контроль від повного заповнення до майже повного спустошення.

2. Індустріальний стандарт вихідного сигналу 4–20 мА

Цей тип сигналу стійкий до шумів і втрат у довгих кабелях, що особливо важливо в умовах роботи з мобільною платформою в теплиці. Також він

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

дозволяє легко інтегрувати сенсор з контролерами, АЦП або ПЛК без необхідності складної обробки сигналу.



Рисунок 2.6 – Сенсор рівня TL-136

3. Безперервний (аналоговий) контроль рівня

На відміну від поплавкових або дискретних датчиків, TL-136 надає точне безперервне значення рівня, що дозволяє реалізувати більш гнучке керування подачею рідини, сигналізацію про низький рівень, або прогнозування залишку розчину.

4. Міцна та герметична конструкція

TL-136 має захист від вологи, пилу та агресивних середовищ, що робить його надійним рішенням для використання у вологих тепличних умовах або при роботі з хімічними речовинами.

5. Сумісність із живленням 24 В

Сенсор працює від стандартного джерела живлення 24 В постійного струму, що є типовим для промислових і мобільних систем, включаючи електроживлення вагонетки.

6. Надійність та довговічність

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

Модель TL-136 зарекомендувала себе як надійний сенсор у багатьох аналогічних застосуваннях (сільське господарство, водопостачання, хімічна промисловість), завдяки чому її вибір знижує ризики виходу з ладу або помилкових показів.

Таким чином, сенсор TL-136 (4–20 мА, 0–1 м) є доцільним вибором для контролю рівня робочої рідини в баку обприскувальної системи тепличної вагонетки, забезпечуючи точність, надійність, простоту інтеграції та стійкість до впливу зовнішнього середовища.

Для забезпечення автоматичної зупинки або зміни напрямку руху вагонетки в системі обприскування рослин у теплиці було обрано фотоелектричний сенсор GTRIC E3JK з принципом дифузного відбиття, універсальним живленням 24–240 В AC/DC та релейним виходом (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – оптичний сенсор E3JK

Його вибір зумовлений такими технічними перевагами:

1. Безконтактне виявлення об'єктів на відстані

Сенсор працює за принципом дифузного відбиття: інфрачервоний промінь відбивається від поверхні об'єкта та повертається до приймача. Це дозволяє

надійно виявляти наявність об'єктів (наприклад, стіни теплиці, відбивачів або маркерів) на відстані до 50–80 см без необхідності монтажу другого елемента (як у бар'єрних або рефлекторних сенсорах).

2. Універсальне живлення

Пристрій підтримує широкий діапазон напруги живлення від 24 В до 240 В постійного або змінного струму, що забезпечує гнучкість при інтеграції в різні системи живлення без необхідності використання додаткових блоків живлення або перетворювачів.

3. Релейний вихід

Завдяки релейному контакту, сенсор сумісний з будь-яким типом виконавчих пристроїв: мікроконтролерами, реле, контакторами, контролерами ПЛК тощо. Це робить його універсальним рішенням без потреби в буферних схемах чи логічній адаптації сигналу.

4. Простота монтажу і налаштування

Сенсор має міцний корпус та стандартне кріплення, що дозволяє швидко встановити його на корпусі вагонетки або на опорних елементах. Наявність ручного регулювання чутливості дозволяє точно налаштувати відстань спрацювання відповідно до умов теплиці.

5. Стійкість до зовнішніх впливів

Фотоелектричний сенсор має захист від пилу та вологи (зазвичай клас IP65), що дозволяє йому ефективно працювати у вологому середовищі теплиці, навіть за умов підвищеної конденсації або туману.

6. Надійна робота в режимі реального часу

Сенсор швидко реагує на появу або зникнення об'єкта, що дає змогу реалізувати своєчасну зупинку вагонетки або зміну напрямку руху без затримок.

На рисунку 3.6 наведено призначення виводів даного модуля.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

Relay Output Wiring Guidelines

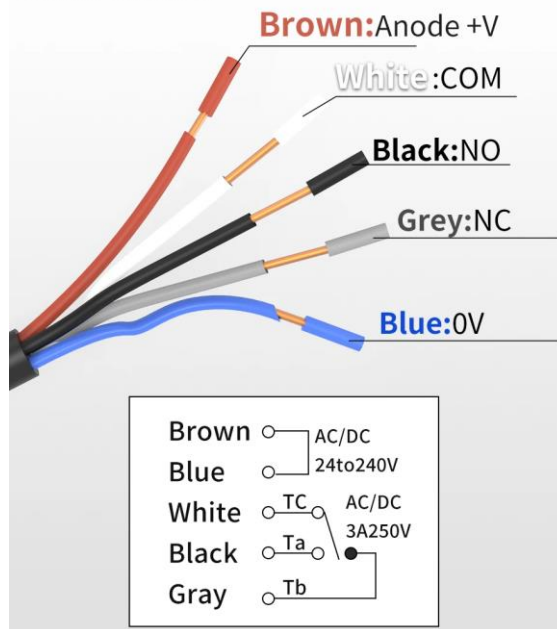


Рисунок 2.7 – Призначення виводів E3-JKDR11

Таким чином, сенсор GTRIC E3JK з дифузним відбиттям, релейним виходом та універсальним живленням є доцільним вибором для автоматизованої вагонетки в теплиці. Він забезпечує надійне виявлення об'єктів, просту інтеграцію в систему керування, а також стабільну роботу в складних експлуатаційних умовах.

Для реалізації надійної системи орієнтації автоматизованої вагонетки в тепличному середовищі обрано ультразвуковий сенсор A21 з діапазоном вимірювання 3–500 см та цифровим інтерфейсом RS485 (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд ультразвукового сенсора A21

Вибір цієї моделі зумовлений такими ключовими перевагами:

1. Широкий діапазон вимірювання (3–500 см)

Сенсор дозволяє визначати відстань як до близько розташованих об'єктів (в межах кількох сантиметрів), так і до далеких перешкод на відстані до 5 метрів. Це ідеально підходить для навігації вагонетки в теплиці — як для точного під'їзду до кінцевої точки, так і для виявлення об'єктів на маршруті.

2. Мінімальна сліпа зона — лише 2,5–3 см

Завдяки дуже малій сліпій зоні сенсор може точно фіксувати наближення до об'єкта навіть на мінімальній відстані, що значно покращує ефективність і безпеку зупинок вагонетки.

3. Інтерфейс RS485

Інтерфейс RS485 забезпечує надійний, завадостійкий обмін даними на великих відстанях (до 1000 м) та можливість підключення кількох пристроїв у шинну архітектуру. Це особливо важливо у великих тепличних комплексах або при використанні декількох сенсорів на одній лінії зв'язку.

4. Інтелектуальна обробка сигналу та фільтрація завад

Вбудовані алгоритми дозволяють сенсору розпізнавати та фільтрувати звукові перешкоди, зокрема від інших ультразвукових пристроїв тієї ж частоти. Це значно зменшує хибні спрацювання та підвищує стабільність роботи в умовах теплиці.

5. Регульований кут огляду

Сенсор підтримує налаштування кута огляду (одинарного або подвійного) від 50° до 90°, що дозволяє адаптувати його до різних сценаріїв — як для вузьконаправленої навігації, так і для широкої зони виявлення перешкод.

6. Широкий діапазон живлення: 3,3–24 В

Сенсор може працювати від різних джерел живлення без додаткових стабілізаторів, що спрощує його інтеграцію у наявну систему живлення вагонетки.

7. Захист від пилу та вологи (IP67)

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

Герметичний корпус дозволяє експлуатувати сенсор у вологому середовищі теплиці, навіть при наявності туману, пилу або бризок води під час обприскування.

8. Висока точність і швидка реакція

Сенсор швидко обробляє сигнали і надає стабільні вимірювання в режимі реального часу, що є критично важливим для безпечного та точного керування вагонеткою.



The front interface

PIN #	PIN name	PIN description	Remarks
1	VCC	Power input PIN	
2	GND	Ground	
3	RX/B	Function PIN	(1)
4	TX/A	Function PIN	(1)

Рисунок 2.9 – Призначення контактів роз'єму сенсора

Ультразвуковий сенсор A21 з інтерфейсом RS485 є технічно виправданим вибором для використання в автоматизованій вагонетці системи обприскування рослин. Він поєднує точність вимірювання, стійкість до завад, широкий діапазон відстаней, захист від впливу навколишнього середовища та промисловий стандарт зв'язку. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу системи у складних умовах тепличного середовища.

Для забезпечення тривалої автономної роботи автоматизованої вагонетки в умовах теплиці обрано акумуляторну батарею на основі літієвих елементів типу LiFePO₄ ємністю 280Ah (Рисунок 2.10) у поєднанні з системою керування

батареею (BMS) JK-PB2A16S20P, яка підтримує інтерфейс RS485 для моніторингу стану акумулятора в режимі реального часу.



Рисунок 2.10 – Призматична акумуляторна комірка LiFePO₄

Обрані акумуляторні елементи забезпечують великий запас енергії, що дозволяє вагонетці працювати протягом тривалого часу без підзарядки. Це особливо важливо для великих теплиць або при циклічній роботі протягом дня.

LiFePO₄ акумулятори мають високу термічну та хімічну стабільність, не схильні до самозаймання, мають тривалий ресурс (до 3000–5000 циклів заряду/розряду) та стійкість до глибокого розряду. Це робить їх ідеальними для стабільної роботи в агресивному середовищі теплиці.

BMS JK-PB2A16S20P (Рисунок 2.11) підтримує активне балансування, що вирівнює напругу між елементами батареї в режимі реального часу, підвищуючи ефективність і термін служби акумулятора. Крім того, вона забезпечує захист від перевантаження, перенапруги, перегріву, перерозряду, тощо.

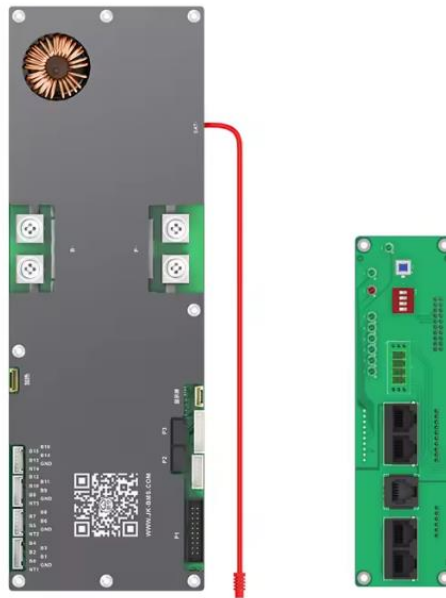


Рисунок 2.11 - BMS JK-PB2A16S20P

4. Інтерфейс RS485 для моніторингу

Завдяки вбудованому інтерфейсу RS485, BMS дозволяє інтегрувати акумуляторну систему з мікроконтролером або ПК для віддаленого контролю рівня заряду, температури, напруги кожної комірки, струму зарядки/розрядки тощо. Це дає змогу вчасно реагувати на несправності та забезпечити енергоефективне керування роботою вагонетки.

5. Масштабованість і гнучкість

Конфігурація 8-16S дозволяє будувати батареї з робочою напругою до 51,2 В, що добре підходить для живлення двигунів, контролерів і периферійних пристроїв вагонетки. У разі потреби система може бути масштабована шляхом паралельного з'єднання декількох блоків.

BMS дозволяє забезпечити великі струми розряду — необхідні для живлення потужних електродвигунів приводу вагонетки, водяної помпи та іншого обладнання.

Використання акумуляторів LiFePO₄ 280Ah у поєднанні з інтелектуальною BMS JK-PB2A16S20P з інтерфейсом RS485 забезпечує високу енергоємність, безпеку, довговічність і повноцінний контроль над живленням системи вагонетки. Такий вибір забезпечує надійність роботи автоматизованої техніки в

тепличному середовищі та дозволяє оптимізувати витрати енергії завдяки інтеграції з системами моніторингу.

Для реалізації автоматизованої системи керування рухом вагонетки та процесами обприскування рослин у теплиці було обрано програмований логічний контролер WAGO Compact Controller 100 (Рисунок 2.12).

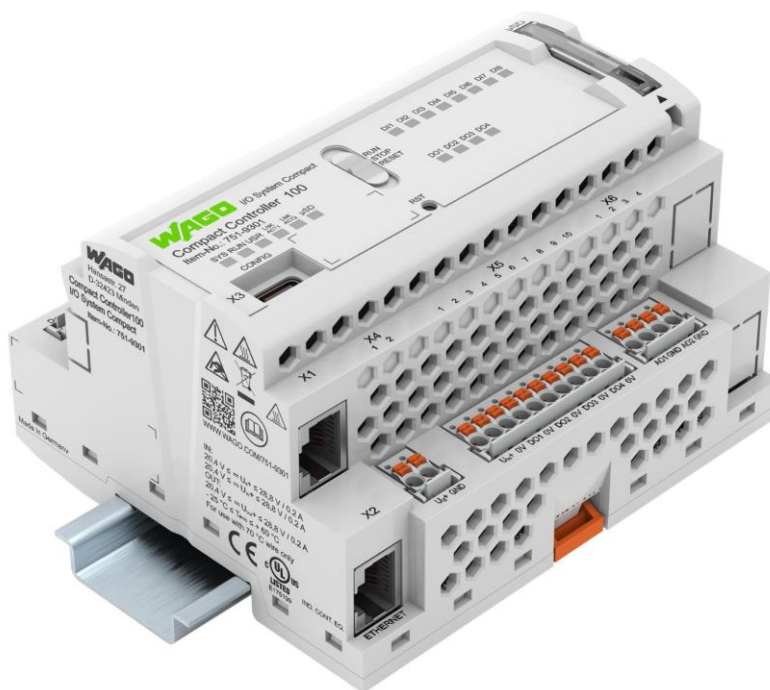


Рисунок 2.12 – Контролер WAGO Compact Controller 100

Вибір цього ПЛК обґрунтовано наступними ключовими технічними та функціональними перевагами:

1. Компактність та інтегровані входи/виходи

Контролер має вбудовані 8 цифрових входів, 4 цифрові виходи та 2 аналогові входи, що дозволяє підключити базові виконавчі механізми та датчики без зовнішніх модулів, зменшуючи габарити та складність монтажу.

Ідеально підходить для компактних мобільних систем, таких як вагонетка в теплиці, де важливі розміри та спрощена конструкція.

2. Підтримка програмування в середовищі CODESYS

Контролер повністю сумісний з IEC 61131-3 та підтримує програмування в середовищі CODESYS, що забезпечує зручну розробку, обслуговування та масштабування логіки керування.

Це дозволяє реалізовувати як просту дискретну автоматику, так і складні алгоритми — наприклад, оптимізацію маршруту або адаптивне дозування рідини.

3. Інтерфейси зв'язку (Modbus TCP, RTU, CAN, Web)

Контролер має Ethernet-порт для роботи по Modbus TCP, доступу через веб-інтерфейс, а також підтримує Modbus RTU через опційні модулі — це дає змогу інтегрувати:

- інтелектуальні датчики (рівня, тиску, температури),
- інвертори або драйвери двигунів з Modbus (наприклад, SmartDriveDuo),
- інтерфейс з диспетчерською системою або віддаленим моніторингом.

4. Висока надійність та промислове виконання

Виконання контролера розраховане на роботу в промислових умовах:

- робочий температурний діапазон,
- стійкість до електромагнітних завад,
- живлення від 24 VDC.

Це забезпечує стабільну роботу навіть у середовищах із підвищеною вологістю, як у теплицях.

5. Можливість розширення I/O

WAGO Compact Controller 100 підтримує розширення через I/O-модулі серії 750, що дозволяє легко додати нові входи/виходи при необхідності (наприклад, для керування додатковими помпами, вентиляторами або датчиками).

6. Підтримка веб-сервера та хмарної інтеграції

Можливість створення веб-інтерфейсу для візуалізації та налаштування параметрів (наприклад, режиму роботи, порогів обприскування).

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Підтримка MQTT/HTTP у старших моделях (через CODESYS), що дозволяє інтеграцію з системами моніторингу та аналітики, або навіть віддалене керування.

Вибір WAGO Compact Controller 100 обґрунтований його компактністю, готовністю до роботи без зовнішніх модулів, підтримкою промислових стандартів програмування (CODESYS, Modbus), високою надійністю та масштабованістю. Це робить його ідеальним рішенням для розумної вагонетки для теплиці, здатної адаптуватися до змін навантаження, керувати обприскуванням та інтегруватися в єдину систему моніторингу.

Для відображення стану роботи пристрою та його попередніх налаштувань зручно використовувати сенсорний дисплей наприклад контролер Panlee 480x480 (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Сенсорна панель Panlee 480x480

В даній сенсорній панелі використовується мікроконтролер ESP32-S3, який має безпроводні інтерфейси WiFi, Bluetooth, а також в самому пристрої є інтерфейс RS485, що дозволяє його доволі просто інтегрувати з системою керування на ПЛК.

Для керування помпами зручно використовувати твердотільне реле, оскільки сам ПЛК контролер містить транзисторні виходи зі струмом навантаження 500мА, що є недостатньо для під'єднання силового навантаження такого як помпи для оприскування.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

В даному випадку вибрано модель SSR-25DD (Рисунок 2.14)



Рисунок 2.14 – Твердотільне реле SSR-25DD

Дане реле працює з навантаженням з постійним струмом до 25А, що при навантаженні однієї помпи з струмом 2,3А дозволяє керувати кількома помпами з'єднаними паралельно, що необхідно при розміщенні форсунок з двох боків вагонетки та в залежності від кількості форсунок на один бік, оскільки для забезпечення достатньої продуктивності до однієї помпи не рекомендується під'єднувати більше 2-х форсунок.

Для можливості аварійної зупинки вагонетки пропонується використати аварійну кнопку типу «грибок». Дані кнопки є в кількох варіаціях, як для монтажу на панель (Рисунок 2.15а) так і в окремому корпусі (Рисунок 2.15б).



а)



б)

Рисунок 2.15 – Аварійна кнопка: а) – для монтажу на панель керування; б) в окремому корпусі.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

Для механізованої вагонетки для безпеки доцільно розмістити 2-ві такі кнопки. Одну на панелі керування, яка зазвичай знаходиться ззаду вагонетки та одну спереду вагонетки. Ці кнопки працюють на розмикання та їх можна з'єднати послідовно і використати в якості кнопки керування для BMS, що забезпечить керування живленням вагонетки.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Розроблення програмного забезпечення для сенсорного дисплею

Для реалізації інтерфейсу керування та моніторингу роботи вагонетки було розроблено програмне забезпечення для сенсорного дисплею з використанням бібліотеки LVGL (Light and Versatile Graphics Library). Це кросплатформна, легка і високопродуктивна графічна бібліотека з відкритим кодом, яка дозволяє створювати сучасні інтерфейси з використанням мікроконтролерів, навіть з обмеженими ресурсами.

Для прискорення розробки та візуального макетування інтерфейсу застосовано програмне забезпечення EEZ Studio, яке має вбудовану підтримку генерації LVGL-коду. Це дозволило інтерактивно проектувати вигляд екранів, кнопок, індикаторів, а також задати логіку взаємодії з головним контролером через стандартизований інтерфейс.

Архітектура обміну даними

Сенсорний дисплей взаємодіє з головним контролером за допомогою інтерфейсу RS485 з використанням протоколу Modbus RTU, що забезпечує надійну передачу даних навіть в умовах електромагнітних завад. Для цього була розроблена мапа реєстрів, яка розділена на два основні типи:

Регістри відображення — значення, які головний контролер надсилає для виведення на дисплей (наприклад, рівень рідини, стан виконання програми, швидкість).

Регістри керування та налаштувань — дані, які дисплей записує або змінює на запит користувача (наприклад, максимальна швидкість, параметри розгону, висота баку тощо).

Головний екран

На головному екрані дисплея реалізовано такі функції:

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

Відображення поточного стану системи — «Виконання» або «Стоп», відповідно до стану керування, отриманого від головного контролера.

Індикатор рівня рідини в баку у відсотках. Це значення обчислюється на основі аналогового сигналу від сенсора рівня з інтерфейсом 4–20 мА, що подається на АЦП контролера WAGO. Наприклад, при 12-бітному АЦП (0–4095) та робочому діапазоні сенсора 0–1 метр, можна отримати роздільну здатність до 1 мм, що дозволяє з високою точністю розраховувати рівень наповнення баку. Для цього в мапі реєстрів передбачено налаштування:

- максимальна висота баку (у мм),
- поточне значення з АЦП (у мм).

Рівень рідини у відсотках обчислюється за формулою:

$$\text{Рівень, \%} = \frac{\text{поточна висота}}{\text{максимальна висота}} \times 100$$

Відображення пройденої відстані вагонеткою. З використанням магнітного сенсора Холла, що рахує імпульси з шестерні двигуна, можна визначити відстань у міліметрах. В мапі реєстрів зберігається кількість імпульсів, а коефіцієнт перерахунку (наприклад, мм/імпульс) задається у налаштуваннях дисплея. Також реалізовано обчислення загального пройденого шляху у метрах.

Налаштування швидкості та профілю руху

З панелі керування користувач має можливість задати:

- максимальну швидкість руху у відсотках від номіналу (наприклад, 0–100%),
- час розгону та час сповільнення, що використовуються для побудови профілю плавного запуску та зупинки вагонетки.

Ці параметри записуються в окремі реєстри Modbus, які опитуються головним контролером перед запуском програми.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розроблене програмне забезпечення дозволяє зручно керувати процесом обприскування, моніторити стан системи та адаптувати її під різні параметри конкретної теплиці чи польової ділянки. Завдяки використанню протоколу Modbus та бібліотеки LVGL інтерфейс легко масштабувати та доповнювати новими функціями у майбутньому.

Таблиця реєстрів сенсорного дисплею наведено на рисунку 3.1.

Адреса (десятькова)	Регістр (Modbus)	Опис	Тип	Напрямок	Коментар
0	40001	Стан програми (0 – стоп, 1 – виконання)	Holding	Вихід	Відображення стану на головному екрані
1	40002	Поточна висота рідини (мм)	Holding	Вхід	Отримано з АЦП контролера (0–1000 мм)
2	40003	Максимальна висота баку (мм)	Holding	Вихід	Налаштовується з дисплея
3	40004	Відсоток заповнення баку (%)	Holding	Обчислюється	Відображається на дисплеї
4	40005	Кількість імпульсів шляху	Holding	Вхід	Від магнітного сенсора на шестерні
5	40006	Коефіцієнт перерахунку (мм/імп)	Holding	Вихід	Встановлюється з дисплея
6	40007	Розрахована пройдена відстань (мм)	Holding	Обчислюється	Відображається у метрах на дисплеї
7	40008	Максимальна швидкість (%)	Holding	Вихід	Користувач встановлює на дисплеї
8	40009	Час розгону (мс)	Holding	Вихід	Задається з дисплея
9	40010	Час сповільнення (мс)	Holding	Вихід	Задається з дисплея
10	40011	Статус акумулятора (%)	Input	Вхід	Від BMS або контролера
11	40012	Стан: помпа лівого ряду (0/1)	Coil	Вхід	Сигнал із перемикача для відображення на дисплеї
12	40013	Стан: помпа правого ряду (0/1)	Coil	Вхід	Сигнал із перемикача для відображення на дисплеї
13	40014	Стан: помпа дренажу (0/1)	Coil	Вхід	Сигнал із перемикача для відображення на дисплеї

Рисунок 3.1 - Таблиця реєстрів сенсорного дисплею

Пояснення форматів:

Holding Register (R/W) — 16-бітне значення, яке можна як читати, так і записувати.

Input Register (R) — тільки для читання (наприклад, передається від головного контролера).

Coil (R/W) — одно-бітні значення (наприклад, перемикачі та керування насосами).

Обчислення у дисплеї:

Відсоток рівня рідини:

$$\text{percent} = (\text{висота} / \text{максимальна_висота}) * 100$$

Пройдений шлях (метри):

$$\text{шлях_мм} = \text{імпульси} * \text{коєф_мм}$$

$$\text{шлях_м} = \text{шлях_мм} / 1000$$

На рисунку 3.1 наведено головний екран дисплею на якому відображаються наступні елементи:

- статус (виконання програми чи стоп)
- об'єм розчину у відсотках;
- заряд акумулятора;
- помпи (дренаж; ліва; права);
- пройдений шлях або залишок шляху.

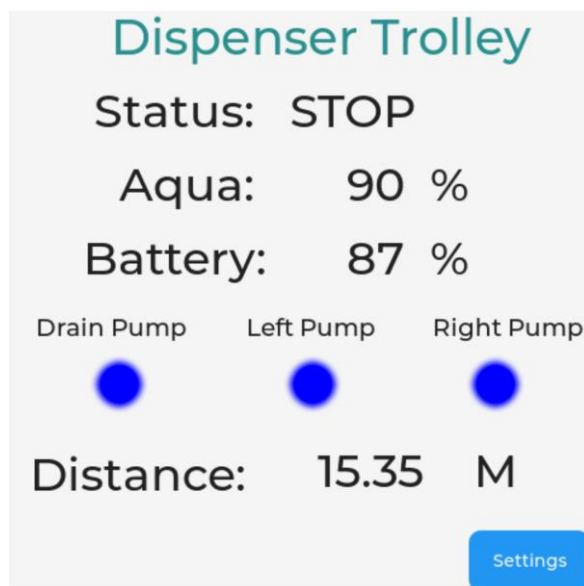


Рисунок 3.1 - Головний екран дисплею

Для можливості налаштування роботи вагонетки передбачено меню налаштувань (рисунок 3.2).

В даному меню можна налаштувати параметри роботи пристрою, зокрема такі як:

- висоту бака;
- відстань на імпульс;
- максимальна швидкість у %;
- швидкість сповільнення;
- дистанцію на котрій починається сповільнення;
- дистанцію зупинки з якої починається робочий хід.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

Дані налаштування дозволяють коректно відображати параметри роботи на дисплеї, хоча на роботу самої вагонетки не повинні впливати

The screenshot shows a configuration menu with a 'Back' button at the top left and a 'Test' button at the top right. The menu lists the following parameters and their current values, each with a 'Change' button to its right:

- Max aqua level: 650
- mm per pulse: 127
- Max speed, %: 50
- Slowdown, ms: 1000
- Slowdown distance, sm: 300
- Stop distance, sm: 50

Рисунок 3.2 – Меню налаштувань

Для тестування роботи окремих вузлів передбачено візуалізацію тестування (рисунок 3.3). В даному меню зараз лише один тест, це тестування роботи оприскувачів, оскільки вони вмикаються тільки в робочому циклі, тому для тестування їх роботи зручно винести це в меню.

The screenshot shows a menu titled 'Test Dispenser' with a 'Back' button at the top left. In the center of the menu is a large blue button labeled 'Dispenser ON/OFF'.

Рисунок 3.3 – Меню тестування

Для можливості налаштування значень розроблено візуалізацію налаштувань цифрових значень (рисунок 3.4).

Рисунок 3.4 – Візуалізація встановлення цифрових значень

В даній візуалізації за допомогою кнопок +/- 100, +/- 10 та +/- 1 можна встановити необхідне значення параметру та зберегти його.

3.2 Розроблення програмного забезпечення контролера

Розробка програмного забезпечення (ПЗ) для керування вагонеткою обприскування рослин виконувалась у середовищі CODESYS V3.5 [15] з використанням мови програмування Structured Text (ST) відповідно до стандарту ІЕС 61131-3. Як центральний елемент керування застосовано Wago Compact Controller 100 (750-8212) з підтримкою Modbus RTU по RS485, що забезпечує надійний обмін даними з периферійними пристроями.

Архітектура ПЗ побудована з урахуванням модульності, діагностики та можливості розширення. До основних функціональних блоків належать:

CycleManager — реалізація основного алгоритму роботи вагонетки;

MotionControl — керування швидкістю, прискоренням та зупинкою;

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

SprayControl — контроль роботи pomp (ліва, права, дренажна);

SensorInterface — зчитування значень від сенсорів (ультразвуковий, Холла, інфрачервоні);

ModbusComm_HMI — обмін з сенсорним дисплеєм по Modbus RTU;

ModbusComm_BMS — зчитування даних з Jikong BMS по Modbus RTU;

SafetyManager — обробка сигналів від аварійних ІЧ-сенсорів, аварійна зупинка.

3.3.1 Інтерфейс з HMI-дисплеєм

Взаємодія з оператором відбувається через сенсорний дисплей з підтримкою Modbus RTU. Комунікація організована через шину RS485, у якій ПЛК виступає Master, а HMI — Slave. Через дисплей відображаються:

Поточний статус системи: СТОП / РОБОТА / ОЧІКУВАННЯ;

Об'єм розчину у відсотках (на основі рівня або висоти бака);

Заряд акумулятора (зчитується з BMS);

Стан pomp: ліва / права / дренаж;

Пройдений або залишковий шлях.

Налаштування, доступні через HMI, дані параметри наведені на рисунку

3.5

Параметр	Тип даних	Призначення
Висота бака (мм)	UINT	Використовується для обчислення рівня
Відстань на імпульс (мм)	UINT	Шлях, який проходить вагонетка за 1 імпульс з сенсора Холла
Максимальна швидкість (%)	UINT	Встановлюється у відсотках від номіналу
Швидкість сповільнення (%)	UINT	Параметр зменшеної швидкості
Дистанція початку сповільнення (м)	REAL	Коли почати гальмування
Дистанція запуску робочого ходу (м)	REAL	З якої точки починається обприскування

Рисунок 3.5 – Параметри налаштувань з HMI

Значення зчитуються через відповідні Holding-реєстри, а змінні контролера оновлюються циклічно.

3.3.2 Інтерфейс з BMS Jikong

Комунікація між Wago Compact Controller 100 [14] і Jikong BMS виконується по Modbus RTU через інтерфейс RS-485 (порт UART1), налаштований на протокол Modbus V1.0.

Контролер виконує періодичний запит (наприклад, кожні 500 мс) до BMS з адресу Slave 1 для збору ключових параметрів живлення. На рисунку 3.6 наведено основні Modbus реєстри, значення яких використовується в вагонетці.

Адреса (дец.)	Реєстр Holding	Параметр	Опис
10001	UINT16	Загальна напруга ($\times 0.1$ В)	Загальна батарея, наприклад 1225 $\rightarrow$ 122.5 В
10002	INT16	Загальний струм ($\times 0.1$ А)	Розряд = позитивний, заряд = негативний
10003	UINT16	SOC – заряд акумулятора (%)	Діапазон 0–100
10004	INT16	Температура ($^{\circ}\text{C} \times 10$)	Наприклад 255 $\rightarrow$ 25.5 $^{\circ}\text{C}$
10005	UINT16	Балансування ОС-флаг	0 = без балансування, 1 = активне балансування

Рисунок 3.6 – Перелік Modbus реєстрів JK-BMS для вагонетки

У CODESYS через функціональний блок Modbus RTU Master реалізується циклічний опит BMS. Структура зчитування виглядає так:

```
// Виклик FB для зчитування реєстрів від Slave адресою 1
modbusRead (
    xExecute := TRUE,
    uiSlaveAddr := 1,
    eFunction := EUC_ReadHoldingRegisters,
    uiStartAddr := 0,      // офсет 0 => адреса 10001
    uiQuantity := 5,      // читаємо 5 реєстрів
```

```

        pDataBuf := ADR(bmsDataBuffer)
    );
    IF modbusRead.bDone THEN
        bmsVoltage := bmsDataBuffer[0] * 0.1; // Вольти
        bmsCurrent := bmsDataBuffer[1] * 0.1; // Амperi
        bmsSOC      := bmsDataBuffer[2];      // відсотки
        bmsTemp     := bmsDataBuffer[3] / 10; // градуси Цельсія
        bmsBalFlag  := bmsDataBuffer[4] = 1;  // флаг балансування
    END_IF

```

SOC передається на HMI для відображення заряду батареї.

Напруга та температура можуть використовуватись для діагностики або обмеження роботи помп.

У випадку низького заряду (наприклад, SOC < 20 %) – ПЛК може заборонити старт циклу, показати аварійне повідомлення або перейти до режиму очікування.

Якщо BMS не відповідає або повернулась некоректна CRC (Modbus помилка), контролер змінює статус на "Комунікаційна помилка BMS", виводить попередження на HMI і блокує функції руху чи обприскування.

Структура буфера для зчитування реєстрів

У глобальному просторі даних або в програмному модулі створюється буфер типу ARRAY [0..4] OF WORD, що прийматиме дані з 5 послідовних регістрів Jikong BMS:

```

VAR_GLOBAL
    bmsDataBuffer : ARRAY[0..4] OF WORD; // зберігає сирі дані
з BMS

    bmsVoltage      : REAL;           // Напруга в Вольтах
    bmsCurrent      : REAL;           // Струм в Амперах
    bmsSOC           : UINT;           // Статус заряду %
    bmsTemp         : REAL;           // Температура в °C
    bmsBalFlag      : BOOL;           // Балансування активне
END_VAR

```

Обробка у програмі

У циклі PLC_PRG зчитуємо буфер і конвертуємо в реальні значення:

```
bmsVoltage := bmsDataBuffer[0] * 0.1;      // Напруга (в Вольтах)
bmsCurrent := INT_TO_REAL(TO_INT(bmsDataBuffer[1])) * 0.1; //
Струм (в Амперах)
bmsSOC      := bmsDataBuffer[2];            // Заряд у %
bmsTemp     := INT_TO_REAL(TO_INT(bmsDataBuffer[3])) / 10.0; //
Температура °C
bmsBalFlag  := bmsDataBuffer[4] = 1;       // Балансування
```

Інтерфейс з Jikong BMS через RS-485 Modbus RTU дозволяє ефективно інтегрувати дані живлення у загальну систему управління вагонеткою. Використання реальних Modbus-адрес із специфікації забезпечує коректність та надійність передачі ключових параметрів: напруги, струму, SOC, температури та балансу. Зібрані дані використовуються в логіці безпеки та оператора, гарантуючи стійку та захищену роботу системи.

Алгоритм робочого циклу

Програмне забезпечення реалізує покроковий робочий цикл, заснований на сигналах із сенсорів, командах оператора та параметрах, заданих через НМІ:

1. Ініціалізація

Вагонетка встановлена у вихідній позиції. Після натискання кнопки "СТАРТ" на НМІ запускається цикл.

2. Рух уперед

Контролер активує мотор та поступово збільшує швидкість до заданої межі. Визначення дистанції до стіни виконується за даними з ультразвукового сенсора A21 (RS485).

3. Сповільнення

Коли до кінцевої точки залишається задана дистанція, система зменшує швидкість згідно з параметром «швидкість сповільнення».

4. Зупинка

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

При досягненні заданої точки (на основі імпульсів сенсора Холла), система зупиняє мотор. Після стабілізації положення — переходить до обприскування.

5. Обприскування

Відповідно до стану перемикачів/параметрів, вмикаються одна або обидві помпи. Тривалість обприскування налаштовується або триває весь зворотний шлях.

6. Зворотний рух

Вагонетка починає рух назад. Активне обприскування продовжується. Система слідує за лічильником шляху до повернення у вихідну точку.

7. Завершення циклу

Після досягнення початкового положення вагонетка зупиняється, обприскування вимикається. Система переходить у режим очікування нового запуску.

Реалізація безпеки

Для гарантування безпеки операторів і запобігання зіткненням, по обидва боки вагонетки встановлені інфрачервоні датчики відстані з релейним виходом. У разі виявлення перешкоди (сигнал активний при близькій відстані), система миттєво виконує аварійну зупинку:

- Вимикається мотор.
- Вимикаються всі помпи.

На НМІ виводиться повідомлення: «АВАРІЙНА ЗУПИНКА: ПЕРЕШКОДА».

Ця подія обробляється у SafetyManager як пріоритетна, з можливістю заблокувати подальші дії до втручання оператора (наприклад, натискання кнопки «СКИНУТИ» на НМІ).

Розроблене програмне забезпечення для Wago Compact Controller 100 в середовищі CODESYS забезпечує повний життєвий цикл автоматизованої роботи вагонетки для обприскування рослин. Програма реалізує зручне керування рухом, точне позиціонування, контроль помп, взаємодію з НМІ та BMS, а також пріоритетну обробку аварійних ситуацій для безпеки оператора. Завдяки

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

застосуванню Modbus RTU, система залишається відкритою для розширення та інтеграції з іншими пристроями.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній роботі розроблено програмне забезпечення для контролера системи автоматизованого обприскування рослин, що реалізується на базі програмованого логічного контролера WAGO Compact Controller 100.

У процесі виконання роботи було:

- проведено аналіз вимог до автоматизованих систем догляду за рослинами в тепличному господарстві;
- сформовано технічне завдання до системи обприскування з урахуванням вимог до безпеки, надійності та гнучкості керування;
- розроблено архітектуру програмного забезпечення з використанням мови програмування ST у середовищі CODESYS;
- реалізовано обробку основного робочого алгоритму руху вагонетки, в тому числі режимів прискорення, сповільнення, зупинки, обприскування та зворотного ходу з урахуванням вхідних параметрів і сенсорних даних.

Програмне забезпечення забезпечує взаємодію з ультразвуковим сенсором відстані, датчиком Холла та перемикачами режимів, а також виконує контроль безпечної зупинки за сигналами від інфрачервоних датчиків з релейним виходом. Окрему увагу приділено зв'язку з Jikong BMS по протоколу Modbus RTU, що дозволяє зчитувати дані про напругу, струм, температуру та рівень заряду акумулятора для подальшого відображення на НМІ та прийняття рішень у логіці керування.

Через той самий інтерфейс RS-485 реалізовано обмін із сенсорним дисплеєм (НМІ), що використовується для виведення поточного стану системи та параметрів роботи, а також введення налаштувань оператором: висоти бака, швидкості руху, дистанцій гальмування та зупинки тощо.

Розроблене програмне забезпечення є модульним, розширюваним і може бути адаптоване до нових умов експлуатації або доповнене іншими функціями, наприклад, збором статистики або дистанційним керуванням. Застосування

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

протоколів Modbus та типових сенсорів забезпечує сумісність із великою кількістю промислових пристроїв, що робить систему гнучкою й придатною до масштабування.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Munckhof Spraying Systems – Official website. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.munckhof.org/spraying-technology> – Назва з екрана.
2. TAVA Systems – Greenhouse Automation Solutions. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tavasystems.com> – Назва з екрана.
3. Gremon Systems – Data-driven horticulture. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gremonsystems.com> – Назва з екрана.
4. Spray Robot S55: Intelligent greenhouse sprayer. – S.S. Equipment Co., Ltd. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ssgreenhouse.com/product/spray-robot-s55> – Назва з екрана.
5. Qii-Jet TAH-342 Spraying Robot – Qii-Machines NV. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.qii-machines.be/en/products/qii-jet-tah-342> – Назва з екрана.
6. LVGL - Light and Versatile Graphics Library [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lvgl.io> – Назва з екрана.
7. Panlee Touch Display 480×480, 4.0 inch – Panlee Electronics Co., Ltd. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.panlee.com.cn> – Назва з екрана.
8. JK BMS Communication Protocol for Smart Battery Management System JK-PB2A16S20P [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.jkbms.com> – Назва з екрана.
9. Шматко О. П. Основи проектування систем автоматизованого управління : навч. посіб. / О. П. Шматко. – Дніпро : ДНУ, 2020. – 211 с.
10. Журавель В. С. Сенсорні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. / В. С. Журавель. – К. : НАУ, 2020. – 148 с.
11. Ткаченко І. С. Інформаційні технології в агропромисловому комплексі : монографія / І. С. Ткаченко. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 198 с.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

- 12.Власенко С. Ю. Автоматизовані системи управління в аграрному секторі : навч. посіб. / С. Ю. Власенко. – К. : НАУ, 2023. – 176 с.
- 13.Сидоренко В. О. Інтелектуальні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. / В. О. Сидоренко. – Суми : СНАУ, 2021. – 154 с.
- 14.WAGO. Compact Controller 100 (Item No. 751-9301) / сайт WAGO. – [без дати публікації]. – Режим доступу: wago.com/global/plcs---controllers/compact-controller-100/p/751-9301
- 15.3S-Smart Software Solutions. CoDeSys – The IEC 61131-3 Programming System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.codesys.com> – Назва з екрана.

					ДП.АКІТ.9702396.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А

```

VAR_GLOBAL
    bmsDataBuffer : ARRAY[0..4] OF WORD; // Буфер для Modbus
    bmsVoltage     : REAL;
    bmsCurrent     : REAL;
    bmsSOC         : UINT;
    bmsTemp        : REAL;
    bmsBalFlag     : BOOL;

    statusText     : STRING[50];
    sprayActive    : BOOL;
    isForward      : BOOL;
    emergencyStop  : BOOL;
END_VAR

(* === Інтерфейс Modbus до BMS === *)
FUNCTION_BLOCK BMS_Reader
VAR_INPUT
    xExecute : BOOL;
END_VAR
VAR
    modbusRead : ModbusMasterFB; // вбудований FB у CoDeSys
END_VAR

modbusRead(
    xExecute := xExecute,
    uiSlaveAddr := 1,
    eFunction := EUC_ReadHoldingRegisters,
    uiStartAddr := 0,
    uiQuantity := 5,
    pDataBuf := ADR(bmsDataBuffer)
);

IF modbusRead.bDone THEN
    bmsVoltage := bmsDataBuffer[0] * 0.1;
    bmsCurrent := INT_TO_REAL(TO_INT(bmsDataBuffer[1])) * 0.1;
    bmsSOC := bmsDataBuffer[2];
    bmsTemp := INT_TO_REAL(TO_INT(bmsDataBuffer[3])) / 10.0;
    bmsBalFlag := bmsDataBuffer[4] = 1;
END_IF

```

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

```

(* === Safety Manager === *)
FUNCTION_BLOCK SafetyManager
VAR_INPUT
    irSensorFront : BOOL;
    irSensorBack  : BOOL;
    emergencyBtn   : BOOL;
END_VAR

emergencyStop := irSensorFront OR irSensorBack OR emergencyBtn;
IF emergencyStop THEN
    statusText := 'АВАРІЙНА ЗУПИНКА: ПЕРЕШКОДА';
    sprayActive := FALSE;
    isForward    := FALSE;
END_IF

(* === Motion Control === *)
FUNCTION_BLOCK MotionControl
VAR_INPUT
    startCmd : BOOL;
    stopCmd  : BOOL;
    direction : BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    motorEnable : BOOL;
END_VAR

IF emergencyStop THEN
    motorEnable := FALSE;
ELSE
    IF startCmd THEN
        isForward := direction;
        motorEnable := TRUE;
    ELSIF stopCmd THEN
        motorEnable := FALSE;
    END_IF
END_IF

(* === Spray Control === *)
FUNCTION_BLOCK SprayControl
VAR_INPUT
    enable : BOOL;
    leftPump : BOOL;
    rightPump : BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    pumpLeftOn : BOOL;
    pumpRightOn : BOOL;
END_VAR

IF enable AND NOT emergencyStop THEN
    pumpLeftOn := leftPump;
    pumpRightOn := rightPump;

```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

```

        sprayActive := TRUE;
ELSE
    pumpLeftOn := FALSE;
    pumpRightOn := FALSE;
    sprayActive := FALSE;
END_IF

(* === PLC_PRG === *)
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    bms      : BMS_Reader;
    motion   : MotionControl;
    spray     : SprayControl;
    safety    : SafetyManager;
END_VAR

bms(xExecute := TRUE);

safety(
    irSensorFront := %I0.0,
    irSensorBack  := %I0.1,
    emergencyBtn  := %I0.2
);

motion(
    startCmd := %I1.0,
    stopCmd  := %I1.1,
    direction := %I1.2
);

spray(
    enable := %I1.3,
    leftPump := %I1.4,
    rightPump := %I1.5
);

```

					ДП.АКІТ.9702474.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		