

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та
телекомунікацій

_____ (підпис) _____ (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Дослідження та розробка системи автоматичного керування
гідропонною установкою»

Виконав студент 2 курсу, групи СУАм-22
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Пономаренко Ігор Сергійович

_____ (Прізвище, Ім'я та По-батькові)

(підпис)

Керівник к.т.н., доц. каф.АТ _____ Ганна ТЕЛИЧКО
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент доцент кафедри ЕТ, к.т.н., доцент _____ Олександр ШТЕПА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент зав.каф ЕЛІН, к.т.н., доцент _____ Олександр КОЛЛАРОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

19.12.2023 р.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота магістра

Тема: «Дослідження та розробка системи автоматичного керування гідропонною установкою»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. СУАм-22

Ігор ПОНОМАРЕНКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Ганна ТЕЛИЧКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Ганна ТЕЛИЧКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Ім'я ПРІЗВИЩЕ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Ім'я ПРІЗВИЩЕ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк – 2023 р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

Кафедра Автоматика та телекомунікації

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

(шифр і назва)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АТ

« _____ » _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Пономаренко Ігорю Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження та розробка системи автоматичного керування гідропонною установкою»

керівник проекту (роботи) Теличко Ганна Олександрівна, к.т.н., доц. каф. АТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.09.2023 року № 478

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз NFT-гідропонної системи як об'єкту комп'ютерно-інтегрованої системи управління; розробка структурної схеми і алгоритму роботи комп'ютерно-інтегрованої системи управління; розробка архітектури прототипу комп'ютерно-інтегрованої системи управління NFT-гідропонікою; дослідження ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи управління з використанням засобів імітаційного моделювання; апаратна реалізація комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонікою; створення застосунку інтерпретації даних для комп'ютерно-інтегрованої системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Типові структури гідропонних систем, принципова схема NFT-гідропоніки,
алгоритм та структурна схема комп'ютерно-інтегрованої системи, структура
комп'ютерно-інтегрованої IoT системи управління, структура регулятора
нейронної мережі, архітектура хмарного середовища.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теличко Г.О., к.т.н., доц.		
2	Консультант 1		
3	Консультант 2		
Додаток А	Сімонова Ю. асистент		
Нормо-контроль	Жуковська Д.О., асистент	-	19.12.2023 р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд гідропонних систем.	25.09.2023	
2	Аналіз NFT-гідропонної системи як об'єкту комп'ютерно-інтегрованої системи управління	10.10.2023	
3	Розробка структурної схеми і алгоритму роботи комп'ютерно-інтегрованої системи управління	25.10.2023	
4	Розробка архітектури прототипу комп'ютерно-інтегрованої системи управління NFT-гідропонікою.	06.11.2023	
5	Дослідження ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи управління з використанням засобів імітаційного моделювання	18.11.2023	
6	Апаратна реалізація комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонікою	04.12.2023	
7	Створення застосунку інтерпретації даних для комп'ютерно-інтегрованої системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки	10.12.2023	
8	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.	12.12.2023	
9	Оформлення та захист.	20.12.2023	

Студент

_____ **Ігор ПОНОМАРЕНКО**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Ганна ТЕЛИЧКО**
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРИЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Пономаренко І.С. Дослідження та розробка системи автоматичного керування гідропонною установкою / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2023.

Пояснювальна записка: 91 стор., 29 рис., 1 табл., 28 посилань.

В роботі досліджено структурні та алгоритмічні рішення для побудови комп'ютерно-інтегрованої системи управління NFT-гідропонікою, розроблено комп'ютерно-інтегровану систему з застосуванням мікропроцесорної техніки наряду з сервісами Інтернету Речей та застосуванням хмарних середовищ для збору даних, проведення обчислень та аналітики. Підтверджено можливість використання нейронної мережі як керуючої частини системи гідропоніки.

Виконана робота може бути використана фермерами для зниження витрат енергії на вирощування рослин без зниження продуктивності гідропоніки. Проведено апаратний синтез складових комп'ютерно-інтегрованої системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки на базі прийнятих структурно-логічних і алгоритмічних рішень. В основну апаратної реалізації в повному обсязі покладена концепція Інтернету Речей, що дозволяє взаємодіяти датчикам та виконавчим пристроям без використання аналітичних спроможностей людини – оператора системи.

Ключові слова: NFT-ГІДРОПОНІКА, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, ІОТ, НЕЙРОМЕРЕЖА, ДАТЧИК, КОНТРОЛЕР, THING BOARDS.

Перелік публікацій:

Застосування Fuzzy-логіки для управління технологічним процесом в гідропонних установках/ Теличко Г.О., Ступак Г.В., Пономаренко І.С. // Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК2023»: телекомунікації, автоматизація, комп'ютерно-інформаційні технології, 5-6 грудня 2023 р.: збірка доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Луцьк, 2023. – С. 187 – 189.

ABSTRACT

Ponomarenko Ihor. Research and development of an automatic control system for a hydroponic plant / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree "Master" in specialty 151 «Automation and computer-integrated technologies" - SHEE DonNTU Lutsk, 2023.

Explanatory note: 91 pages, 29 figures, 1 tables, 28 references

Structural and algorithmic solutions for building a computer-integrated NFT-hydroponics management system were investigated in the work, a computer-integrated system was developed using microprocessor technology along with Internet of Things services and the use of cloud environments for data collection, calculations and analytics. The possibility of using a neural network as a control part of the hydroponics system has been confirmed.

The work done can be used by farmers to reduce energy costs for growing plants without reducing the productivity of hydroponics. A hardware synthesis of the components of the computer-integrated control system and adaptive control of NFT-hydroponics parameters was carried out on the basis of the adopted structural-logical and algorithmic solutions. The concept of the Internet of Things, which allows sensors and executive devices to interact without using the analytical capabilities of a person - the system operator, is fully at the heart of the hardware implementation.

Keywords: NFT-HYDROPONICS, COMPUTER INTEGRATED CONTROL SYSTEM, IOT, NEURAL NETWORK, SENSOR, CONTROLLER, THING BOARDS.

Publisher publication list:

Application of Fuzzy logic for managing the technological process in hydroponic installations / Telychko H.O., Stupak H.V., Ponomarenko I.S. // All-Ukrainian Scientific and Practical Forum "TAK2023": Telecommunications, Automation, Computer and Information Technologies, December 5-6, 2023: collection of reports - SHEI "DonNTU", Lutsk, 2023. - P.187-189.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ГІДРОПОННИХ СИСТЕМ.	14
1.1 Актуальність використання технологій гідропоніки в сільському господарстві.....	14
1.2 Гідропонні системи та їх класифікація.....	16
1.3 Вибір системи гідропоніки для подальшого дослідження і ключові характеристики, які потребують контролю і управління в технологічному процесі.....	23
Висновки до розділу 1	27
2 АНАЛІЗ NFT-ГІДРОПОННОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТУ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	29
2.1 Структурна схема і алгоритм роботи комп'ютерно-інтегрованої системи управління.....	31
2.2 Ключові параметри контролю	35
2.3 Архітектура прототипу комп'ютерно-інтегрованої системи управління NFT-гідропонікою.....	38
Висновки до розділу 2	44
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	46
3.1 Аналіз існуючих підходів.....	46
3.2 Розробка структури системи управління гідропонікою та моделювання з використанням нейронної мережі	49
Висновки до розділу 3	61
4 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГІДРОПОНІКОЮ.....	62
4.1 Структурна організація з'єднань комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонікою.....	62
4.2 Апаратна конфігурація комп'ютерно-інтегрованої системи.....	69

4.3 Застосунок інтерпретації даних для комп'ютерно-інтегрованої системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки	74
Висновки до розділу 4	76
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві.....	84

ВСТУП

Актуальність роботи. Населення планети Земля стрімко збільшується, а екологічні умови погіршуються. Ці фактори, в комплексі і опосередковано, призводять до зниження рівня життя та збільшення проблем з забезпеченням на належному рівні продовольством. Організація Об'єднаних Націй намітила 17 пріоритетних цілей, які покликані сприяти розвитку людства на найближчі роки. Серед актуальних цілей, які матимуть істотний вплив на подолання проблем пов'язаних з забезпеченням продовольства є Ціль сталого розвитку №2 «Подолання голоду. Подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування та сприяння сталому розвитку сільського господарства» та Ціль сталого розвитку №12 «Відповідальне споживання та виробництво. Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання та виробництва». Відповідно, максимальні зусилля науковців в останній час сконцентровані саме на досягненні саме цих цілей. Окрім спеціалізованих напрямів досліджень і окремих галузей знань, істотний вплив на досягнення цих Цілей мають саме комп'ютерно-інтегровані технології. Вплив систем автоматизації не варто недооцінювати, завдяки використанню систем управління можна досягти значної економії ресурсів, оптимізації процесів, покращення якості продукції. Це особливо важливо для швидкого прийняття рішень в умовах обмежених ресурсів і впровадженні підходів циркулярної економіки та ощадливого виробництва.

Підвищення рівня продовольчої безпеки можна досягти за рахунок впровадження систем автоматизації в агросекторі. На сьогоднішній день, один із перспективних напрямів розвитку в агросекторі є застосування систем гідропоніки для економного і швидкого вирощування екологічно чистих продуктів. Даний напрям є високотехнологічним і від якості та дозування поживних сумішей напряму залежить ефективність даного способу вирощування сільськогосподарської продукції.

Метою роботи є зменшення витрати ресурсів на функціонування гідропонних систем вирощування рослин.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз та класифікацію існуючих систем гідропоніки;
- провести аналіз факторів, що мають вплив на процес вирощування і якість рослин з використанням гідропонних установок;
- розглянути існуючі рішення з автоматизації гідропонних систем та способи управління;
- визначити основні складові а також підходи до проектування комп'ютерно-інтегрованих систем в галузі сільського господарства та рослинництва;
- зробити нарис майбутньої системи автоматизації;
- розробити структурне рішення і архітектуру комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонною установкою;
- запропонувати рішення з управління та провести моделювання комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонної установки;
- вибір компонентів комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонної установки;
- якісна та кількісна оцінка отриманих результатів щодо проектування і моделювання автоматичної комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонною установкою.

Об'єктом дослідження є гідропонні системи вирощування рослин системи.

Предметом є система автоматичного керування гідропонною установкою.

В роботі застосовано наступні **методики**: літературний огляд, статистичний метод, проектування, імітаційне моделювання та програмування.

Практична значимість результатів роботи полягає в наступному: робота може бути використана фермерами для зниження витрат енергії на вирощування рослин без зниження продуктивності гідропоніки. Технологія може бути реалізована як у домашніх системах гідропоніки, так і в сіті-фермах з можливістю інтеграції в енергозберігаючі житлові приміщення та системи розумного будинку.

Пояснювальна записка до даної роботи загалом складається зі вступу, 4-х основних розділів, загального висновку, переліку літератури та 1-го додатку з охорони праці на підприємстві. Об'єм та структура роботи є такими: 91 сторінка; таблиць – 1; рисунків – 29; використаних літературних джерел – 28; 1 додаток на 6 сторінках.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ГІДРОПОННИХ СИСТЕМ

1.1 Актуальність використання технологій гідропоніки в сільському господарстві

З кожним роком все більше і більше країн стикаються з продовольчими кризами та долають виклики пов'язані з голодом. Це пов'язано з такими факторами як збільшення населення на планеті, зменшення земель, придатних до вирощування сільгоспкультур, зміна клімату. Раніше придатні для сільського господарства землі стають непридатними через виснаження, зміни клімату та банальну забудову. Для подолання цих викликів вчені працюють над створенням нових сортів рослин, що не такі вибагливі до навколишнього середовища. Навіть поява нових витривалих видів не дозволяє в повному обсязі вирішити ці проблеми, перш за все через брак площ для сільськогосподарської діяльності і по друге через брак ресурсів (вода, добрива і т.д.). Враховуючи прогресуючу динаміку зміни кліматичних умов, все більш вигідним є вирощування рослин у закритих просторах, під штучним освітленням, протягом цілого року в межах міської межі, і таку проблему може вирішити використання тепличного господарства. Але в той же час, як показує практика, тепличні комплекси закритого типу (вирощування в землі) мають ряд недоліків:

- розвиток патогенів, що згубно впливають на якість продукції та врожайність;
- перевитрата водних ресурсів;
- відсутність контролю якості харчування рослин та як результат можливий підвищений рівень нітратів;
- віддалене розташування тепличних комплексів від межі та ін супутні незручності.

Як видно з недоліків та тенденцій до зміни клімату, невпинного зростання кількості населення, зменшення доступних земель, підходи вирощування на

землі в тепличних комплексах майже не змінять ситуацію, єдине правильне рішення – використання технологій гідропоніки або ж вертикальних садів.

Гідропоніка - це метод вирощування рослин у воді. Це слово походить від грецьких слів "гідро" - що означає "вода", і "пронос" - що означає "робота". Ідея цього способу вирощування була відкрита знову у 1930-х роках доктором Геріке в Університеті Берклі в Каліфорнії, але гідропоніка використовувалася вже з давніх часів. Наприклад, всі чули про висячі сади Вавилону та про людей, які вирощували свої сади на поверхні води в горах біля озер, таких як Тітікака в Перу та Інлі в М'янмі. Вони використовували солом'яні циновки, водяні грядки, гіацинти та інші місцеві рослини як субстрат. Треба враховувати, що деякі рослини, наприклад, рис або латаття, можуть пристосуватися до низького рівня кисню у середовищі чи навіть до застійних умов, але не всі рослини ростуть добре у таких умовах.

Рослина може почати дихати зітханням, якщо в області коренів не вистачає кисню. Навіть якщо рослину залити водою великою кількістю, як це роблять більшість любителів-садівників, це може призвести до перезволоження і загибелі рослини. Це важливо розрізняти від гідропоніки. Гідрокультивування, метод вирощування у горщиках, коли рослини перебувають у поживному розчині, використовується для цього..

Отже, рослини можуть рости у воді, але не за всіх умов. Вода повинна бути "живою", оскільки у будь-якому середовищі вирощування - чи то ґрунт, вода чи повітря - рослини поглинають поживні речовини у формі іонів, що розчинені у кисні. Водний розчин надає рослинам необхідні поживні речовини та кисень, але важливо, щоб вода не стояла, а була в постійному русі. Отже, основна задача гідропоніки, яка використовує безґрунтовий метод вирощування, полягає в контролі кількості води, мінеральних речовин і особливо розчиненого кисню, що стимулює ріст рослин. На рисунку 1.1 показані різні варіанти таких систем. [2].

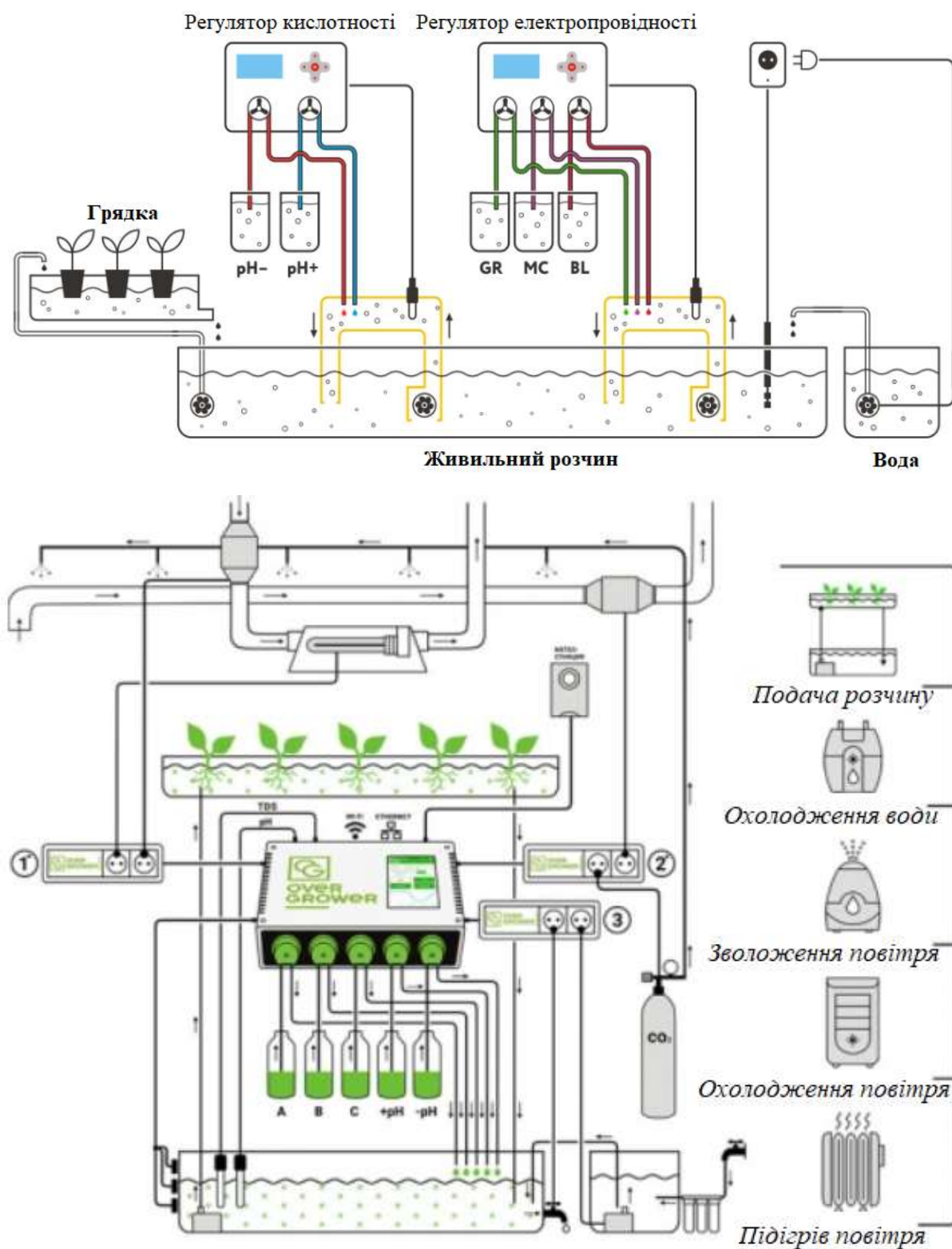


Рисунок 1.1 – Типові варіанти побудови гідропонних систем

Головна ідея цієї концепції досить проста. Коли коріння рослин знаходиться у поточній воді, воно швидко поглинає поживні речовини та кисень.

Якщо кисень відсутній, ріст рослин уповільнюється, а в насиченому киснем розчині він, навпаки, активізується. Завдання садівника - підібрати оптимальну кількість води, поживних речовин і кисню для задоволення потреб рослин, щоб максимізувати урожайність та якість.

Щоб отримати найкращі результати, важливо враховувати ряд параметрів, таких як температура, вологість, яскравість освітлення, вентиляція та генетичний склад рослин. Ці аспекти бере до уваги будь-який досвідчений фермер чи навіть садівник.

Отже, для такого типу вирощування рослин як гідропоніка можна дати цілком коректне визначення і опис, яке може виглядати наступним чином – методика вирощування рослин без участі ґрунту, альтернативний спосіб створення для рослин сприятливих умов, що забезпечують розвиток та набір зеленої маси, де ключовим елементом є поживний розчин.

Щодо переваг гідропоніки, то ось неповний перелік:

- максимізація використання генетичного потенціалу рослин;
- найкраще регулювання добрив для рослин;
- значне підвищення продуктивності та якості;
- значне скорочення фаз росту та плодоношення у більшості видів;
- ефективніше використання території;
- відмінні показники репродуктивного успіху;
- колосальне скорочення споживання добрив та води за умов глобального природного виснаження;
- повна відмова від гербіцидів. Замість пестицидів та фунгіцидів на гідропоніці використовується комплексний захист від шкідників.

Енергійність та життєздатність рослин зрощених на гідропоніці, при подальшій пересадці у ґрунт, має великий комерційний потенціал, особливо для кімнатних рослин. В освітній сфері (на всіх рівнях) гідропоніка вражає і дорослих, і дітей. У деяких країнах вивчення гідропоніки введено до шкільних та університетських програм.

Гідропоніка широко використовується у наукових дослідженнях, і це не менш важливо. Протягом понад п'ятдесяти років цей метод активно використовується у багатьох наукових центрах через свою надійність, точність та широкі можливості застосування. Ця система надає важливі дані, сприяючи знаходженню оптимального складу добрив для рослин і виявляючи значну користь.

Але незважаючи на всі видимі переваги даного способу вирощування рослин можуть бути й негативні наслідки від використання:

- його можна використовувати для масового вирощування безсмачних томатів або троянд без аромату;
- при некоректному застосуванні метод може призвести до забруднення навколишнього середовища

Гідропоніка дозволяє отримувати великі кількості якісних рослин, що мають високу поживність та чудовий аромат. Цей метод вирощування може бути стійким і надійним, забезпечуючи харчі високої якості для багатьох людей. Важливо, що він дозволяє країнам з невеликими можливостями землеробства вирощувати свою їжу навіть на неплодних ґрунтах та в умовах обмеженості водних ресурсів [3].

1.2 Гідропонні системи та їх класифікація

Гідропоніка сьогодні знаходить широке застосування як в індивідуальному застосуванні так і в фермерських тепличних господарствах. В контексті представленої роботи доцільно буде розглядати системи гідропоніки саме для теплиць, бо промислові масштаби потребують актуальних алгоритмів управління з метою покращення кінцевої продукції та мінімізації собівартості та зниженні операційних витрат. Гідропонні системи створюють штучне середовище для росту рослин, де не використовується ґрунт. В таких умовах рослини отримують оптимальне живлення завдяки постійному поливу або крапельному зрошенню, що підтримує здорове функціонування кореневої

системи. Мінеральна вата, керамзит, кокос або тирса часто використовуються як основа для розміщення рослин.

Існує багато методів гідропонного вирощування. Методи відрізняються способом доставки повітря, води та мінеральних речовин до кореневої системи рослини (рисунок 1.2) [4].



Рисунок 1.2 – Ілюстрація системи гідропоніки

Найбільш розповсюдженими в тепличних господарствах є:

- агрегатопоніка;
- агрокультура;
- хемопоніка;
- іонопоніка;
- аеропоніка;
- хайпоніка.

Агрегатопоніка – спосіб розміщення кореневої системи в живильному середовищі замість ґрунту. В якості підкладки можуть використовуватися щебінь, гравій, подрібнений керамзит, вугільний шлак, гранульований річковий пісок і штучні полімери. Ця технологія не має широкого застосування в промисловості і зустрічається в домашніх теплицях.

Гідрокультура – рослина висаджується в грубий шар субстрату і забезпечується поживними речовинами шляхом зрошення (вологість підвищується знизу) або поливу зверху. Завдяки такій системі росту коріння відмінно насичуються вологою, а ризик заболочування кореневої системи мінімальний.

Хемопоніка – заснований на використанні різноманітних органічних матеріалів: торфу, кори, кокосового волокна, кори, моху. Підживлення відбувається за допомогою поливу.

Іонопоніка – нова гідропонна техніка, подібну до агрегатопоніки. Субстрат для цього типу складається з двох типів синтетичного іонообміну: катіонів та аніонів. На відміну від агрегатопоніки, поживні речовини залишаються в субстраті, тому полив проводиться тільки чистою водою без додавання поживних речовин.

Аеропоніка – один із сучасних методів вирощування рослин заснований на насиченні води киснем через потік повітря. Корінь рослини знаходиться не у воді, а в закритій камері, в якій розпилюють живильний розчин.

Хайпоніка – нова технологія і найпередовіший метод гідропоніки, заснований на використанні сучасного обладнання, що забезпечує оптимальний ріст рослин і максимальне використання генетичного потенціалу. Велика увага приділяється створенню розчину, де важливий зв'язок між мікро- та макроелементами. Показчик розраховується окремо для кожного об'єкта. По капілярах до коренів надходить найчистіша вода певної температури, насичена повітрям. Все це вплине на ріст рослин, стійкість до хвороб і атмосферних факторів [5].

Залежно від конструктивних особливостей розрізняють можливі системи і методики:

- пасивні системи: такі, що не вимагають електроніки або механічних пристроїв для роботи;
- системи періодичного затоплення: метод, коли рослини періодично затоплюються водою;
- техніка живильного шару (NFT): система, де коріння рослин знаходиться у тонкому шарі води з поживними речовинами;
- техніка глибинного потоку (DFT): метод, що використовує глибокі потоки води для живлення коренів рослин;
- системи крапельного зрошення: системи, які подають воду через краплі безпосередньо до коренів рослин;

- аеро-гідропоніка: метод, який поєднує гідропоніку із збагаченням повітрям для коренів рослин;
- системи плаваючою платформи (DWC): система, де корені рослин знаходяться у воді, плаваючи на платформі;
- різні інноваційні системи: новаторські методи, які постійно розвиваються в галузі гідропоніки та зрошення рослин..

Класифікація за типом розміщення:

- горизонтальне вирощування (класичне розміщення установок);
- вертикальне вирощування.

Рух і циркуляція живильного розчину дозволяє поділити системи на:

- відкриті системи;
- замкнуті системи.

Рослини отримують необхідні елементи упродовж усього їхнього життєвого циклу завдяки безперервній циркуляції суміші. Цей метод ефективний, оскільки не потребує використання штучних засобів, таких як гормональні препарати чи стимулятори, що штучно сприяють зростанню. Рослини отримують лише ті речовини, які їм не вистачає у природних умовах. Застосування хайпоніки призводить до розвитку плодів у 4-5 разів швидше, ніж у рослин, вирощених у звичайному ґрунті.

У відкритих системах частину живильного розчину виводять після поливу. Цей метод активно використовується в промислових установках через свою простоту та економічність. У замкнутих системах живильний розчин циркулює між баком і рослинами.

Також можна класифікувати системи за наявністю субстрату - з ним чи без нього, і за типом насоса - повітряним або водяним. [4].

Рослини, вирощені на гідропоніці, мають ряд переваг перед рослинами, вирощеними в ґрунті:

- оптимальне використання простору. Немає необхідності розкладати кореневище, як ґрунт. Рослини можуть отримати всі необхідні поживні речовини в обмеженому просторі без конкуренції. Крім

того, на гідропоніці може використовуватися ґрунт, непридатний для вирощування звичайних рослин;

- економія водних ресурсів. При використанні в якості основи вермикуліту витрата води зменшується в двадцять разів в порівнянні з поливом рослин в полі. При вирощуванні без ґрунту часто використовується вода, абсолютно непридатна для рослин, що ростуть в ґрунті. Споживання води ждя одних і тих самих культур становить одну восьму в порівнянні до польових умов;
- економія поживних речовин та добрив. Рослини, вирощені на гідропоніці, поглинають майже всі речовини з живильного розчину;
- моніторинг та управління продуктивністю. Ви можете контролювати якість і кількість предметів поживних елементів, які потрапляють до системи;
- оптимальне використання генетичного потенціалу рослин. У більшості випадків гідропоніка дозволяє створити оптимальні умови для живлення рослин, освітленості, температури, вологості та CO₂;
- догляд за рослинами. У гідропонному середовищі немає бур'янів, кротів і нематод. Відсутні трудовитрати, пов'язані з поливом, внесенням добрив, вапнуванням, прополкою тощо. Більшість гідропонних систем мають кореневий доступ, що усуває потенційні проблеми з патогенами;
- механізація. Для подачі поживного розчину не потрібне сільськогосподарське обладнання чи машини, окрім насоса;
- врожайність. Завдяки загущеності рослин урожайність різко зростає, наприклад, у деяких культур (порівняно з урожайністю тієї ж рослини на полі) вона збільшується в двадцять разів;
- гідропонний метод вирощування характеризується отриманням чистого продукту;
- сівооборот. При гідропоніці сівозміна не потрібна. Одну і ту ж культуру можна висаджувати роками без змін;

- стандартизація. Сільськогосподарське обладнання та розчини поживних речовин для кожної культури можна легко стандартизувати, що полегшує ведення сільського господарства;
- робоча сила. Гідропоніку можна проводити на площі 0,4 га під наглядом двох спеціалістів. Щоб посадити помідори, потрібно вісім людей, щоб посадити гвоздики. Щоб зібрати врожай, потрібно ще кілька людей;
- вирощування рослини в екстремальних умовах. Гідропонні системи дозволяють вирощувати різноманітні рослини на космічних станціях або ж в укриттях.

1.3 Вибір системи гідропоніки для подальшого дослідження і ключові характеристики, які потребують контролю і управління в технологічному процесі

Сучасні тепличні господарства - це складні технологічні споруди, які вирішують основні завдання, такі як оптимізація мікроклімату (освітлення, полив, підтримка оптимальної температури). Ці завдання можна успішно вирішити лише за допомогою передових технологій, включаючи комп'ютерно-інтегроване управління. Для збільшення врожайності важливо досягти найкоротшого можливого терміну дозрівання культур, що можливо за допомогою інтенсивних методів вирощування рослин.

Інтенсивні методи вирощування рослин включають такі елементи технології:

- малооб'ємний метод вирощування на інертних субстратах (кокос, перліт фракції 1,5-4 мм, пемза, верховий торф із добавками, у тому числі перерахованих компонентів, мінеральна вата та ін.);
- системи крапельного поливу;

- автоматизовані установки для приготування та подачі поживних розчинів, збалансованих за концентрацією та співвідношенням макро- та мікроелементів;
- певні рівні рН та СЕ у розчинах та дренажах;
- комп'ютерно-інтегровані засоби та програми підтримки мікроклімату;
- світлокультура для цілорічного одержання продукції;
- вуглекислотне підживлення рослин для підвищення врожайності та якості продукції, особливо в осінньо-зимово-весняний період, тобто в період обмеженої вентиляції теплиць.

Власне, підключити систему автоматичного керування можна до будь-якої гідропонної установки. Всі вони потребують підсвічування, контролю якості поживного розчину і т. д. Найчастіше використовуються два різновиди:

- системи DWC, коли коріння рослин занурені в живильний розчин і безперервно навчають з нього необхідні речовини;
- системи NFT, у яких подача розчину відбувається за нижнім рівнем ємності, а зверху покладено шар субстрату. подача поживних речовин відбувається за допомогою капілярного всмоктування рідини субстратом і деяку частину рідини безпосередньо всмоктують нижні ділянки довгих коренів.

Решта всіх різновидів є варіантами цих двох систем. Винятком можна назвати краплинний полив, але ця методика є універсальною. Її з однаковим успіхом використовують не тільки у гідропоніці, а й при вирощуванні рослин на відкритому ґрунті [6].

Необхідно врахувати, більшість гроверів вибирають DWC, чи метод водних культур. Він простіше, всі рослини знаходяться в однакових умовах, контроль за їх станом ефективніший, але якщо розглядати системи в промислових масштабах, то в такому випадку варто звернути свою увагу на системи NFT.

Системи технології живильної плівки (NFT) підвішують рослини над постійним потоком поживного розчину, який омиває кінчики кореневої системи рослин. Канали, де зростають рослини, розташовані під кутом, щоб вода могла протікати через посадковий лоток перед тим, як стікати в резервуар, розташований унизу. Вода в резервуарі потім аерується за допомогою повітрязатвору. Занурювальний насос перекачує насичену поживними речовинами воду з резервуара назад у верхню частину каналу. Технологія живильної плівки є рециркуляційною гідропонною системою.

На відміну від гідропоніки, яка застосовується в глибоководній культурі, коріння рослин у системі NFT не занурюється у воду (див. рисунок 1.3). Замість цього, струмок або «плівка» тече лише з кінчиків коренів. Кінчики коренів забирають вологу зсередини рослини, а відкрита коренева система отримує достатньо кисню. Дно каналів має рифлену структуру, щоб плоску плівку можна було легко прикріпити до кінців коренів. Це також запобігає заболочуванню або забрудненню кореневої системи.

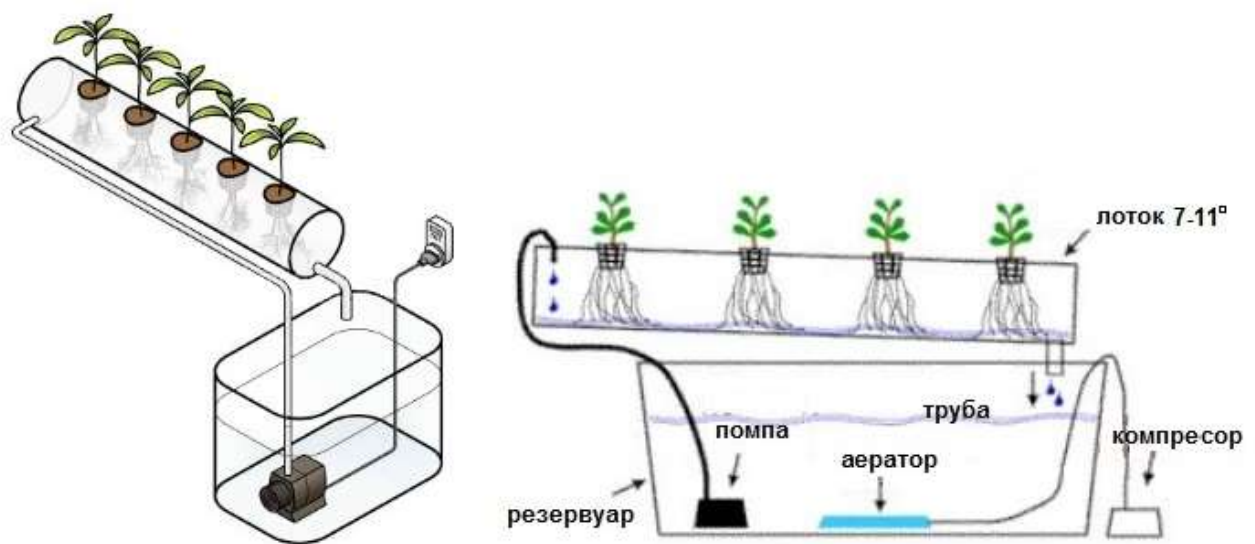


Рисунок 1.3 – Принципова схема NFT гідропонної системи

Навіть при постійному циркуляції води в системах технології живильної плівки, рекомендується щотижня виводити воду і поповнювати поживний

розчин. Це забезпечує рослини достатньою кількістю поживних речовин. Канали NFT мають мати рівномірний нахил: якщо він занадто крутий, вода просто стікає, не надаючи рослинам достатньо живильних речовин. Якщо ж у канал заливати занадто багато води, система може переповнитися, і рослини ризикують захлинутися.

Гідропоніка NFT популярна у комерційних системах, бо може підтримувати багато рослин на одному каналі і легко виготовляється масово. Ця технологія живильної плівки найкраще підходить для світлолюбних рослин, таких як гірчиця, капуста, салат, шпинат, а також для плодових культур, наприклад, полуниці. Але важкі плодові рослини, такі як помідори чи огірки, потребують додаткової підтримки для витримання їх ваги, наприклад, спеціальних решіток..

До переваг даного способу організації гідропонної системи можна віднести такі:

- низьке споживання: оскільки гідропоніка NFT переробляє воду, для роботи не потрібно багато води та поживних речовин. Постійний потік також ускладнює накопичення солей у коренях рослини. Крім того, системи, що використовують технологію поживної плівки, не потребують живильного середовища, тому ви економите витрати на придбання середовища та зусилля на його заміну;
- модульна конструкція: системи подачі плівки ідеально підходять для великих і комерційних проектів. Створивши свій канал, ви можете легко його розширити. Ви можете заповнити свою теплицю кількома каналами для підтримки різних культур. Рекомендується кріпити кожен канал окремо. Таким чином, якщо насос зламається або хвороба пошириться на воду, ви не втратите всю свою роботу.

Звісно ж є і певні недоліки:

- збій насоса може призвести до того, що живильна плівка перестане циркулювати в каналі, що загрожує висиханням рослин. За кілька годин весь посаджений матеріал може погинути, якщо не буде вжито заходів для відновлення руху поживної рідини. Обслуговування

гідропонної системи NFT потребує уважності, особливо щодо стану насоса;

- перенаселеність рослин, розташованих занадто близько один до одного або з інтенсивним розростанням коріння, може призвести до блокування каналу. Якщо коріння заблокує канал, вода не зможе пройти, і рослини почнуть досвіджувати недостаток живлення. Особливо це стосується рослин, які ростуть в нижній частині русла. Якщо устаткування в певній частині каналу виглядає гірше, ніж у решти, розгляньте можливість видалення деяких рослин або перехід до меншого формату системи. [7].

Саме в таких системах буде найкраще використовувати технології комп'ютерно-інтегрованого управління, бо в такому випадку є можливість контролю та управління більшим спектром параметрів, що можуть мати істотний вплив на якість кінцевого продукту, урожайність та можливість проведення експериментів і відповідних досліджень.

Системи автоматизації можуть забезпечити регулювання важливих параметрів гідропонної установки:

- рівень живильного розчину;
- стан субстрату (вологість);
- густина розчину (CE);
- температура живильного середовища;
- освітленість;
- кислотність (рівень pH).

Всі ці процеси вимагають регулярного (якщо не постійного) контролю та забирають у рослинника масу часу. Використання автоматики допомагає вирішити питання силами спеціальних технічних засобів, які звільняють людей багатьох турбот. При цьому не обов'язково використовувати відразу всі можливі пристрої – можна обмежитися лише деякими з них, які вирішують найважливіші проблеми. Наприклад, рівень або температуру розчину можна контролювати за допомогою автоматики, а щільність і кислотність перевіряти вручну, але в межах

дослідження, що передбачено даної кваліфікаційною роботою контролюватись мають абсолютно всі важливі параметри, які є критичними і мають прямий чи опосередкований вплив на якість і кількість врожаю, а також впливатимуть на обсяг ресурсів, що використовуються для вирощування..

Ще одна надважлива функція, яку можна автоматизувати – це підсвічування. Безперервне освітлення рослин небажане і навіть шкідливе. Найчастіше використовують часові інтервали 12-18 годин підсвічування, інше - відпочинок. Добовий інтервал сну для рослин не менш потрібний, ніж для людей. Щоб не вмикати/вимикати підсвічування щодня вручну, можна встановити досить простий пристрій – таймер, або ж використовувати засоби комп'ютерно-інтегрованих технологій для проведення управління виходячи з актуальних потреб та процесу зростання розсади чи вирощування врожаю. Його можна запрограмувати на певний режим, що забезпечує оптимальний мікроклімат для розсади, квітів чи дорослих рослин.

Необхідно врахувати, що освітлення виконує додаткову функцію обігріву. Особливо виразно вона проявляється у гроубоксах, у замкнутих приміщеннях. Тому освітлення часто доводиться щільно поєднувати з вентиляцією - це дозволяє підтримувати оптимальну температуру, виключити перегрів та пересушування рослин.

На рисунку 1.4 наведена спрощена комп'ютерно-інтегрована система управління, яка поєднує в собі найбільш важливі та критичні чинники, що мають вплив на якість і кількість врожаю та розсади.

У гідропонних установках можуть бути використані різні пристрої, що керують певними функціями чи системами:

- прилади керування вологістю та температурою;
- контроль рівня розчину;
- керування поливом;
- пристрої автоматизації живлення рослин [6].

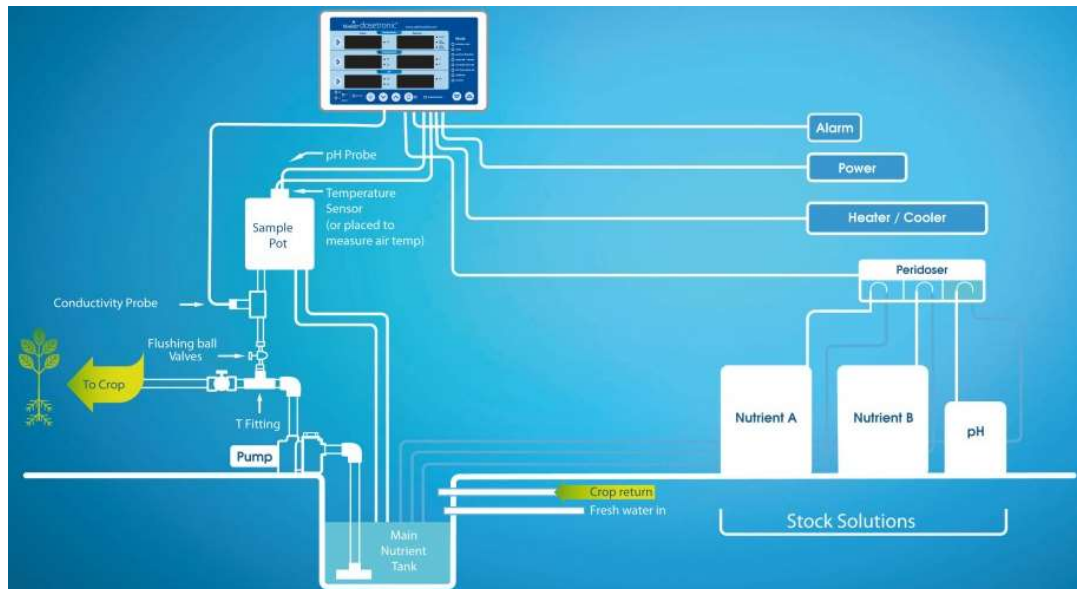


Рисунок 1.4 – Спрощена комп'ютерно-інтегрована система управління [6]

Висновки до розділу 1

В першому розділі випускної кваліфікаційної роботи було проведено аналітичний огляд об'єкту автоматизації та подальшого дослідження. В якості об'єкту в роботі виступає система гідропоніки. При проведенні детального огляду предметної галузі були розглянуті основні типи та способи побудови систем рослинництва, що використовуються в тепличних комплексах на базі технологій гідропоніки, і визначено, що найбільш поширеним на сьогоднішній день є системи, що використовують системи технології живильної плівки – NFT. Саме дані системи передбачають, що рослини підвішують над безперервним потоком поживного розчину, який омиває кінчики кореневої системи рослини. Даний спосіб найбільш ефективно зарекомендував себе як у випадку використання в промислових масштабах так і для особистого користування.

Були визначені ключові параметри, що мають істотний вплив на ефективність використання таких систем, а саме:

- рівень живильного розчину;
- стан субстрату (вологість);
- густина розчину (CE);

- температура живильного середовища;
- освітленість;
- кислотність (рівень рН).

Саме ці параметри мають бути такими, що потребують контролю і управління засобами комп'ютерно-інтегрованих технологій для підвищення ефективності використання ресурсів і досягнення найкращих результатів з якісних і кількісних показників врожайності.

2 АНАЛІЗ NFT-ГІДРОПОННОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТУ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

2.1 Структурна схема і алгоритм роботи комп'ютерно-інтегрованої системи управління

При аналізі технологічних особливостей гідропоніки в попередньому розділі було встановлено, що гідропоніка - це агротехнологія вирощування та вирощування рослин без використання ґрунту. Цей спосіб має багато очевидних технологічних переваг порівняно з класичними методами вирощування сільськогосподарських культур у ґрунті тепличних речовин, але він обумовлює низку техніко-виробничих факторів, які необхідно враховувати при створенні системи агротехнічного процесу гідропоніки та комплексної автоматизації. На даний час гідропонний метод вирощування в теплицях є одним із найсучасніших і технологічних методів, який широко використовується в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні, для вирощування полуниці, фруктів, овочів і квітів в теплицях і оранжереях.

В даний час існує багато гідропонних систем, які відрізняються один від одного за такими характеристиками: способом подачі поживних речовин, рівнем і складністю автоматизації, масштабом сенсорного обладнання, методами передачі даних, рівнем оцифрування (обробки даних) .), та інші. Проте в цілому структурно-функціональна структура автоматизованої гідропоніки є типовою і включає: датчики, які в режимі реального часу забезпечують дані про всі життєво важливі параметри росту; автоматичні регулятори поживних розчинів і добрив; дротові/бездротові мережеві пристрої оповіщення; промислові логічні контролери; графічний інтерфейс користувача тощо.

Перелік основних функцій, які повинна виконувати автоматизована гідропонна система, такий:

- швидке і точне визначення даних про фізико-хімічні параметри поживного розчину, що подається в гідропонні шари: дані про

температуру, кислотність і електропровідність при дистанційному вимірюванні (інтегроване відображення поточної інформації концентрації поживних речовин);

- передача даних до контролерів обробки даних на основі параметрів гідропонної системи, переважно з використанням бездротового мобільного зв'язку та мережевих технологій;
- обробка отриманих даних про фізико-хімічний стан гідропоніки за допомогою цифрової техніки та програм на серверах та/або розподілених хмарних сервісах з повним аналізом;
- відображення результатів автоматичного контролю в зручному для ідентифікації вигляді;
- формування керуючих сигналів для дозаторів поживних речовин;
- забезпечення найкращих умови для гідропонного вирощування та створення прогнозів і майбутніх календарів посадки та росту (урожай, норми посадки та календар росту тепличних рослин).

Як видно з аналізу наведених вище вимог до функціональності комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю тепличних гідропонних параметрів і технологій, виявляється, що це складна технічна організація, яка має декілька програмно-технічних компонентів, що повинна мати високий рівень вбудованої сумісності та надійності. Пропонований алгоритм роботи, заснований на аналізі обов'язкових функцій, характерних для технології, представлений на рис. 2.1.

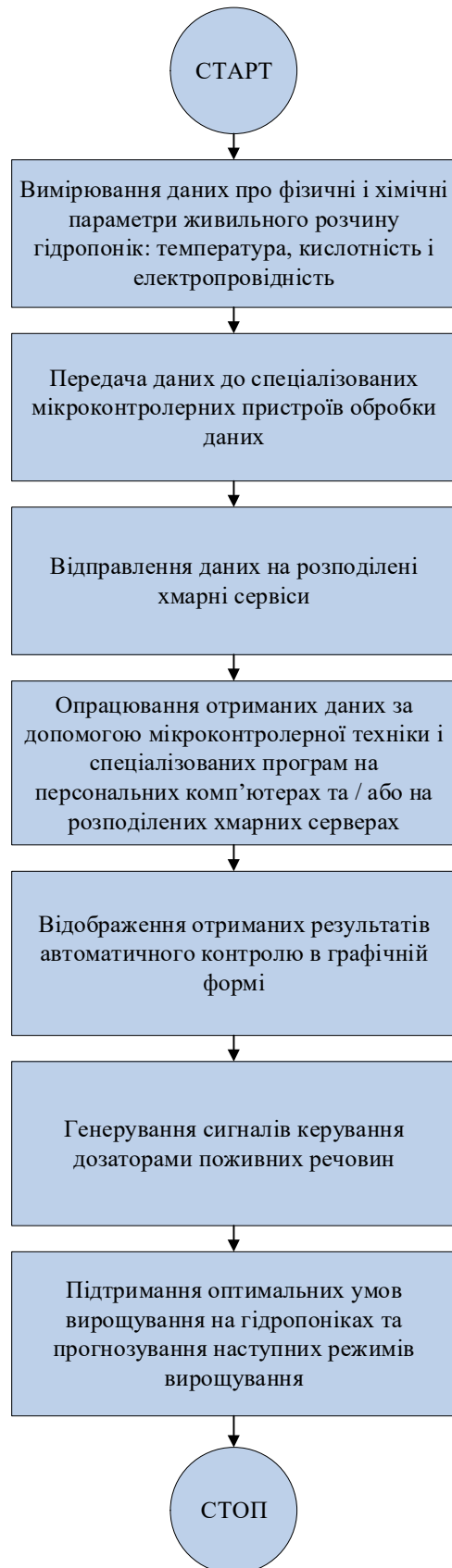


Рисунок 2.1 – Алгоритм роботи комп'ютерно-інтегрованої системи управління для автоматизації технологічних процесів у NFT-гідропоніці

Структурна схема у вигляді відповідних функціональних зв'язків блоків комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації технологічних процесів гідропонної установки з використанням алгоритму та типових архітектур (рисунок 1.1), наведена на рисунку 2.2.

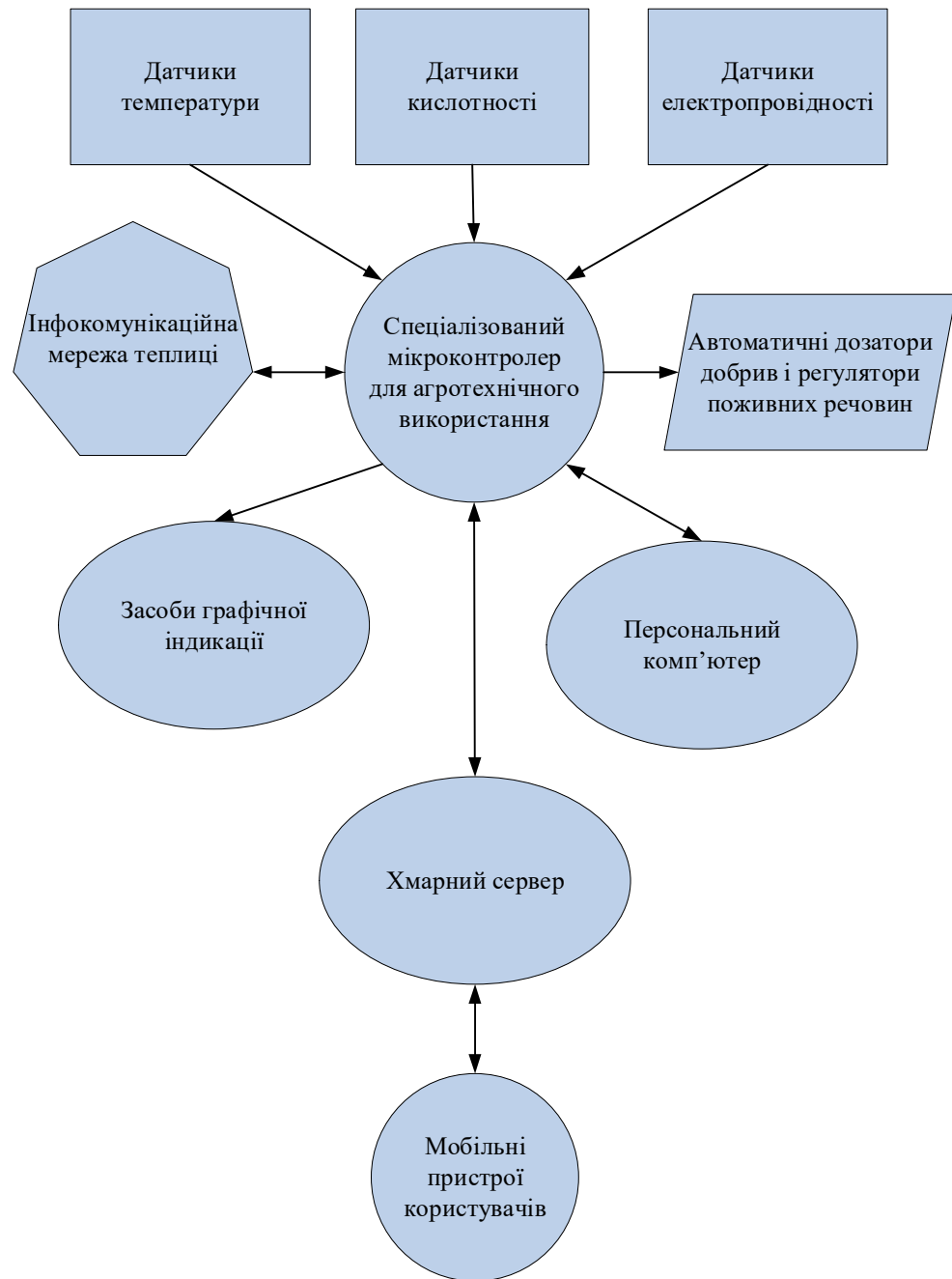


Рисунок 2.2 – Структурно-функціональна схема зв'язків основних блоків комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного управління гідропонікою

Схема системи управління гідропонічними процесами в теплицях, яка показана на рисунку 2.2, здатна виконувати різноманітні процедури, спрямовані

на підвищення урожайності та вирощування рослин, що відповідають сучасним трендам в агросекторі: Internet of Things, Agriculture 4.0/5.0 та інші. Впровадження цієї технології може значно покращити технічне забезпечення і цифровізацію українського сільського господарства, що позитивно позначиться на обсягах, темпах і якості виробництва сільськогосподарської продукції в умовах гідропонічних теплиць.

2.2 Ключові параметри контролю

При вирощуванні в ґрунті рослинам потрібне регулярне харчування та зволоження, при цьому великий ризик їх загибелі через несприятливі погодні умови (град, зливи, заморозки тощо). При використанні гідропоніки рослини захищені від впливу несприятливих умов. Також здійснюється підтримка постійних значень кліматичних факторів та регулярне одержання необхідних поживних речовин. Це дає рослині можливість витратити сили на швидке зростання, цвітіння та формування максимального врожаю з покращеними поживними та смаковими якостями.

Варто виділити такі фактори, що впливають на зростання та розвиток рослини:

1. Температура повітря. Найбільш інтенсивно поживні речовини споживаються рослинами за температури від 25 до 30 °C. При температурі вище за 35 °C починається інактивація ферментів, відповідальних за поглинання поживних речовин. При температурі нижче 15 °C усі фізіологічні процеси уповільнюються. Температура повітря важлива для рослини, але підлаштовувати її для конкретного виду затратно, що є критичним фактором для невеликих оранжерей. Достатньо контролювати температуру для того, щоб рослини не опинилися в екстремальних умовах через непередбачені ситуації.

2. Вологість повітря та концентрація CO₂. У вологому середовищі у рослин листя виростає більше, ніж у сухий. Контрольні експерименти показали, що максимальне зростання листя рослин має при вологості 65–75 %. Живцям

потрібно близько 90% вологості, а насіння краще проростає при 60%. Даним параметром часто нехтують у невеликих системах, оскільки досягти оптимального рівня вологості у них важко.

Рослина - єдиний організм, здатний харчуватися сонячним світлом. У процесі фотосинтезу йому необхідно споживати вуглекислий газ (CO_2), воду та світлову енергію для синтезу вуглеводів, які переносяться туди, де їх потребує. Є багато способів підтримки CO_2 , найпопулярнішим серед яких є встановлення газових пальників та балонів із газом.

Вуглекислий газ небезпечний, причому смертельно. Він не має запаху, тому без спеціального приладу його неможливо виявити. Якщо збагачувати їм приміщення, доведеться встановлювати витяжний вентилятор.

Контролювати вологість та концентрацію вуглекислого газу витратно для домашньої оранжереї, тому достатньо відстежувати вологість. Контроль за концентрацією вуглекислого газу неефективний домашньої системи гідропоніки.

3. Кислотність та електропровідність поживного розчину. Оскільки значення рН може впливати на фотосинтетичну активність рослин, то водному розчині його слід контролювати, щоб уникнути пошкодження рослини [8].

Всі рослини на гідропоніці вирощуються в трохи кислому середовищі, незалежно від того, якому рН вони віддають перевагу в ґрунті. Для цього існують різні причини, головна з них полягає в тому, що при $\text{pH} = 7$ і вище розчину осаджується залізо. Тому максимально високий допустимий рН становить близько 6,8. Однак у замкнутих системах краще підтримувати його нижче 6,5, щоб уникнути нестачі марганцю [9].

Для контролю даних параметрів потрібні дорогі прилади. Багато фермерів, які працюють з гідропонікою, готуючи стандартний живильний розчин, не відстежують параметри кислотності та електропровідності, оскільки швидкість їхньої зміни низька і критично не впливає на процес зростання.

4. Аерація коріння. Аерація кореневої зони важлива рослин, оскільки забезпечує коріння киснем, необхідним дихання. Рослини можуть використовувати тільки розчинений у живильному розчині кисень. Аерацію

поживного розчину слід здійснювати цілодобово, оскільки рослинам потрібна максимальна кількість кисню.

5. Освітлення. Життя рослин залежить від світла через два чинники: він забезпечує енергію для органічної речовини при фотосинтезі і сприймається як морфогенетичний стимул. Основними параметрами, що впливають на зростання рослин, є якість та інтенсивність світла, фотоперіод та зміна дня та ночі. Цими параметрами можна керувати у тепличних умовах за допомогою штучних джерел світла.

Освітлення - це один з найбільш доступних з точки зору витрат фактор, тому що контроль за ним дозволить отримувати велику кількість врожаю.

З усіх фізіологічних характеристик рослин, що вирощуються, необхідно звернути увагу на ефект транспірації. Транспірація – це процес руху води через рослину та її випаровування через зовнішні органи рослини, такі як листя, стебла та квітки. Транспірація є пасивним механізмом, який спирається на постійно присутні комбіновані сили осмосу, гравітації та поверхневого натягу води, що керують рухом води по всій рослині.

Повітря здатне утримувати лише певну кількість водяної пари при даній температурі, перш ніж вона почне конденсуватися назад у рідку воду. Максимальна кількість водяної пари, яку повітря може утримувати за певної температури, називається «тиск насиченої пари». У міру того як повітря стає гарячішим, кількість води, яку він може утримувати, збільшується. При охолодженні відбувається зменшення кількості води у повітрі.

В основі розрахунку транспірації лежить дефіцит тиску пари (VPD), контроль за яким важливий для вирощування рослини. Правильне налаштування параметрів гідропоніки дасть найкращі результати з урахуванням впливу VPD, який пов'язаний з такими процесами:

- регулювання рослиною відкриття та закриття продихів;
- регулювання поглинання CO₂;
- регулювання надходження поживних речовин до коренів.

При збільшенні VPD та транспірації коріння втягує більше поживних речовин. Таким чином, існує складний компроміс між VPD та іншими

факторами. Можна збільшити кількість поглинається рослиною CO_2 , але зменшити кількість поживних речовин, або збільшити кількість поживних речовин, але піддати рослину стресу. VPD – потужний інструмент для управління рослиною, якою користуються багато вчених та садівників з усього світу.

2.3 Архітектура прототипу комп'ютерно-інтегрованої системи управління NFT-гідропонікою

На цьому етапі комп'ютерно-інтегрована система, що розглядається в випускній кваліфікаційній роботі, повинна складатися з чотирьох основних функціональних підсистем, які мають на меті забезпечити повноцінну функціональність системи NFT-гідропоніки:

- сенсорний блок;
- підсистема автоматичного керування;
- аналітичне середовище обробки даних;
- спеціальне програмне забезпечення (мобільний додаток або SCADA-система з відповідним HMI-інтерфейсом).

На рисунку 2.3 показана схема структури комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації тепличної NFT-гідропонної системи вирощування сільськогосподарських культур в закритих ґрунтах.

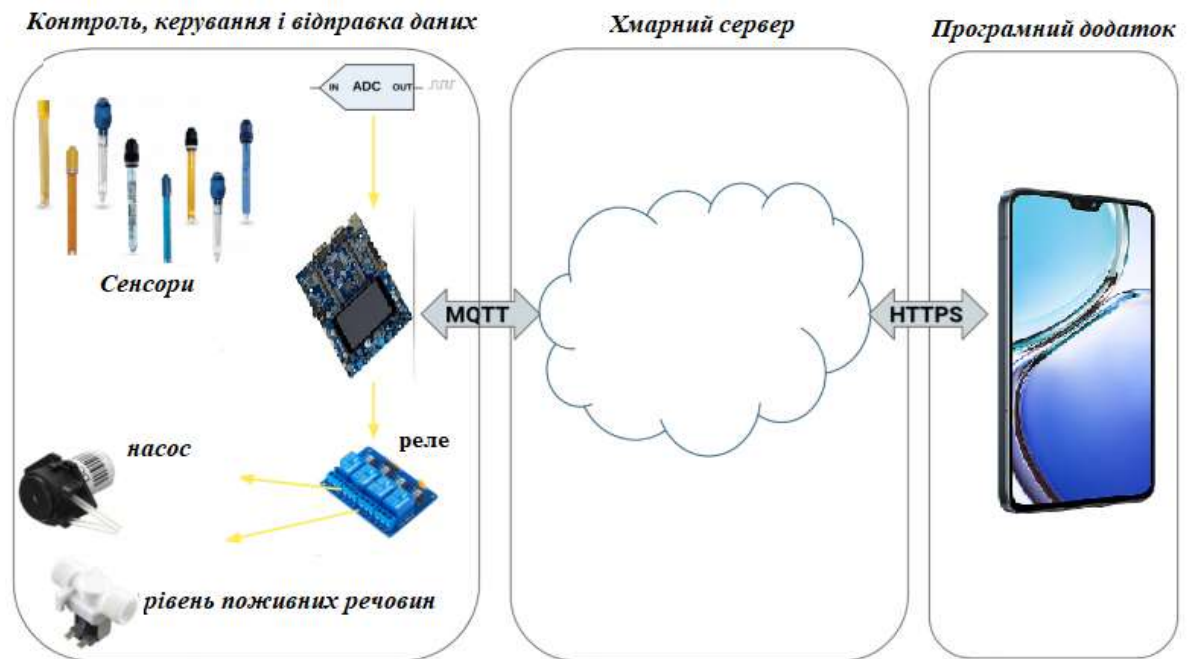


Рисунок 2.3 – Схема структури комп’ютерно-інтегрованої системи автоматизації тепличної NFT-гідропонної системи

Сенсорний блок складається з портативного мікрокомп’ютера, що об’єднується з різноманітними датчиками та контрольними пристроями. У контексті гідропонних теплиць, ці датчики встановлюються у резервуарах з водою, забезпечуючи постійний моніторинг середовища.

Хмарна аналітична платформа відповідає за передачу даних між спеціальним мобільним додатком, блоками управління та підключеним до них мікрокомп’ютером із датчиками для гідропонічного середовища.

Користувач або агроном може взаємодіяти з системою через програмну підсистему, що дозволяє переглядати поточні та архівні дані вимірювань датчиків. Ця технологія також здатна надсилати повідомлення про виникнення надзвичайних ситуацій, таких як виявлення небезпечних рівнів речовин, відключення електропостачання або потенційні випадки інфільтрації.

Загалом, ця інтегрована система забезпечує не лише нагляд за гідропонічним середовищем, а й реагує на будь-які потенційні проблеми, що можуть виникнути, забезпечуючи оперативну реакцію та захист від можливих негативних наслідків.

Авторське дослідження [10] найбільш схоже за способами й підходами до створення комп'ютерно-інтегрованих технологій автоматизації гідропоніки. Основна мета полягала в застосуванні Інтернету речей для зв'язку між датчиками та блоками керування гідропонними системами. Цей підхід дозволяє повністю використовувати можливості комунікаційних технологій, оскільки більшість користувачів віддають перевагу пристроям, що мають з'єднання з Інтернетом, таким як комп'ютери, смартфони, ноутбуки та планшети. Це також дає змогу фермерам та користувачам з будь-якої точки світу контролювати й керувати своєю гідропонною системою через Інтернет. Структура системи Інтернету речей для такого застосування може бути показана на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Структура підсистеми IoT комп'ютерно-інтегрованої системи гідропоніки [5]

Запропонована схема стосується всього технічного та електричного обладнання, а також системного програмного забезпечення, з яким вона безпосередньо пов'язана, і забезпечує взаємодію між датчиками, мікрокомп'ютером, програмним забезпеченням для мобільних пристроїв і пристроями контролю виходу.

Аналізуючи схему на рисунку 2.4 можна зробити висновок, що ця підсистема Інтернету речей на рівні глобальної ієрархії складається з трьох основних компонентів, таких як: мікрокомп'ютер, хмарний сервер і мобільні

пристрої (клієнти) для віддаленого перегляду та керування гідропонними теплицями та установками.

Основним пристроєм, що з'єднує датчики системи, є мікрокомп'ютер, або ж контролер, який потрібен для виконання двох основних завдань у системі:

- фізичний рівень отримання даних від групи датчиків, адаптивне управління вихідними актуаторами та іншими пристроями системи;
- рівень зв'язку, який передає показання датчиків на пристрій користувача на основі відповідного запиту та отримує команду зворотного зв'язку пристроїв виведення даних від пристрою передачі даних користувача.

Система хмарного (аналітичного) середовища в підсистемі Інтернету речей розташована між мікрокомп'ютером і інструментами візуалізації та контролю. Це середовище активно використовується для миттєвого проведення аналітичних (статистичних) обчислень. Таким чином, воно виконує ряд таких завдань:

- зберігання вихідних даних вимірювань з груп датчиків в онлайн-форматі;
- масштабування даних, щоб мати можливість одночасно контролювати та управляти кількома апаратними гідропонними установками в онлайн-форматі;
- двонаправлена передача інформації між мобільними пристроями користувачів і мікрокомп'ютером системи.

При розгляді архітектури цієї підсистеми враховуються два можливі способи її організації. У першому варіанті для забезпечення оперативного обміну даними між мобільним додатком і мікрокомп'ютером використовувався хмарний проксі-сервер. Другий варіант передбачав прямий обмін даними між мобільними пристроями та мікрокомп'ютером. На рисунку 2.5 показані обидва можливі варіанти структури підсистеми Інтернету речей у проекті комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонічною установкою.

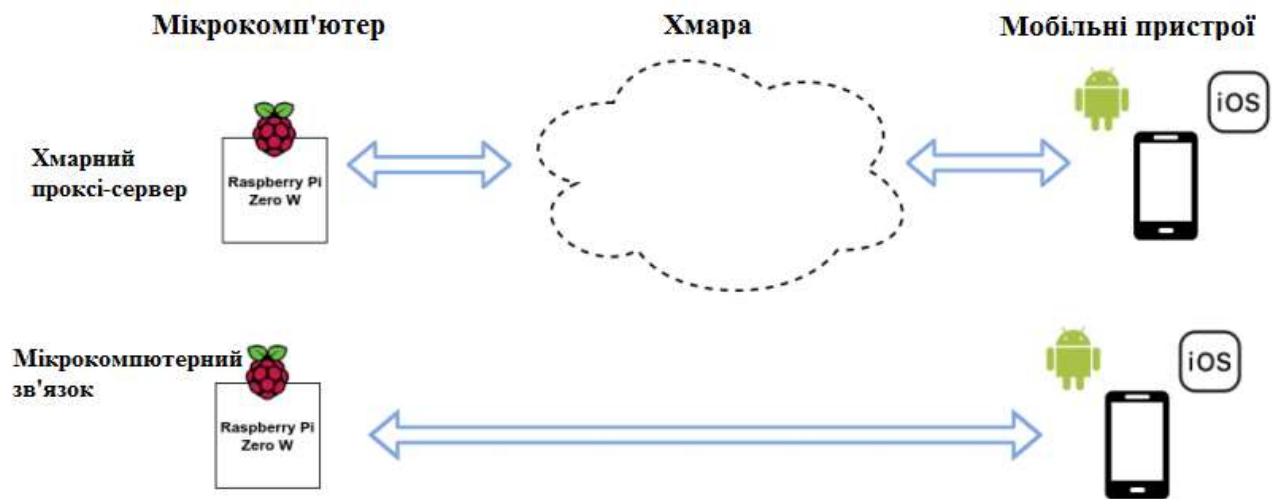


Рисунок 2.5 – Варіанти структури комп'ютерно-інтегрованої IoT системи управління

Для вибору оптимального варіанту структури даної системи IoT розроблено порівняльний опис основних функцій, який представлено в таблиці 2.1.

Порівняльно проаналізувавши інформацію в таблиці 2.1, виявилось, що більш привабливим є варіант побудови з хмарним проксі-сервером. Це пояснюється тим, що він є більш гнучким і не обмежується постійним перебуванням у локальній мережі пристроїв користувача, але ця опція також забезпечує можливість зберігання досить великої кількості даних вимірювань з датчиків.

Для використання хмарних проксі для аналітичної обробки даних було віддано перевагу активному використанню послуг Інтернет-провайдерів. Цей вибір обґрунтовується такими тезами:

- Інтернет-провайдери зазвичай надають кілька веб-консоль, що в кінцевому рахунку демонструє ремонтпридатність і підвищений рівень надійності та безпеки системи;
- відносно висока швидкість впровадження технології, тобто розробникам вбудованих технологій не доводиться стикатися з завданням управління ресурсами хмарних обчислень;

- відносно низькі витрати на монтаж і обслуговування;
- Інтернет-провайдери автоматично масштабуються та адаптуються як проксі, коли це потрібно користувачам.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика структури комп'ютерно-інтегрованої IoT системи управління

Функція	Обмін за допомогою хмарного проксі-сервера	Прямий мікрокомп'ютерний обмін
Двостороння передача інформації між мобільними пристроями і мікрокомп'ютером	Основна перевага: передача даних між мобільними пристроями і мікрокомп'ютером відбувається з будь-якого місця, де є стабільне Інтернет-з'єднання.	Основна перевага: немає необхідності витрачати додаткові кошти на придбання проксі-сервера; основний недолік: для можливості з'єднання мікрокомп'ютера і мобільних пристроїв користувачів необхідною умовою є їх під'єднання до однієї локальної мережі.
Графічний інтерфейс у програмному забезпеченні на мобільних пристроях користувачів	Основна перевага: для підключення мобільних засобів до хмарного сервера можна використовувати API протоколи	Основна перевага: зменшення показника загальної складності інтерфейсу програмного забезпечення та його наступного обслуговування
Зберігання первинних даних із груп датчиків	Основна перевага: надання можливості автоматичного зберігати великих об'ємів даних за відносно незначні кошти	Основний недолік: для надання доступу до даних мобільні пристрої та мікрокомп'ютер мають обов'язково перебувати у одній і тій же локальній мережі
Можливість масштабування системи для контролю та керування декількох гідропонік із одного мобільного засобу користувача	Основна перевага: автоматичне надання послуги на основі запиту користувача	Основний недолік: можливість моніторингу і керування тільки тими підсистемами гідропонік, що знаходяться у тій самій локальній мережі, що і пристрої користувачів

Також було визначено кінцевий перелік фізико-хімічних параметрів, які контролюються за допомогою сенсорів.

Для ефективного управління системою гідропоніки та досягнення необхідних результатів, окрім вже згаданих, використовуються такі типи датчиків та пристроїв:

- моніторинг рівня водного розчину у резервуарі;
- контроль температури водного розчину;
- вимірювання кислотності водного розчину;
- регулювання витрати води, що додається до розчину.

Крім цього, для автоматизації параметрів гідропонічної системи автори статті [10] рекомендують використовувати такі електричні та приводні пристрої:

- індуктивний реле блок;
- автоматичний електромагнітний клапан;
- автоматичний електромагніт середньої потужності;
- електронасос середньої потужності.

Висновки до розділу 2

Другий розділ випускної кваліфікаційної роботи бакалавра було присвячено розробці основних структурних та алгоритмічних рішень, що будуть використані для побудови комп'ютерно-інтегрованої системи управління NFT-гідропонікою. При аналітичному огляді в попередньому розділі додатково було обґрунтовано, що в якості базової моделі тепличної гідропоніки буде використовуватись система на базі технології живильної плівки (NFT), з варіантом підвищення рослини над безперервним потоком поживного розчину, який омиває кінчики кореневої системи рослини.

Були визначені основні п'ять критеріїв, що мають істотний вплив на ефективність застосування технології NFT-гідропоніки:

1. Температура повітря.

2. Вологість повітря та концентрація CO₂.
3. Кислотність та електропровідність поживного розчину.
4. Аерація коріння.
5. Освітлення.

Виходячи з вищезазначених параметрів і на підставі ґрунтового аналізу теоретичного та практичного матеріалу, що знаходиться у відкритому доступі, було вирішено використовувати комп'ютерно-інтегровану систему з застосуванням мікропроцесорної техніки (мікроконтролерів, мікрокомп'ютерів, датчиків, актуаторів, модулів зв'язку) наряду з сервісами Інтернету Речей та застосуванням хмарних середовищ для збору даних, проведення обчислень та аналітики.

Під час розробки системи визначено базові підходи та способи їх реалізації та методи, які будуть використані при проектуванні комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного управління та контролю гідропонних параметрів теплиці.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Аналіз існуючих підходів

В бакалаврській роботі для дослідження ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи управління з використанням засобів імітаційного моделювання було використано підхід комп'ютерного моделювання в основі автоматизованого універсального середовища MatLab & Simulink. Результат створення цієї моделі подано на рис. 3.1.

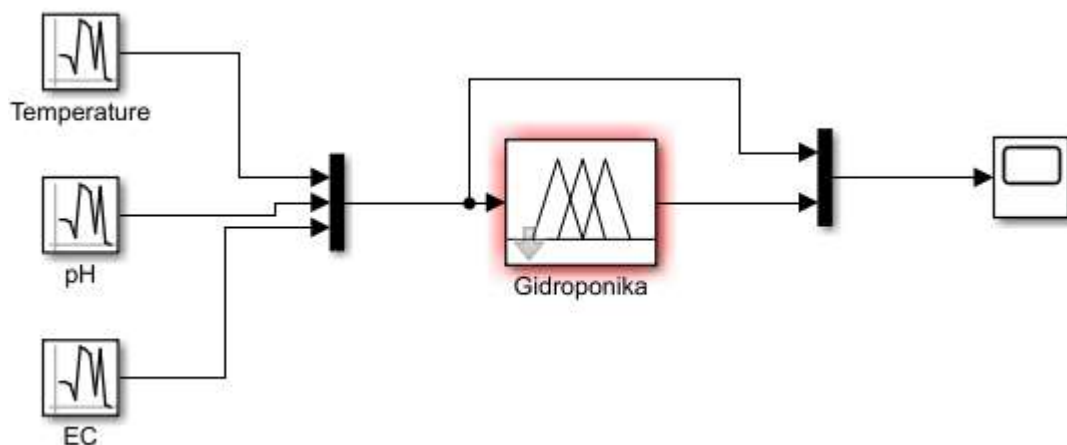


Рисунок 3.1 – Модель автоматичного керування гідропоніками з використання MatLab & Simulink

Для вирішення поставленої задачі використовувалась нечітка логіка, загальна структура моделі якої представлена на рис. 3.2.

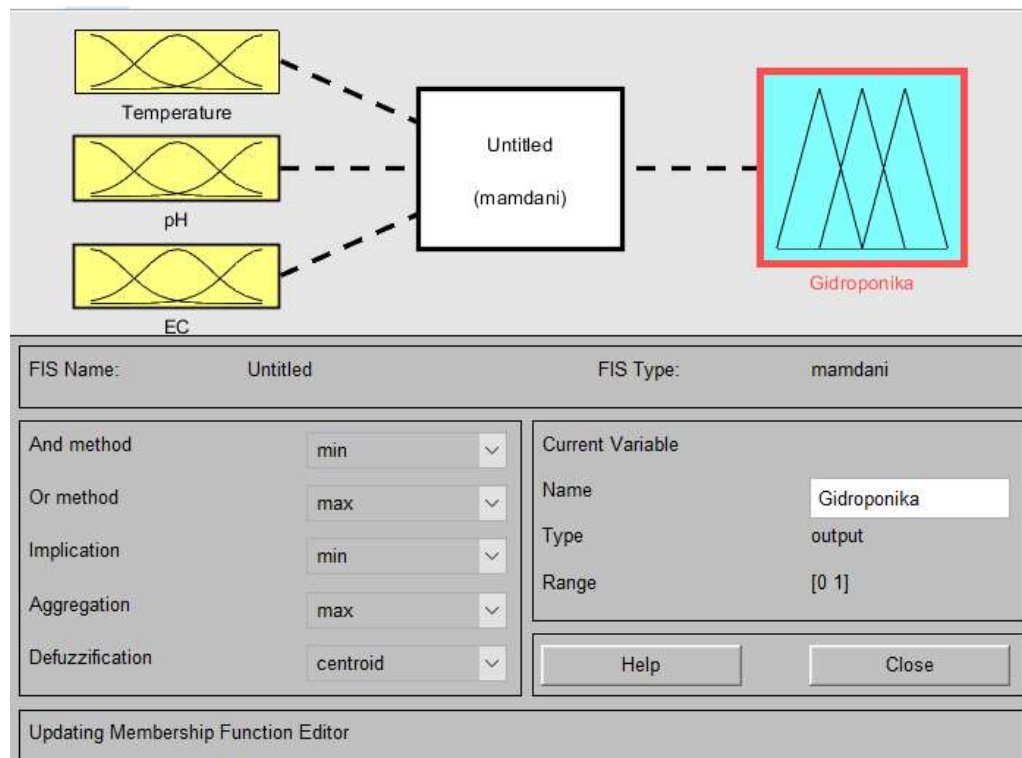


Рисунок 3.2 – Модель з використанням нечіткої логіки

В ній використовувались три вхідні лінгвістичні змінні та одна вихідна, метод Mamdani для базового алгоритму та метод дефазифікації Centroid.

Якщо говорити про переваги та недоліки такого підходу для вирішення поставленої задачі дослідження ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи управління з використанням бази правил для керування Fuzzy-контролером у порівнянні з використанням нейронних мереж можна виділити кілька аспектів:

1. Гнучкість та адаптивність:

Нейромережі: Нейромережі можуть виявити високий рівень гнучкості та адаптивності, оскільки вони здатні вчитися з даних і адаптуватися до змін в середовищі без необхідності ручного перепрограмування.

База правил Fuzzy-контролера: Вона може бути ефективною для представлення експертного знання та логічних правил, проте її гнучкість може бути обмеженою, оскільки вона вимагає ручного визначення правил.

2. Залежність від даних:

Нейромережі: Зазвичай потребують значної кількості даних для навчання, але коли вони навчені, вони можуть ефективно працювати з новими вхідними даними.

Fuzzy-контролер: Часто базу правил можна створити з експертних знань або навчити на основі обмеженого обсягу даних, але вона може бути менш ефективною в нових ситуаціях, які відрізняються від навчального набору.

3. Обчислювальна складність:

Нейромережі: Можуть мати значні обчислювальні вимоги під час навчання, але оптимізовані нейромережі можуть бути ефективними для реального часу.

Fuzzy-контролер: Зазвичай вимагає менше обчислювальних ресурсів, особливо для невеликих баз правил.

4. Підходи до моделювання:

Нейромережі: Зазвичай використовуються для пошуку складних нелінійних залежностей між вхідними та вихідними даними.

Fuzzy-контролер: Ефективні для моделювання нечітких або лінійних залежностей між вхідними та вихідними значеннями.

Враховуючи всі ці фактори, вибір між нейромережами та Fuzzy-контролером може залежати від конкретного застосування, доступних даних, обчислювальних ресурсів та потреб системи керування.

Отже, можна зробити висновок, що підхід з використанням нечіткої логіки має більше недоліків та вимагає втручання оператора, а це говорить про не зовсім автоматичну систему управління. На противагу вище сказаному, нейромережі часто вважаються ефективнішими через їхню здатність до самонавчання. Вони можуть адаптуватися до нових даних, вдосконалювати свої внутрішні параметри та вирішувати складні завдання. Також, вони можуть працювати з нечіткими та складними для аналізу даними, що часто зустрічається в реальних задачах.

У порівнянні з традиційними методами, нейромережі можуть ефективно розв'язувати завдання, які важко формалізувати або для яких складно створити правила, як цього вимагає використання нечіткої логіки.

3.2 Розробка структури системи управління гідропонікою та моделювання з використанням нейронної мережі

Починаючи з кінця минулого століття вивченням можливостей автоматизації та застосування нейронних мереж та інших методів штучного інтелекту в точному сільському господарстві, а також гідропонному вирощуванні займалися вітчизняні та зарубіжні вчені.

Одними з перших досліджень провели японські вчені Т. Морімото, Ю. Хашимото та ін. наприкінці минулого століття. Їхні роботи [11–13] були присвячені створенню та розвитку комп'ютерно-інтегрованого сільськогосподарського виробництва. У роботі [13] було запропоновано встановлювати фізіологічні відхилення та захворювання рослин за їх зовнішнім виглядом без застосування комп'ютерного зору.

Визначення здійснювалося після введення робочим до комп'ютера опису зовнішнього вигляду рослини, на підставі чого нейронна мережа видавала припущення про наявну патологію. Ця робота показала ефект від симбіозу автоматизованого управління, збору даних із датчиків та їх використання в нейронній мережі. Сільськогосподарське підприємство, що використовує цю технологію, отримало у 3,3 рази більше врожаю, ніж без неї.

В одній із робіт нейронна мережа використовувалася для прогнозування площі листка як показника динаміки росту рослини в залежності від освітленості та концентрації поживних речовин у живильному розчині [11]. Результати показали, що передбачена площа листа практично повністю збігається із спостережуваною. На думку авторів, це дозволить більш ефективно контролювати зростання рослин.

Внаслідок розквіту ери штучного інтелекту на початку XXI ст. з'явилися публікації, в яких автори використовували різні архітектури та види нейронних мереж для вивчення факторів, що впливають на зростання рослин, та обробки зібраних у процесі зростання даних для формування подальшого керуючого впливу на робочі органи гідропоніки [14–19]. Спільно з нейронними мережами часто використовують технологію інтернету речей (IoT), яка дозволяє Wi-Fi

передавати зібрані дані з мікроконтролера на комп'ютер через сервер, що ефективно в умовах великої кількості датчиків на підприємстві [19-22].

Більшість цих досліджень охоплює модифікацію установок промислової гідропоніки і враховує застосування нейронних мереж для систем домашньої гідропоніки чи невеликих сіті-ферм.

Наступним етапом дослідження стала розробка структури системи керування гідропонікою з використанням нейронної мережі. У цій задачі робота нейронної мережі зводиться до перетворення вхідних даних у вихідні за рахунок матричних обчислень функцій активації та підстроювання синаптичних ваг зв'язку.

Інформація про мікроклімат збирається з датчиків і передається в нейронну мережу, яка потім формує керуючий вплив для виконавчого пристрою, що впливає на контрольований процес.

Розроблена нейронна мережа спільно з регулятором складається з трьох основних блоків: бази даних, нейронної мережі та модуля формування керуючого впливу (рішення). Структура даного комплексу наведено рис. 3.3.

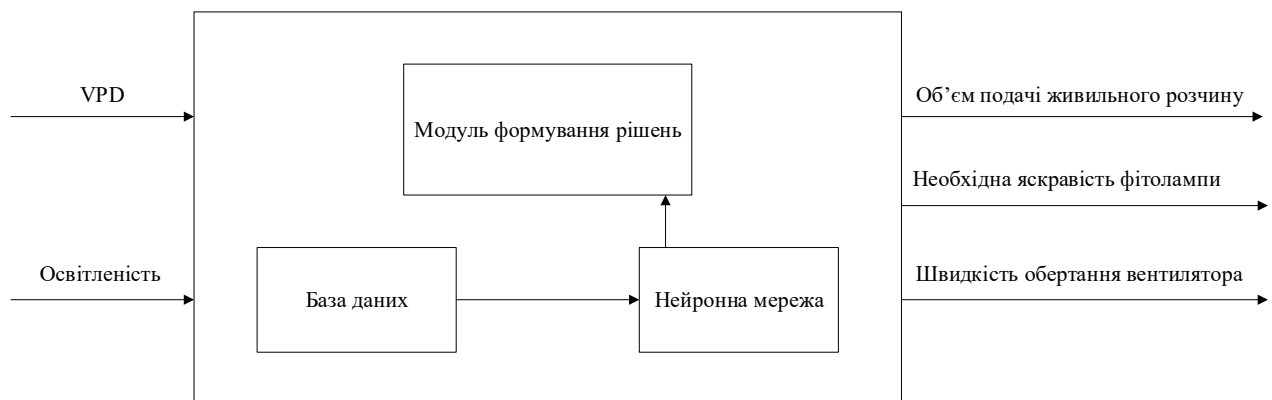


Рисунок 3.3 – Структура регулятора нейронної мережі

На вхід нейронної мережі подається інформація про дефіцит тиску пари (VPD) та освітленості рослин. Вихідними даними є обсяг подачі живильного розчину, необхідна яскравість фітолампи та швидкість обертання вентилятора. Дані від датчиків надходять в модуль бази даних, у якому вони зберігаються деякий час. Далі вони подаються на нейронну мережу, яка видає прогнозовані

значення необхідних параметрів управляючих впливів. Модуль формування рішення використовує ці дані для створення керуючих впливів для виконавчих пристроїв.

При розробці нейронної мережі для вирішення завдання контролю параметрів виконавчих пристроїв гідропоніки першим етапом став вибір її архітектури. Підбір структури здійснюється в залежності від складності поставленого завдання. Проведений аналіз літературних джерел показав доцільність використання нейронної мережі типу багатошарового перцептрону, який здатний врахувати нелінійність системи.

Нейронні мережі багатошарового перцептрону (MLP) – це потужний інструмент у світі машинного навчання. Коли говорять про доцільність їх використання, в першу чергу слід звернути увагу на їх здатність апроксимувати складні нелінійні залежності між вхідними та вихідними даними.

Система, яка досліджується в роботі, має нелінійні аспекти, які потребують моделювання. MLP здатний узагальнювати складні взаємозв'язки між вхідними та вихідними даними завдяки своїй структурі з багатьох шарів з великою кількістю нейронів.

Така мережа може автоматично вивчати складні патерни та взаємозв'язки, що допомагає пристосовуватися до різноманітних умов та завдань. Це особливо корисно, коли йде робота з даними, де зв'язки не можна виразити простими лінійними моделями.

Застосування MLP в системі може допомогти досягти кращих результатів прогнозування, класифікації або розпізнавання патернів, особливо у випадках, де існують складні, неочевидні взаємозв'язки між даними.

При реалізації нейронної мережі типу MLP варто врахувати такі аспекти, як оптимізація гіперпараметрів, уникнення перенавчання за допомогою регуляризації, обробка даних для забезпечення оптимальної продуктивності мережі та здатність мережі до узагальнення на нові дані.

Порівняти багатошаровий перцептрон (MLP) із іншими типами нейронних мереж можна з точки зору їх структури, особливостей та застосування.

1. Зв'язність мережі.

MLP: В MLP кожен нейрон у попередньому шарі пов'язаний з кожним нейроном у наступному шарі, що робить його універсальним для вирішення різноманітних завдань.

Згорткові нейронні мережі (CNN): CNN зазвичай використовуються для обробки зображень, вони мають здатність визначати локальні патерни через фільтри.

Рекурентні нейронні мережі (RNN): RNN ефективні у роботі з послідовними даними, здатні моделювати залежності в часі або послідовностях.

2. Здатність до роботи з даними:

MLP: Відмінно працює з даними, які можна представити у векторній формі. Не ефективний у випадках з великою кількістю вхідних даних, наприклад, зображеннями в високій роздільній здатності без обробки.

CNN: Ідеально підходить для обробки зображень, здатний розпізнавати патерни з врахуванням просторової інформації.

RNN: Добре пристосований для послідовних даних, таких як мовний текст або часові послідовності.

3. Архітектура та використання:

MLP: Використовується для багатьох завдань, таких як класифікація, регресія або генерація.

CNN: Зазвичай використовується у завданнях комп'ютерного зору, таких як розпізнавання об'єктів, сегментація зображень тощо.

RNN: Використовується у завданнях обробки мови, машинного перекладу, прогнозування часових рядів тощо.

Кожен тип мережі має свої переваги та обмеження. Вибір конкретної архітектури залежить від природи даних, завдання, яке треба вирішити, та специфіки проблеми. Часто комбінація різних типів мереж може дати кращі результати, ніж використання одного виду мережі.

Для вибору архітектури необхідно визначити критерій точності та помилку прогнозу для вихідних даних. Точність – один з найважливіших показників системи автоматичного управління, характеризує ступінь близькості реалізації керованого процесу заданій величині. Відхилення керованого процесу від

необхідного викликаються динамічними властивостями об'єкта управління та системою автоматичного управління, а також помилками вимірювальних та виконавчих пристроїв. Об'єкт управління має властивість інертності.

Таким чином, обрана відносна похибка передбачення нейронної мережі, що дорівнює 1%, що є мінімальною роздільною здатністю регулювання виконавчих пристроїв. Саме з використанням цього значення помилки проводився подальший підбір архітектури нейронної мережі.

Багатошаровий персептрон – це тип нейронної мережі, що складається з кількох шарів нейронів, де кожен нейрон у попередньому шарі пов'язаний з кожним нейроном у наступному шарі. Оптимальна кількість шарів у такій мережі залежить від специфіки задачі, яку потрібно вирішити.

Зазвичай використовують 2-3 шари у багатошаровому персептроні для багатьох завдань з розвідки даних, класифікації, регресії та інших сфер машинного навчання. Ось чому:

Простота моделі: Для багатьох задач достатньо невеликої кількості шарів для успішного навчання моделі. 2-3 шари забезпечують можливість вивчення складних залежностей між вхідними та вихідними даними без надмірної складності моделі.

Уникнення перенавчання: Занадто складні моделі з великою кількістю шарів можуть призвести до перенавчання. Використання меншої кількості шарів може допомогти уникнути цього, забезпечуючи більш загальні і універсальні рішення.

Ефективність обчислень: Із зменшенням кількості шарів зменшується і складність обчислень. Моделі з меншою кількістю шарів можуть бути швидше навчені та використані для передбачень на нових даних.

Втім, в деяких складних завданнях, які вимагають глибокого розуміння складних взаємозв'язків у даних, більша кількість шарів може бути корисною. Зазвичай це відбувається у глибоких нейронних мережах, таких як глибокі згорткові мережі (CNN) для обробки зображень або рекурентні нейронні мережі (RNN) для обробки послідовних даних.

Дані роботи ґрунтувалися на теоремі Колмогорова, яка теоретично доводить вибір кількості прихованих шарів у нейронній мережі. Теорема Колмогорова про нейронні мережі – це одна з ключових концепцій у галузі машинного навчання, що дозволяє розуміти, які задачі можуть бути вирішені нейронними мережами з різною кількістю шарів.

В основному, теорема Колмогорова встановлює, що будь-яку неперервну функцію можна апроксимувати з будь-якою точністю за допомогою нейронної мережі з одним прихованим шаром і достатньою кількістю нейронів у цьому шарі. Це означає, що нейронні мережі з одним прихованим шаром потенційно можуть вирішувати широкий спектр складних завдань.

Проте, теорема Колмогорова не визначає оптимальну кількість шарів або нейронів для конкретної задачі. Вона просто показує можливість розв'язання задач за допомогою нейронних мереж з певною структурою.

В практичних застосуваннях машинного навчання зазвичай експериментують з різними архітектурами нейронних мереж, включаючи різну кількість шарів і нейронів, щоб знайти оптимальну модель для конкретної задачі. Це може бути здійснено за допомогою методів звичайного навчання з використанням наборів даних та оцінки результатів на валідаційних наборах.

Отже, теорема Колмогорова слугує важливим теоретичним фундаментом, демонструючи потенційність нейронних мереж, але практичне використання цих мереж вимагає досліджень та експериментів для підбору оптимальних параметрів архітектури для конкретних завдань машинного навчання.

У ході експерименту було розглянуто різні структури нейронної мережі, які навчалися за допомогою алгоритму зворотного розповсюдження помилки. На вхідні нейрони подавалася однакова навчальна вибірка.

Експеримент з одним прихованим шаром:

Мережа з одним прихованим шаром з 100 нейронами.

Функція активації ReLU для прихованого шару та Softmax для вихідного шару.

600 значень для тренування та 100 для тестування.

Експеримент з двома прихованими шарами:

Мережа з двома прихованими шарами: перший з 200 нейронами, другий з 100 нейронами.

Функція активації Sigmoid для першого прихованого шару, Tanh для другого та Softmax для вихідного.

Та ж сама навчальна та тестувальна вибірка.

Значення вихідного нейрона визначається за формулою:

$$y = f_{sigmoid}(\sum_{k=2}^M w_{1k}^{(3)} f_{sigmoid}(\sum_{i=1}^L w_{ki}^{(2)} f_{ReLU}(v_i))), \quad (3.1)$$

де $f_{sigmoid}$ – сигмоїдальна функція активації;

f_{ReLU} – функція активації ReLU;

w – ваги;

v – значення вхідного параметру.

Найменшу помилку (0,2 %) показала нейронна мережа, що представлена на рис 3.4.

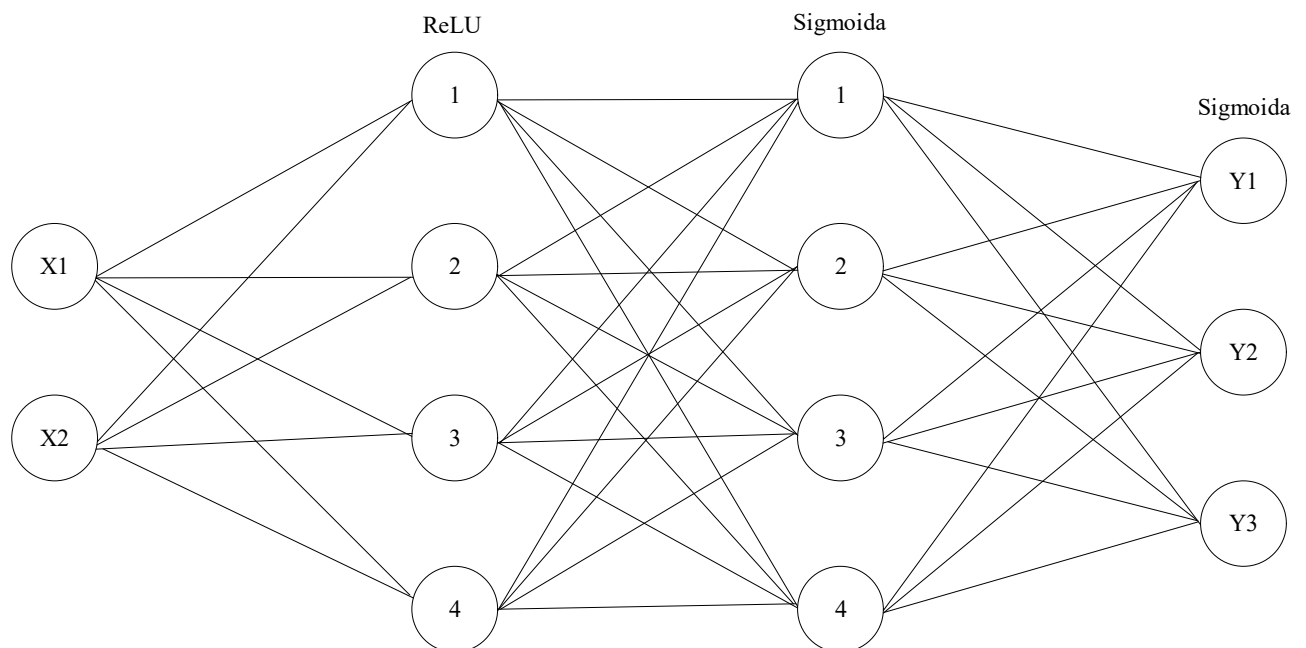


Рисунок 3.4 – Структура нейронної мережі

Вхідний вектор $[X1, X2]$ складається з таких параметрів мікроклімату, як VPD та освітленість приміщення. Вихідний вектор $[Y1, Y2, Y3]$ складається зі швидкості обертання вентилятора, яскравості фітолампи та продуктивності помпового насоса.

Ця нейронна мережа здатна ефективно вирішувати завдання контролю параметрів виконавчих пристроїв гідропоніки, пов'язану з недостатньою визначеністю параметрів ПІД-регулювання. Параметри ПІД-регулювання (пропорційний, інтегральний, диференціальний) важливі для стабілізації систем управління. Проте, в гідропоніці може виникати проблема з точністю налаштування цих параметрів через недостатню визначеність умов – наприклад, коливання вологості, температури, рН тощо.

У цьому контексті нейронні мережі можуть бути використані для оптимізації параметрів ПІД-регулювання. Вони можуть вчитися залежностям між різними факторами, такими як зміна вологості, температури, та реакція системи гідропоніки на ці зміни.

Навчання нейронної мережі на даних з різних умов та реакцій системи може допомогти зрозуміти оптимальні налаштування для параметрів ПІД-регулювання у конкретних умовах гідропоніки. Вона може адаптуватися до змін в середовищі та виконувати регулювання більш точно й ефективно, ніж стандартні методи налаштування, особливо у випадках, коли умови можуть змінюватися динамічно.

Отже, нейронні мережі можуть стати потужним інструментом для автоматизації та оптимізації процесу контролю параметрів ПІД-регулювання у системах гідропоніки, підвищуючи точність і адаптивність управління у порівнянні з традиційними методами.

Завдяки використанню функції активації сигмоїди нейронна мережа здатна апроксимувати необхідну нам нелінійну функцію. Розроблена мережа здатна виконувати функції регулятора.

Після навчання мережа була інтегрована у систему управління гідропонікою. Ця операція полегшена тим, що мова програмування MicroPython. MicroPython – це спеціальна версія мови програмування Python, оптимізована

для вбудованих систем, таких як мікроконтролери. Ця мова дозволяє вам використовувати синтаксис Python для програмування мікроконтролерів ESP32, роблячи розробку вбудованих систем більш доступною для розробників, які знайомі з Python.

Коли йдеться про нейронні мережі, зазвичай їх навчають на потужних комп'ютерах з використанням бібліотек, таких як TensorFlow або PyTorch. Після завершення навчання ваги (weights) цих мереж можуть бути збережені у файлі.

Щоб застосувати навчену мережу на мікроконтролері ESP32, потрібно перенести ці ваги та функцію прямого проходу мережі у код MicroPython. Функція прямого проходу мережі – це функція, яка бере вхідні дані та обчислює вихід мережі, проходячи крізь всі шари нейронної мережі.

Інтегруючи цей код у програму на ESP32, ви можете використовувати навчену мережу безпосередньо на мікроконтролері. Це дає можливість створювати інтелектуальні вбудовані системи, які здатні до розпізнавання об'єктів, управління різними процесами та багато іншого, використовуючи потужності нейронних мереж.

Нижче приведена загальна структура коду, яка може бути використана для застосування навченої мережі на мікроконтролері ESP32 з використанням MicroPython:

```

# Підключення необхідних бібліотек для роботи з ESP32 та нейронною мережею
import network
import urequests as requests # Якщо потрібно отримати ваги мережі з сервера
import numpy as np # Для обробки даних

# Функція прямого проходу мережі
def forward_pass(input_data, weights):
    # Реалізуйте функцію прямого проходу тут з використанням переданих ваг та
    # вхідних даних
    # Наприклад, можна використати матричні операції для обчислення вихідних
    # значень мережі

    output_data = np.dot(input_data, weights) # Приклад, якщо ми множимо вхідні
    дані на ваги

    return output_data

# Отримання ваг мережі (завантаження або використання власних ваг)
# weights = download_weights_from_server() # Функція для отримання ваг з сервера,
# якщо це необхідно
# Якщо у вас є ваги у вигляді файлу, їх можна просто завантажити та використовувати
weights = np.array([[0.2], [0.5], [0.8]]) # Приклад ваг для наведення прикладу

# Вхідні дані для мережі
input_data = np.array([[1], [2], [3]]) # Приклад вхідних даних для наведення
прикладу

# Виклик функції прямого проходу мережі для отримання вихідних даних
output = forward_pass(input_data, weights)

# Виведення результатів
print("Output data:", output)

```

Використання даної мови дозволило з мінімальними змінами перенести код у програму мікроконтролера. До програми були додані навчені ваги w та функція прямого проходу мережі.

Управління гідропонікою здійснюється за наступним алгоритмом:

1. Збір даних. За допомогою датчиків збирається інформація про вологість і температуру повітря, температури поверхні листа рослини та освітленості установки;

2. Підготовка даних для нейронної мережі. Розраховується VPD та формується вектор вхідних значень для нейронної мережі $[X1, X2]$;

3. Отримання вихідних даних із нейронної мережі. Мережа на вихід подає вектор $[Y1, Y2, Y3]$,

де

- Y_1 – продуктивність насоса;
- Y_2 – швидкість вентилятора;
- Y_3 – яскравість фітолампи;

4. Формування керуючого сигналу для виконавчих пристроїв.

Зміна помилки у процесі навчання представлена рис. 3.5.

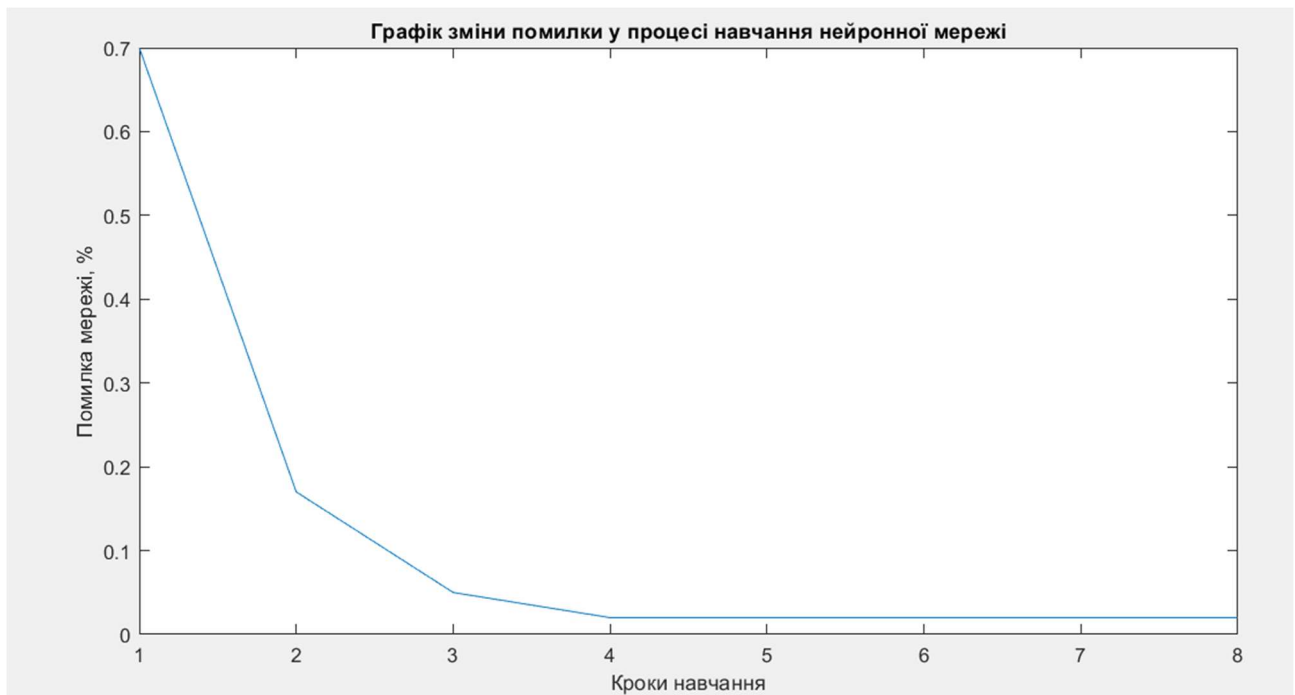


Рисунок 3.5 – Графік зміни помилки у процесі навчання нейронної мережі

Під час навчання мереж із меншою кількістю шарів рівень помилки становив понад 5 %, а зі збільшенням шарів понад чотири помилка залишалася лише на рівні чотиришарової нейронної мережі.

Управління системою гідропоніки реалізується автоматично для процесу вирощування рослин. Користувач здійснює контроль параметрів, заміну поживного розчину та посадки саджанців рослин у лоток. Крім автоматичного режиму, можливе ручне керування, реалізоване через команди мікроконтролера.

Для визначення енергоефективності розробленої системи автоматизації необхідно виміряти середню потужність електроприладу, що споживається, протягом заданого проміжку часу.

Для реалізації порівняння енергоефективності моделі управління на основі нейромережевого регулятора необхідна контрольна модель управління, яка була здійснена таким чином:

- обсяг подачі поживного розчину: 4 л/хв безупинно;
- інтенсивність обертання вентилятора: 1000 об / хв безупинно;
- інтенсивність світла фітолампи: 3000 кОм.

Періодичність роботи склала 18 годин для світлового дня, 6 годин – для ночі.

За даних параметрів вдень установка має споживання 0,13 А, вночі – 0,1 А. Добове споживання електроенергії становить 647 Вт/добу.

Для розрахунку споживання електроенергії установкою, керованої нейромережевим регулятором, протягом доби щогодини проводився замір споживаного струму. Результати вимірів наведено рис. 3.6.

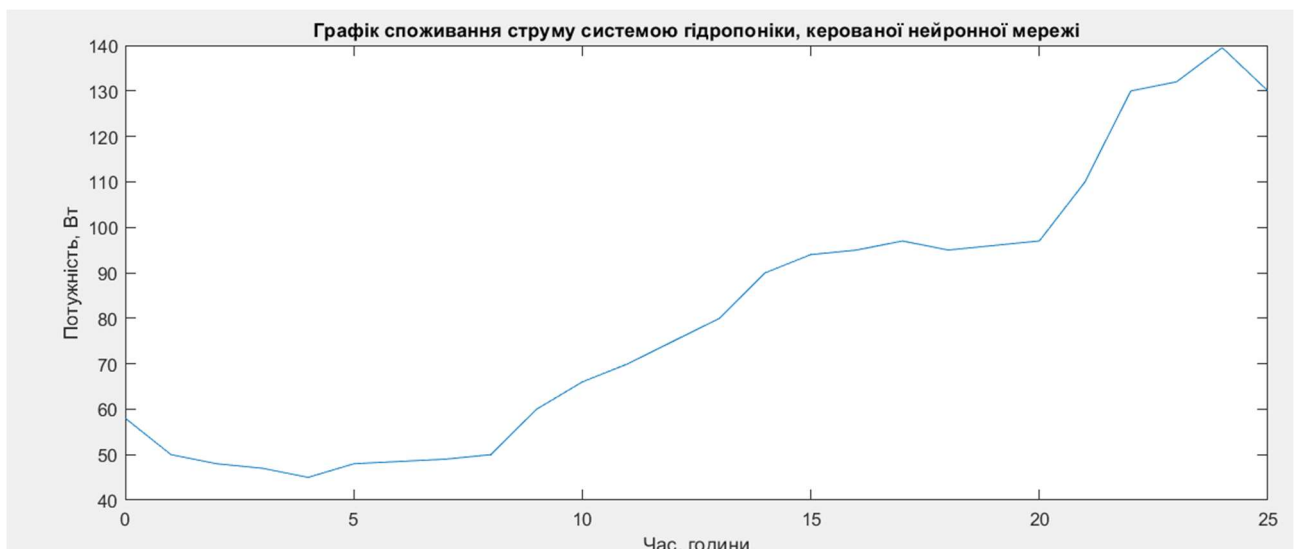


Рисунок 3.6 – Графік споживання струму системою гідропоніки, керованої нейронної мережі

Добове споживання електроенергії установкою, керованої нейромережевим регулятором, становило $E = 442 \text{ Вт/добу}$, що на 32,3% менше, як у аналогічний період роботи установки під керуванням контрольної моделі.

Висновки до розділу 3

В результаті дослідження було підтверджено можливість використання нейронної мережі як керуючої частини системи гідропоніки. Архітектура використаної мережі є багатошаровим персептроном. Навчена нейронна мережа формує керуючий вплив, що регулює кількість живильного розчину, що подається насосом, інтенсивність освітлення рослин фітолампкою і рух повітряних мас вентилятором.

Виконана робота може бути використана фермерами для зниження витрат енергії на вирощування рослин без зниження продуктивності гідропоніки. Технологія може бути реалізована як у домашніх системах гідропоніки, так і в сіті-фермах з можливістю інтеграції в енергозберігаючі житлові приміщення та системи розумного будинку. Технологія виконує обмежений набір операцій у системі керування гідропонікою, фокусуючись на певному вигляді рослини.

Дана робота може бути спрямована на розширення набору параметрів управління та видів рослин, що культивуються, це призведе до можливості масштабування системи на великі підприємства.

4 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГІДРОПОНІКОЮ

4.1 Структурна організація з'єднань комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонікою

Для повноцінної можливості імплементації розробленого рішення з алгоритмічного управління гідропонікою з використанням штучного інтелекту та прогнозування нейронними мережами, необхідно виконати апаратний синтез комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного управління гідропонікою. На рисунку 4.1 наводимо варіант складання системи.

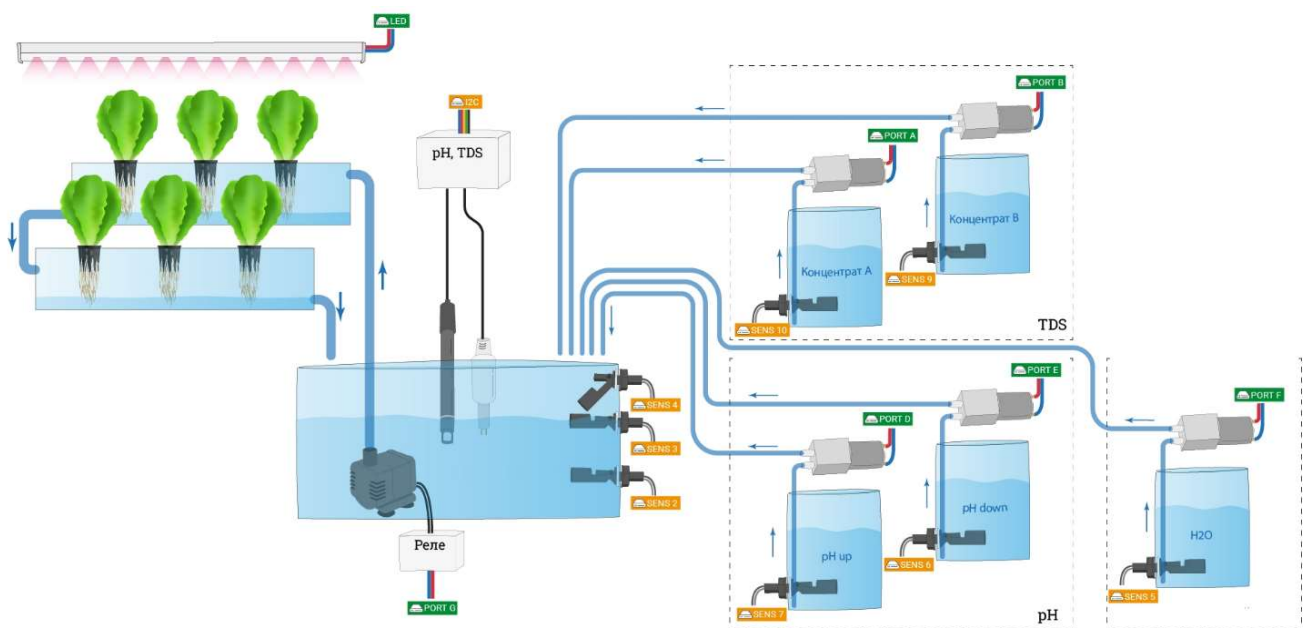


Рисунок 4.1 – Структурна організація з'єднань комп'ютерно-інтегрованої системи управління гідропонікою

На рисунку зображено схему гідропоніки живильного шару, що має такі функції:

- нормалізація параметрів pH та TDS;
- контроль мінімальних рівнів ємностей із концентратами;

- світлодіодне освітлення;
- долив чистої води з ємності з водою.

Ключовим елементом в даній схемі є мікроконтролер, виконаний на базі мікрокомп'ютера (рисунок 4.2).

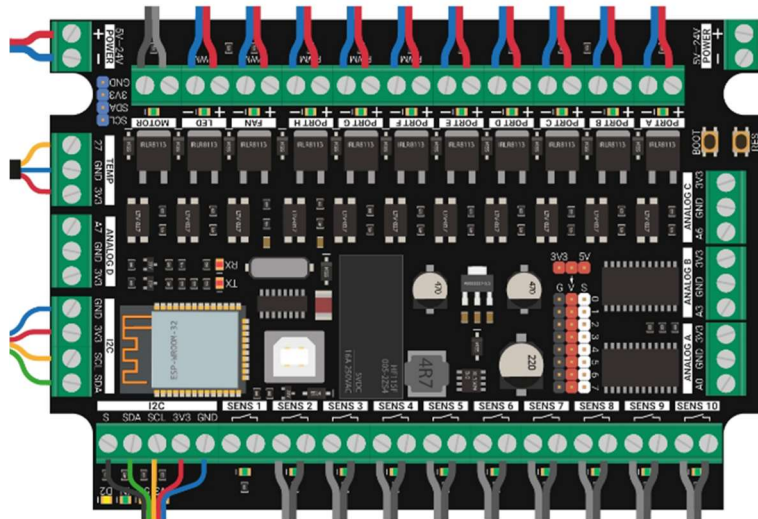


Рисунок 4.2 – Схема мікроконтролера

Живлення контролера (колодка POWER) може здійснюватись напругою від 5 до 24В, і варто звернути увагу, що на силові виходи для керування пристроями буде подано саме цю напругу. Пристрої можна підключати через реле: так вдасться керувати обладнанням на 220В

Струм, що споживається системою, здебільшого визначається споживанням струму потужним навантаженням (наприклад, світлодіодними лампами освітлення, підключеними безпосередньо до плати).

При використанні мембранних насосів полярність може бути будь-якою, бо напрям потоку рідини від неї не залежить. При використанні перистальтичних насосів дотримуйтесь полярності. Залежно від полярності змінюватиметься напрямок подачі рідини. На рисунку 4.3 зображені види цього обладнання.

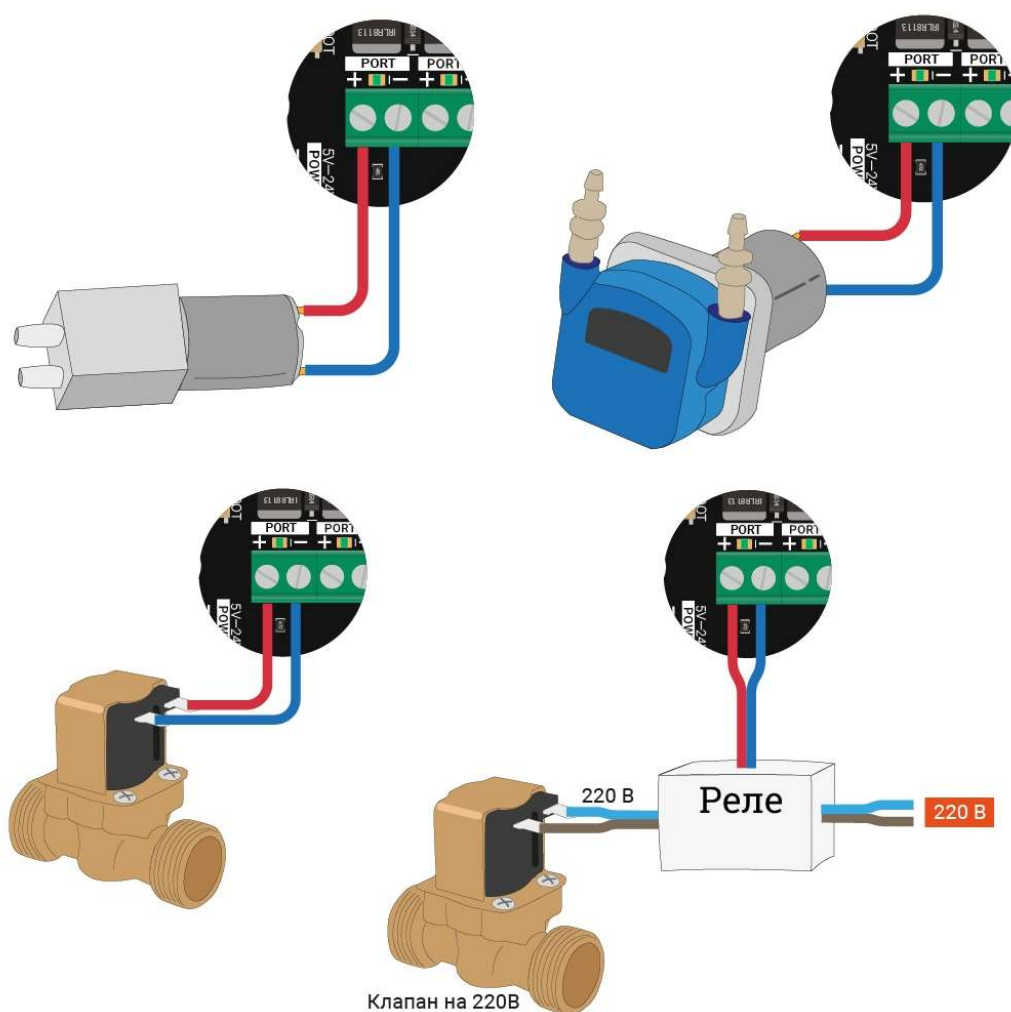


Рисунок 4.3 – Насоси подачі та запірна арматура

Один із варіантів доливання чистої води (особливо в масштабних системах) – використання клапана. Якщо напруга та струм, що споживається, відповідають параметрам порту, то клапан може бути підключений безпосередньо. В іншому випадку клапан потрібно підключити через реле.

При виборі насоса звертайте увагу на висоту підйому рідини (у разі використання багатопверхових гідропонних установок). Беріть насос із запасом за потужністю. Важливо розуміти, що насос повинен бути здатним не тільки підняти рідину на необхідну висоту, а й після цього продовжити перекачувати її в достатньому обсязі.

При використанні низьковольтного насоса він може бути підключений безпосередньо до порту. Схема його підключення аналогічна до інших пристроїв.

Джерело світла підключається до LED-колодки (рисунок 4.4).

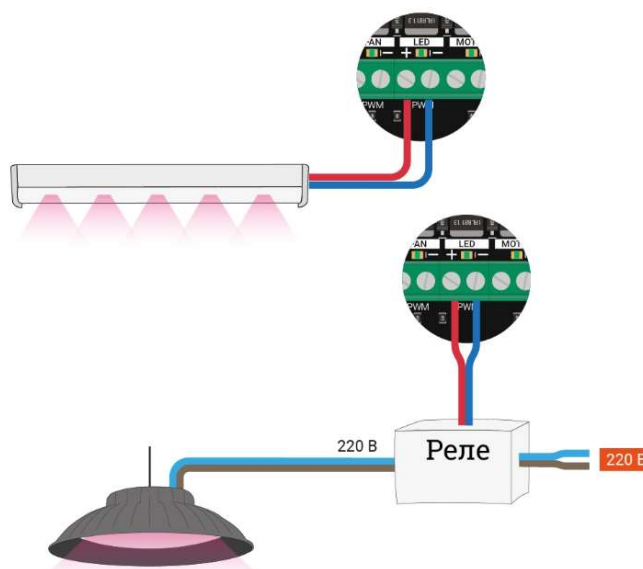


Рисунок 4.4 – Приклад LED-джерела світла

Низьковольтні світлодіодні стрічки можна підключати безпосередньо до колодок. У такому випадку необхідно переконатись, що струм, що споживається ними, не перевищує граничне значення, що може бути на виводах контролера, а також, що напруга живлення, що подається на контролер (колодка POWER) відповідає напруги живлення світлодіодів. Якщо вищезазначені умови не дотримуються або ви використовуєте джерела світла на 220В, підключайте їх через реле.

Перемішування рідини дозволяє доданим концентратам швидше розподілитися обсягом рідини. Мішалки на 220В підключаються через реле відповідно до рисунку 4.6.

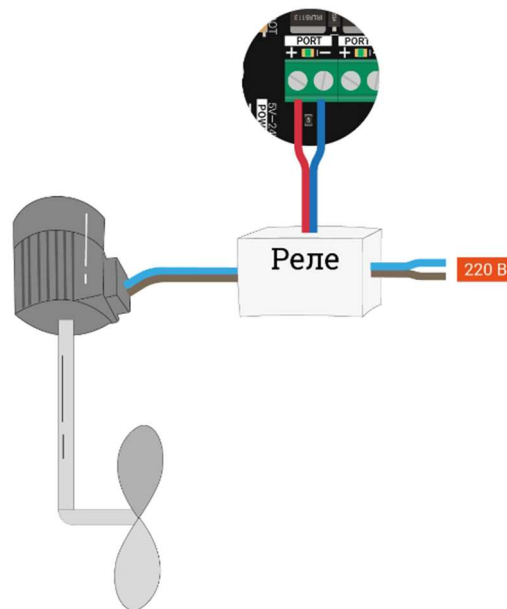


Рисунок 4.5 – Підключення мішалок

Низьковольтні мішалки можна підключити до порту безпосередньо, якщо напруга та струм порту відповідає параметрам двигуна мішалки. Замість мішалки можна використовувати аератор: бульбашки повітря також перемішуватимуть розчин. Аератор на 220В підключається через реле.

Рівень рідини живильного розчину встановлюється за середнім рівнем. Якщо рівень опускається до нижнього рівня, то насос подачі живильного розчину автоматично відключається. Якщо рівень піднімається до верхнього рівня, то забороняється долив чистої води і всіх концентратів.

Рівноміри можна не встановлювати в ємності з концентратами, якщо немає необхідності сигналізації про низький рівень рідини, що залишилася. При цьому рівноміри в ємності з поживним розчином повинні бути встановлені обов'язково.

Полярність підключення рівнемірів не має значення.

Датчики рН та TDS необхідно використовувати, якщо ви хочете відстежувати або автоматично нормалізувати параметри живильного розчину. Датчики підключаються по шині I2C за допомогою спеціального адаптера.

Датчики можна підключати до будь-якої колодки I2C плати.

На рисунку 4.6 наведено приклади підключення датчика рівня та датчиків рН та TDS

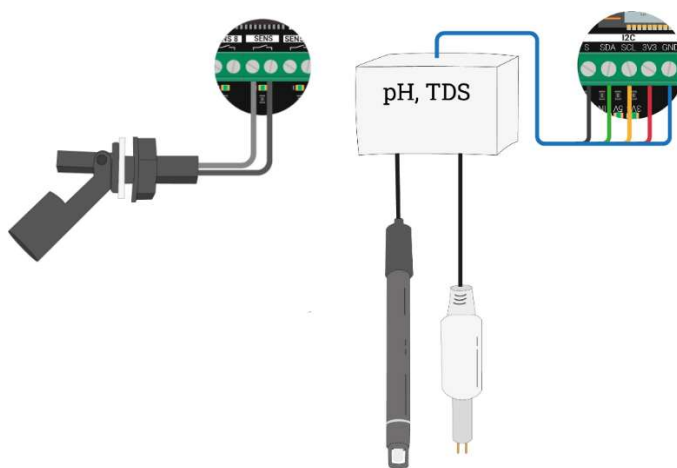


Рисунок 4.6 – Підключення датчика рівня та датчиків рН та TDS

За потреби можна підключити вентилятор та лінійний привід для відкривання фірток (рисунок 4.7).

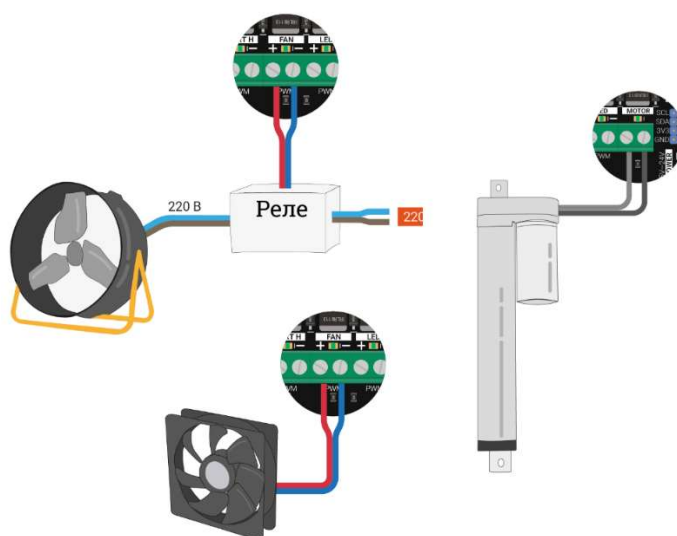


Рисунок 4.7 – Вентилятор та лінійний привід

Він підключається до FAN колодки через реле. Низьковольтні вентилятори можна підключити до колодки FAN безпосередньо, якщо струм, що споживається, не перевищує максимальне значення на виводі, а напруга живлення відповідає напрузі, що подається на плату контролера.

Також існує можливість підключити лінійний привід для відкриття та закривання кватирок або дверей для провітрювання. Від полярності підключення залежить напрямок роботи приводу. Слідкуйте за тим, щоб струм, що споживається приводом (-ами), не перевищував максимальне значення, а напруга живлення відповідала напрузі, що подається на плату контролера.

Датчик температури не є обов'язковим для використання: він необхідний, якщо ви хочете відстежувати поточну температуру води/повітря або керувати вентиляцією та лінійним приводом під час підвищення температури. Якщо ви хочете контролювати також вологість повітря та/або вміст вуглекислого газу, цей датчик ставити не потрібно; необхідно використовувати спеціальний датчик температури, вологості та CO2 (приклади підключення датчиків на рисунку 4.8)

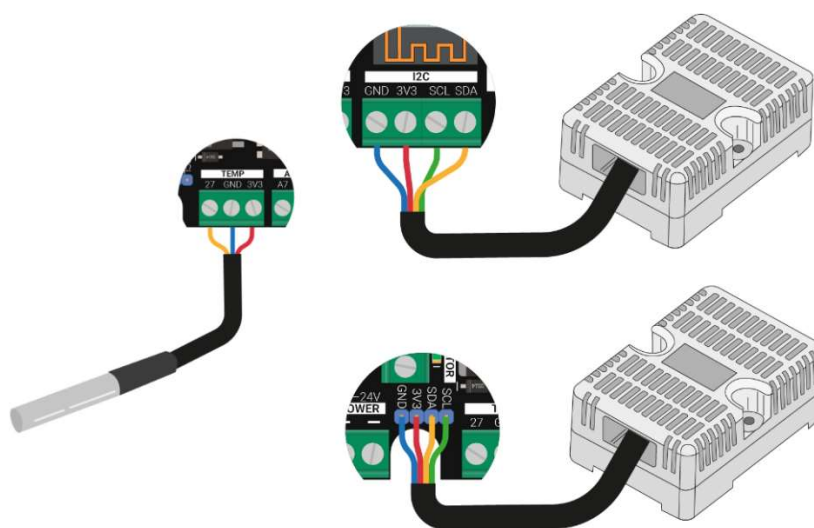


Рисунок 4.8 – Приклади підключення датчиків температури та CO2

Датчик підключається до колодки TEMP. Датчик температури, вологості та (у варіації) CO2 не є обов'язковим для використання. Він дозволяє відстежувати температуру та вологість повітря, а версія з датчиком CO2 – і рівень вуглекислого газу. Можна лише відстежувати параметри, а можна керувати вентиляцією та лінійним приводом при перевищенні температури чи вологості. Датчик підключається по шині I2C (в одну із двох колодок). Не

рекомендуємо використовувати дроти довші за ~30 см: це може призвести до нестабільної роботи шини I2C.

4.2 Апаратна конфігурація комп'ютерно-інтегрованої системи

За основу розробленої комп'ютерно-інтегрованої технології було обрано надійний промисловий логічний мікроконтролер з достатньою кількістю аналогових і цифрових входів і виходів, а також вбудованими інтерфейсами, що дозволяють підключати різні модифікації плати для розширення функцій системи, в т.ч. мережевий пристрій для віддаленої агрегації системи. КОНТРОЛЬ.

Крім того, обрана модель контролера повинна мати достатню електричну потужність для підключення значної кількості приводних засобів і механізмів станції дозування добрив і поживних речовин і подачі рідинних насосів до грядок.

В якості такої моделі в роботі пропонується використовувати Siemens[23], який на сьогодні зарекомендував себе як досить якісне технічне рішення в багатьох галузях, в тому числі і в агротехнічному сегменті. Зовнішній вигляд цього контролера показаний нижче на рисунку 4.9.



Рисунок 4.9 – Загальний вигляд контролера

Цей модуль спеціально створено для використання з ПЛК LOGO! Основними функціями є робота у промислових групах, включаючи агротехнічні дослідження. LOGO! AM2 має такі основні параметри:

- 2 аналогових входи (резистивні, струмові або напругові);
- максимальне значення споживаного струму - 30 мА;
- номінальне значення напруги живлення - 12 В або 24 В.

Структурна схема автоматизованої технології контролю параметрів гідропоніки показує використання основних датчиків кислотності, температури та електропровідності розчину у форматі системи. Одним з основних критеріїв вибору перетворювачів є їх довготривала, стабільна та надійна робота у хімічних розчинах з агресивними властивостями. У зв'язку з цим промисловий датчик кислотності SPH-1-1,5 m-pH Probes від компанії Seko був обраний для використання, як показано на фото на рисунку 4.10 [24].



Рисунок 4.10 – Датчик рН для гідропонічних систем Seko (SPH-1-1,5)

Характеристики обраного датчику

- діапазон вимірювання рН: 2 до 12 одиниць у гідропонному середовищі⁴
- мінімальна електропровідність розчину: 50 мкСм/см;
- матеріал корпусу датчика: епоксидна смола;
- матеріал мембрани чутливого сенсора: скло;
- матеріал електроліту в електроді порівняння: гель;
- діапазон температур: від 0°C до 60°C у гідропонному розчині;
- діапазон тиску: від 0 до 4 атмосфер у гідропонному розчині;

- тип роз'єму для підключення: BNC;
- стандартна довжина кабелю: 3,0 метри.

При виборі датчика провідності враховувалися ті ж вимоги, що і при виборі датчика кислоти. Таким чином, промисловий датчик від Seko, модель СТК1G, був запропонований як пристрій для аналізу гідропонного середовища на електропровідність, як показано на рисунку 4.11 [25].



Рисунок 4.11 – Датчик електропровідності гідропонного розчину Seko CTK1G

Типові властивості датчика провідності показані нижче:

- основне призначення: питна вода, хімічні розчини, каналізація та зрошувальні системи;
- рекомендовані межі діапазону вимірювання: від 5 мкСм/см до 20 мСм/см;
- враховуючи температурний діапазон розчину – від 0°C до 70°C аналізованої гідропонної культури;
- заданий діапазон атмосферного тиску досліджуваного гідропонного розчину - від 0 бар до 7,5 бар;
- матеріал корпусу електрода датчика – епоксидна смола.
- матеріал мембрани чутливого електрода датчика – графіт;
- стандартна довжина кабелю – 6,0 м;

- тип роз'єму електрода для підключення до контролера PLC – PG-13,5 мм.

Третій тип датчика, який слід включити до складу комп'ютерно-інтегрованої системи управління, що зараз розробляється, це датчик температури. У даній роботі було обрано датчик температури Greisinger TF 101-K [26], спеціально розроблений для тривалого аналізу середовищ, що містять агресивні компоненти. Зовнішній вигляд цього датчика показано нижче на рисунку 4.12.



Рисунок 4.12 – Датчик температури Greisinger TF 101-K

Наведено основні параметри датчика Greisinger TF 101-K:

- можливий діапазон вимірювань (рекомендований): від -270°C до $+250^{\circ}\text{C}$;
- клас точності – клас DIN A;
- діапазон моделей чутливих елементів: E, K, J і T;
- розміри чутливого елемента – 2,5 x 1,6 мм.

Описані вище моделі датчиків (їх кількість підбирається залежно від площі гідропонних грядок і технології посадки теплиць) сумісні з обраною моделлю LOGO! промисловий мікроконтролер. Сіменса і складають апаратну основу для отримання даних про електропровідність, кислотність і температуру розчину.

Для реалізації можливості автоматичного контролю фізико-хімічного складу гідропонного розчину в режимі реального часу за допомогою керуючих

сигналів, що формуються логічним мікроконтролером, необхідно ввести в систему такий пристрій, як дозатор-регулятор добрив і поживних речовин.

Automated Soluble EC/PH/TDS Controller Inline [27] можна використовувати для досягнення вищезазначеної мети дозування добрив і приготування гідропонних розчинів. Дана модель регулятора-розподільника добрив дозволяє дуже точно підтримувати необхідний рівень концентрації поживних речовин і солей в розчині для гідропонного вирощування в теплиці. Він розроблений для систем, що працюють у закритому режимі, де гідропонний живильний розчин повторно використовується для поливу рослин. Аспект конструкції інтегрованого автоматичного розчинного контролера EC/PH/TDS показаний на рисунку 4.13.

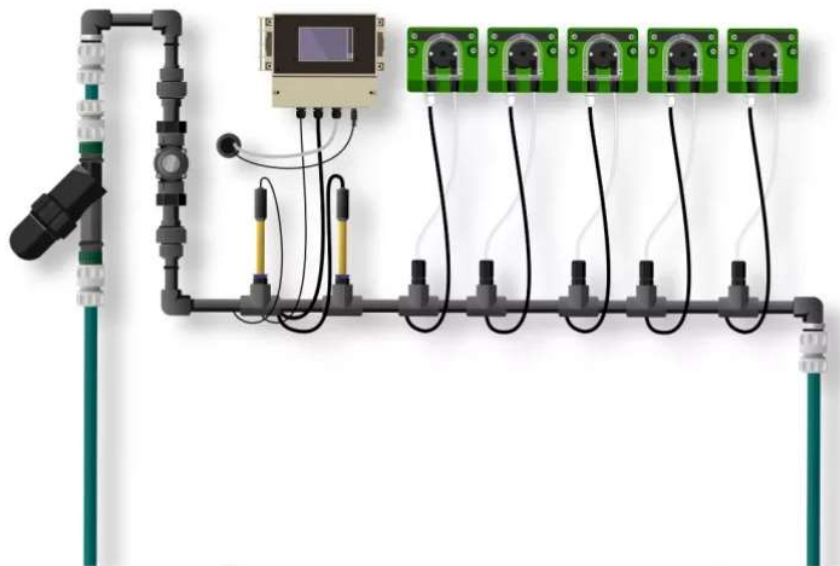


Рисунок 4.13 – Автоматизований розчинний вузол EC/PH/TDS Controller Inline
Основні параметри автоматичного розчинного вузла:

- використання проточних систем, які дозволяють розміщувати блоки автоматики на певній відстані від ємності з гідропонним розчином, що захищає від агресивного впливу випаровуваних солей на напівпровідникову електроніку пристроїв автоматики;
- вбудований екран HMI, що дозволяє легко та зручно конфігурувати модулі системи;
- в бак встановлена функція автоматичного наповнення водою;

- має п'ять дозаторів, які дозволяють швидше і точніше вносити різні види добрив.

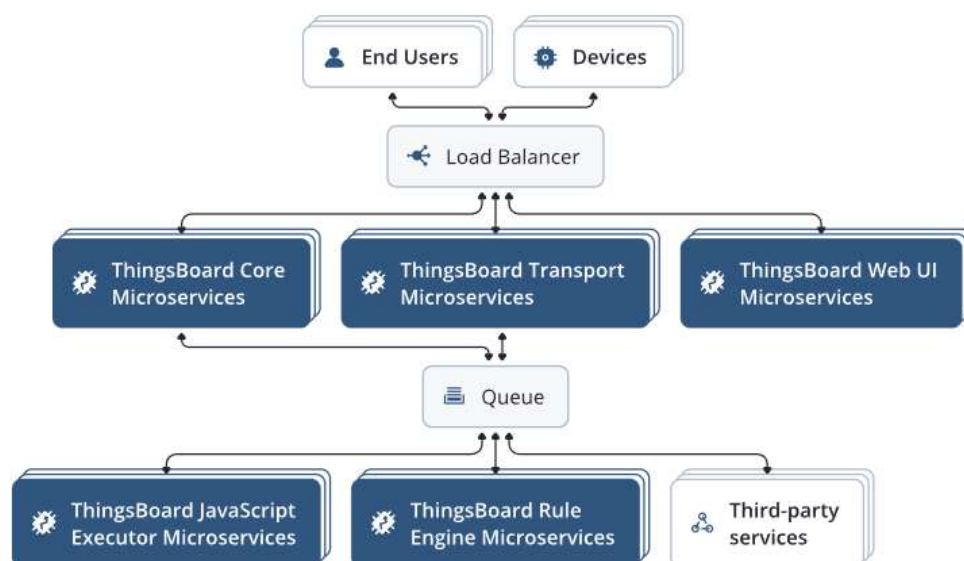
Таким чином, вищеописані функціональні можливості внутрішнього дозатора автоматичного EC/PH/TDS контролера підтверджують доцільність його виокристання у розробленій комп'ютерно-інтегрованій системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки.

4.3 Застосунок інтерпретації даних для комп'ютерно-інтегрованої системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки

У галузі сучасного сільського господарства, особливо в технологічних секторах, таких як системи гідропоніки у теплицях, все більше використовують технології Internet of Things. Ці технології дозволяють віддалено відстежувати параметри та контролювати агротехнічні процедури через спеціальні програми та хмарні технології.

Один з доступних із відкритим кодом сервісів, який можна використовувати для створення бази даних параметрів гідропоніки та управління агротехнічними процесами, - це хмарний сервіс Things Boards. [28].

Призначення цього сервісу показано у вигляді блок-схеми на рисунку 4.14.



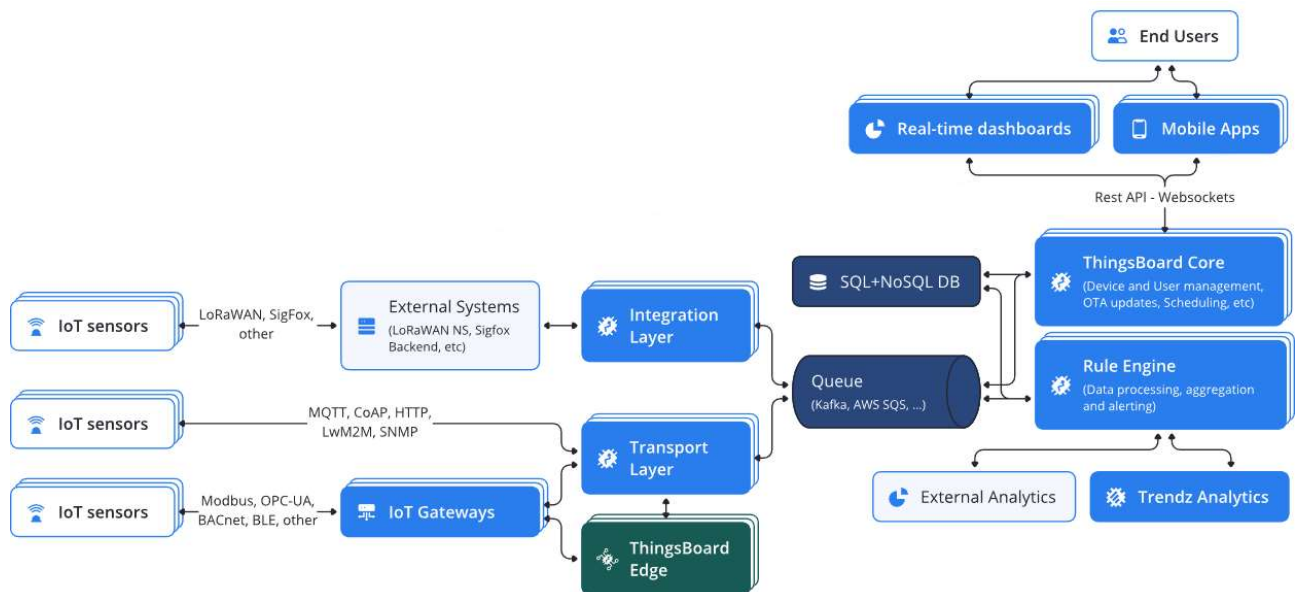


Рисунок 4.14 – Діаграма процесу передачі потоків Thing Boards

Рис. 4.14 становить візуалізацію величезного потоку інформації. Від початкових даних, що збираються від сенсорів у гідропонних теплицях, до кінцевого результату – відображення цієї інформації на мобільних пристроях користувачів. Але за цим малюнком стоїть цілий комплекс технологій та процесів, що забезпечують цю передачу даних.

Ця цифрова платформа не лише збирає дані, але й використовує потужні алгоритми шифрування для захисту цієї інформації. Сервіс Things Board є основою зберігання цих даних у надійній базі даних, яка називається Cassandra. І важливо підкреслити, що ця база даних захищена від несанкціонованого доступу.

А ще, технології, які лежать в основі цієї платформи, не лише передають дані, а й дозволяють їх аналізувати. Вони використовуються для передачі інформації до різних аналітичних систем, таких як Hadoop і Apache Spark, використовуючи шини повідомлень, схожі на Kafka. Це означає, що інформація не лише збирається, а й активно використовується для розуміння та прийняття рішень.

Така платформа також підтримує різні промислові протоколи передачі інформації, такі як BLE, OPC-UA, ModBus, BACnet та інші. Це відкриває шлях для підключення до хмарних серверів, роблячи її більш гнучкою та доступною.

Як результат, використання даної цифрової технології може привести до створення мобільного додатку, який дозволить користувачам моніторити та навіть керувати агротехнічними процесами у гідропонних теплицях. Це надає можливість не лише спостерігати за процесами, а й активно впливати на них, враховуючи всю доступну інформацію.

Висновки до розділу 4

В четвертому розділі випускної кваліфікаційної роботи магістра було проведено апаратний синтез складових комп'ютерно-інтегрованої системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки на базі прийнятих раніше структурно-логічних і алгоритмічних рішень. Зазначене апаратне забезпечення дозволяє в повному обсязі реалізувати алгоритми та напрацювання, що викладені в третьому розділі випускної кваліфікаційної роботи, з використанням хмарного обчислювального середовища Thing Boards. В основну апаратної реалізації в повному обсязі покладена концепція Інтернету Речей, що дозволяє взаємодіяти датчикам та виконавчим пристроям без використання аналітичних спроможностей людини – оператора системи. Всі налаштування та майбутні прогнози станів і розвитку подій використовують зв'язок між пристроями, виключаючи вплив людини. Моніторинг стану роботи гідропонного тепличного комплексу може відбуватись з використанням SCADA-системи з HMI-інтерфейсом, що реалізовано на основі доступу до хмарного сервісу Thing Boards, відповідно до розробленої схеми обробки логічних зв'язків і інформаційних потоків.

ВИСНОВКИ

Підвищення рівня продовольчої безпеки можна досягти за рахунок впровадження систем автоматизації в агросекторі. На сьогоднішній день, один із перспективних напрямів розвитку в агросекторі є застосування систем гідропоніки для економного і швидкого вирощування екологічно чистих продуктів. Даний напрям є високотехнологічним і від якості та дозування поживних сумішей напряму залежить ефективність даного способу вирощування сільськогосподарської продукції.

В першому розділі випускної кваліфікаційної роботи було проведено аналітичний огляд об'єкту автоматизації та подальшого дослідження. В якості об'єкту в роботі виступає система гідропоніки. При проведенні детального огляду предметної галузі були розглянуті основні типи та способи побудови систем рослинництва, що використовуються в тепличних комплексах на базі технологій гідропоніки, і визначено, що найбільш поширеним на сьогоднішній день є системи, що використовують системи технології живильної плівки – NFT. Саме дані системи передбачають, що рослини підвішують над безперервним потоком поживного розчину, який омиває кінчики кореневої системи рослини. Даний спосіб найбільш ефективно зарекомендував себе як у випадку використання в промислових масштабах так і для особистого користування.

Були визначені ключові параметри, що мають істотний вплив на ефективність використання таких систем, а саме:

- рівень живильного розчину;
- стан субстрату (вологість);
- густина розчину (CE);
- температура живильного середовища;
- освітленність;
- кислотність (рівень pH).

Саме ці параметри мають бути такими, що потребують контролю і управління засобами комп'ютерно-інтегрованих технологій для підвищення

ефективності використання ресурсів і досягнення найкращих результатів з якісних і кількісних показників врожайності.

Другий розділ випускної кваліфікаційної роботи було присвячено розробці основних структурних та алгоритмічних рішень, що будуть використані для побудови комп'ютерно-інтегрованої системи управління NFT-гідропонікою. При аналітичному огляді в попередньому розділі додатково було обґрунтовано, що в якості базової моделі тепличної гідропоніки буде використовуватись система на базі технології живильної плівки (NFT), з варіантом підвищення рослини над безперервним потоком поживного розчину, який омиває кінчики кореневої системи рослини.

Були визначені основні п'ять критеріїв, що мають істотний вплив на ефективність застосування технології NFT-гідропоніки:

1. Температура повітря.
2. Вологість повітря та концентрація CO₂.
3. Кислотність та електропровідність поживного розчину.
4. Аерація коріння.
5. Освітлення.

Виходячи з вищезазначених параметрів і на підставі ґрунтового аналізу теоретичного та практичного матеріалу, що знаходиться у відкритому доступі, було вирішено використовувати комп'ютерно-інтегровану систему з застосуванням мікропроцесорної техніки (мікроконтролерів, мікрокомп'ютерів, датчиків, актуаторів, модулів зв'язку) наряду з сервісами Інтернету Речей та застосуванням хмарних середовищ для збору даних, проведення обчислень та аналітики.

Під час розробки системи визначено базові підходи та способи їх реалізації та методи, які будуть використані при проектуванні комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного управління та контролю гідропонних параметрів теплиці.

В результаті виконання третього розділу було підтверджено можливість використання нейронної мережі як керуючої частини системи гідропоніки. Архітектура використаної мережі є багатошаровим персептроном. Навчена

нейронна мережа формує керуючий вплив, що регулює кількість живильного розчину, що подається насосом, інтенсивність освітлення рослин фітолампкою і рух повітряних мас вентилятором.

Виконана робота може бути використана фермерами для зниження витрат енергії на вирощування рослин без зниження продуктивності гідропоніки. Технологія може бути реалізована як у домашніх системах гідропоніки, так і в сіті-фермах з можливістю інтеграції в енергозберігаючі житлові приміщення та системи розумного будинку. Технологія виконує обмежений набір операцій у системі керування гідропонікою, фокусуючись на певному вигляді рослини.

Дана робота може бути спрямована на розширення набору параметрів управління та видів рослин, що культивуються, це призведе до можливості масштабування системи на великі підприємства.

В четвертому розділі випускної кваліфікаційної роботи магістра було проведено апаратний синтез складових комп'ютерно-інтегрованої системи управління та адаптивного контролю параметрів NFT-гідропоніки на базі прийнятих раніше структурно-логічних і алгоритмічних рішень. Зазначене апаратне забезпечення дозволяє в повному обсязі реалізувати алгоритми та напрацювання, що викладені в третьому розділі випускної кваліфікаційної роботи, з використанням хмарного обчислювального середовища Thing Boards. В основну апаратної реалізації в повному обсязі покладена концепція Інтернету Речей, що дозволяє взаємодіяти датчикам та виконавчим пристроям без використання аналітичних спроможностей людини – оператора системи. Всі налаштування та майбутні прогнози станів і розвитку подій використовують зв'язок між пристроями, виключаючи вплив людини. Моніторинг стану роботи гідропонного тепличного комплексу може відбуватись з використанням SCADA-системи з HMI-інтерфейсом, що реалізовано на основі доступу до хмарного сервісу Thing Boards, відповідно до розробленої схеми обробки логічних зв'язків і інформаційних потоків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цілі сталого розвитку [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku> – Дата доступу: вересень 2023. – Назва з титул. екрана.
2. Luna-Maldonado, Alejandro & Márquez-Reyes, Julia & Breceda, Héctor & Rodriguez, Humberto & Vidales, Juan & Maldonado, Urbano. (2019). Automation and Robotics Used in Hydroponic System. DOI:10.5772/intechopen.90438.
3. Що таке гідропоніка, методи вирощування рослин без ґрунту – Режим доступу: <https://hydroponics.in.ua/ua/art-cho-takoe-gidroponika> – Дата доступу: вересень 2023. – Назва з титул. екрана.
4. Гідропоніка – Режим доступу: <https://floragrowing.com/uk/encyclopedia/gydroponyka> – Дата доступу: вересень 2023. – Назва з титул. екрана.
5. Особливості вирощування зелені та овочів в модернізованих теплицях – Режим доступу: https://blog.agrokebety.com/AgrokebetyPRO_M9 – Дата доступу: вересень 2023. – Назва з титул. екрана.
6. Bluelab Dosetronic Controller - Pure Hydroponics – Режим доступу: <https://purehydroponics.com/products/professional-growrooms/bluelab-dosetronic-controller/> – Дата доступу: жовтень 2023. – Назва з титул. екрана.
7. Назвіть Шість Типів Гідропонних Систем – Режим доступу: <https://ua.growspecdevice.com/info/what-are-the-six-types-of-hydroponic-systems-62964800.html> – Дата доступу: жовтень 2023. – Назва з титул. екрана.
8. Saaïd MF, Sanuddin A, Ali M, Yassin MSAIM. Automated pH controller system for hydroponic cultivation. IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE); 2015; Langkawi. Langkawi: IEEE; 2015. p. 186–190. <https://doi.org/10.1109/ISCAIE.2015.7298353>
9. William T. Hydroponics for everybody: All about home horticulture. Mama Publishing; 2015. 288 p.

10. Berry C., Chan L., Duan M., Leong J., Xu H. Aquaponics Monitoring and Control System Piponics. An open-source 'Internet of Things' device and mobile application, 2021. 99 p.
11. Morimoto T, Hashimoto Y. Optimal control of plant growth in hydroponics using neural networks and genetic algorithms. *Acta Horticulturae*. 1996;406:433–440. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.406.43>
12. Hashimoto Y. Computer integrated plant growth factory for agriculture and horticulture. *IFAC Proceedings Volumes*. 1991;24(11):105–110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-041273-3.50023-9>
13. Hatou K, Nonami H, Itoh M, Tanaka I, Hashimoto Y. Computer integrated plant growth factory for agriculture and horticulture. *IFAC Proceedings Volumes*. 1991;24(11):301–306. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-041273-3.50058-6>
14. Yumeina D, Aji GK, Morimoto T. Dynamic optimization of water temperature for maximizing leaf water content of tomato in hydroponics using an intelligent control technique. *Acta Horticulturae*. 2017;5:55–64. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1154.8>
15. Son JE, Kim H, Ahn TI. Hydroponic systems. In: Kozai T, Niu G, Takagaki M, editors. *Plant factory. An indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic Press; 2020. pp. 273–283. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0>
16. Aji GK, Hatou K, Morimoto T, Modeling the dynamic response of plant growth to root zone temperature in hydroponic chili pepper plant using neural networks. *Agriculture*. 2020;10(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture10060234>
17. Ferentinos KP, Albright LD. Fault detection and diagnosis in deep-trough hydroponics using intelligent computational tools. *Biosystems Engineering*. 2003;84(1):13–30. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00232-5](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00232-5)
18. Saraswathy VR, Nithiesh C, Palani Kumaravel S, Ruphasri S. Integrating intelligence in hydroponic farms. *International Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2020;11(4):150–158. <https://doi.org/10.34218/IJEET.11.4.2020.017>
19. Jung D-H, Kim H, Jhin C, Kim H-J, Park S. Time-serial analysis of deep neural network models for prediction of climatic conditions inside a greenhouse.

Computers and Electronics in Agriculture. 2020;173. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105402>

20. Saraswathi D, Manibharathy P, Gokulnath R, Sureshkumar E, Karthikeyan K. Automation of hydroponics green house farming using IoT. 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA); 2018; Pondicherry. Pondicherry: IEEE; 2018. p. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSCAN.2018.8541251>

21. Mehra M, Saxena S, Sankaranarayanan S, Tom RJ, Veeramanikandan M. IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. Computers and Electronics in Agriculture. 2018;155:473–486. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.015>

22. Kularbphetpong K, Ampant U, Kongrodj N. An automated hydroponics system based on mobile application. International Journal of Information and Education Technology. 2019;9(8):548–552. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2019.9.8.1264>

23. Siemens. Логічні модулі LOGO! [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://new.siemens.com/ua/ru/products/avtomatizatsiya-promyshlennosti/sistemy-avtomatizatsii/promyshlennyye-sistemy-avtomatizatsii-simatic/kontrolery-simatic/avtomatizatsiya-s-logo.html> – Дата доступу: листопад 2023. – Назва з титул. екрана.

24. Сенсори рН Seko. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dosingtech.com.ua/ru/catalog/datchiki-ph-redox-2/> – Дата доступу: листопад 2023. – Назва з титул. екрана.

25. Сенсори електропровідності Seko. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dosingtech.com.ua/ru/catalog/datchiki-elektroprovodimosti/> – Дата доступу: листопад 2023. – Назва з титул. екрана.

26. Pragmatik. Сенсор температури. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://pragmatic.com.ua/greisinger_tf101k – Дата доступу: листопад 2023. – Назва з титул. екрана.

27. Hydroponics. Розчинний вузол. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://hydroponics.in.ua/rastvornyj-uzel-phctds-controller-inline-5->

[nasosov](#) – Дата доступу: листопад 2023. – Назва з титул. екрана.

28. Things Board. Smart solutions for agriculture and smart farming.
[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://thingsboard.io/smart-farming/> –
Дата доступу: листопад 2023. – Назва з титул. екрана.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світових прорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірjuвальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів,

розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

A.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об’ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{\text{CP}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{ОСЛ}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{\text{ОСЛ}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{CP}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність $2200 \text{ м}^3/\text{год.}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені

норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70 \%$, $P_{\text{стін}} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0 \% < \Phi_{\text{л}} < +20 \%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$