

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

« ____ » _____ 2023 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційне забезпечення
робототехнічних систем»
спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Система оптимального керування гідропонним вирощуванням
рослин»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ІК-92
Мазур Ангеліна Едуардівна

Керівник:

Асистент кафедри ІСТ,
Бердник Юрій Михайлович

Рецензент:

ст. вик. каф. ОТ, доктор філософії,
Таран Владислав Ігорович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Мазур Ангеліні Едуардівні

1. Тема проєкту «Система оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин», керівник проєкту Бердник Юрій Михайлович, асистент кафедри ІСТ, затверджені наказом по університету №2102-с від 31 травня 2023.
2. Термін подання студентом проєкту: 12.06.2023р.
3. Вихідні дані до проєкту: мова програмування C++, програмні середовища MATLAB, Proteus, Tinkercad.
4. Зміст пояснювальної записки:
 1. Призначення та область застосування: опис об'єкта дослідження, аналіз особливостей застосування існуючих систем.
 2. Огляд існуючих рішень та аналіз методів оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин: дослідження ринку та представлених на ньому рішень, порівняння існуючих типів системи, виявлення їх недоліків, дослідження існуючих методів оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин.
 3. Постановка вимог до характеристики системи: формування технічних та функціональних вимог до системи.
 4. Формування структурної та функціональної схем: виявлення основних підсистем, детальне опис роботи кожної із підсистем.
 5. Вибір компонентів системи: на базі сформованих структурної та функціональних схем здійснюється вибір компонентів, що задовільняють потреби та задачі системи.

6. Формування електричної принципова схема: розробка електричної принципової схеми.
7. Математична модель динаміки роботи системи: формування основних фізичних та математичних рівнянь між величинами системи, вивід та обчислення необхідних величин із відомих, формування передавальних функцій керування об'єкта за заданими умовами, дослідження роботи сформованих передавальних функцій за допомогою програмного середовища MATLAB.
8. Формування регулятора з оптимальними параметрами для системи: на базі створеної математичної моделі проводиться розробка схеми із регулятором та без для дослідження роботи системи під додатковим впливом та без нього та оптимізація параметрів регулятора до задач системи за допомогою програмного середовища MATLAB.
9. Створення прототипу системи: за допомогою програмних середовищ Proteus та Tinkercad створюється схеми симуляції роботи системи та за допомогою мови програмування C++ здійснюється налаштування роботи компонентів системи.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):
 Структурна схема, функціональна схема, електрична принципова схема, математична модель динаміки керування рівнем рН та температурою.
6. Дата видачі завдання : 31 березня 2023р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд предметної області	09.04.2023	
2	Огляд існуючих рішень та аналіз методів оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин	16.04.2023	
3	Формування вимог до системи	23.04.2023	
4	Розробка структурної та функціональної схем системи	30.04.2023	
4	Вибір окремих компонентів системи	07.05.2023	
5	Розроблення схеми електричної принципової системи оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин	14.05.2023	
6	Моделювання динаміки процесу зміни рівня рН та температури Matlab/Simulink	28.05.2023	
7	Розробка регулятора з оптимальними параметрами для заданої системи Matlab/Simulink	04.06.2023	
8	Створення прототипу системи	07.06.2023	
9	Оформлення пояснювальної записки	12.06.2023	
10	Подача готового проєкту до захисту		

Студент

Ангеліна МАЗУР

Керівник

Юрій БЕРДНИК

АНОТАЦІЯ

Мазур А.Е. Система оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2023.

Проект містить 66 сторінки тексту, 46 рисунки, 33 посилання на літературні джерела, 4 конструкторські документи.

Ключові слова: мікроконтролер, гідропонна система, вирощування рослин, рівень рН, температура, освітленість, датчики, математична модель, прототип пристрою.

Об'єктом розробки є вирощування рослини без ґрунту, предметом – гідропонна система вирощування рослин.

Мета роботи: досягти спрощення вирощування рослин без ґрунту та здешевити процес гідропонного вирощування рослин.

У дипломному проекті було розроблено структурну схему, функціональну схему, електричну принципову схему, розроблена математична модель динаміки процесів системи, знайдено параметри регулятора, що є оптимальним для системи, досліджені аналоги на ринку, спроектовано прототип системи оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин, в основі якого знаходиться мікроконтролер АТМega328, який керує датчиком рівня рН поживного розчину, сервоприводами, що виступають в ролі клапанів, двигуном постійного струму, що виступає змішувачем поживного розчину, світлодіодною лампою, п'єзодинаміком, датчиком температури поживного розчину в ємності та датчиком освітленості – фоторезистором.

Отримані результати бакалаврському дипломному проекті, можуть бути використані в межах діяльності гуртка «ES&IoT – Вбудовані системи та інтернет речей» кафедри ІСТ.

SUMMARY

Mazur A.E. System of optimal management of hydroponic plant cultivation. KPI named after Igor Sikorsky. Kyiv, 2023.

The project contains 66 pages of text, 46 drawings, 33 references to literary sources, 4 design documents.

Key words: microcontroller, hydroponic system, growing plants, pH level, temperature, illumination, sensors, mathematical model, device prototype.

The object of development is growing a plant without soil, the subject is a hydroponic plant growing system.

The goal of the project: to achieve simplification of growing plants without soil and to reduce the cost of the process of hydroponic growing of plants.

In the diploma project, a structural diagram, a functional diagram, an electrical schematic diagram were developed, a mathematical model of the dynamics of the system processes was developed, the parameters of the regulator that are optimal for the system were found, analogs on the market were studied, a prototype of the system for optimal control of hydroponic plant cultivation was designed, the basis of which is an ATmega328 microcontroller that controls the pH sensor of the nutrient solution, servo drives acting as valves, a DC motor acting as a nutrient solution mixer, an LED lamp, a piezo speaker, a sensor for the temperature of the nutrient solution in the tank, and a light sensor - a photoresistor.

The obtained results of the bachelor's diploma project can be used within the activities of the "ES&IoT - Embedded systems and Internet of Things" circle of the Department of ICT.

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. аркушів	Номер екзем.	Примітка
1			<u>Документація загальна</u>			
2						
3			Знову розроблена			
4						
5	A4	ІК92.170БАК.005 ПЗ	Пояснювальна записка	66		
6	A3	ІК92.170БАК.005 Д1	Система оптимального	1		
7			керування гідропонним			
8			вирощуванням рослин.			
9			Структурна схема			
10				1		
11	A3	ІК92.170БАК.005 Д2	Система оптимального			
12			керування гідропонним			
13			вирощуванням рослин.			
14			Функціональна схема			
15						
16	A3	ІК92.170БАК.005 Э1	Система оптимального	1		
17			керування гідропонним			
18			вирощуванням рослин.			
19			Електрична принципова			
20			схема			
21						
22	A3	ІК92.170БАК.005 Д3	Система оптимального	1		
23			керування гідропонним			
24			вирощуванням рослин.			
25			Математична модель			
26			динаміки керування			
27			рівнем рН та температурою			
28						

ІК92.170БАК.005 ТП

Арку	Аркуш	№ докум.	Підпис				
Розроб.		Мазур А.Е.		Система оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин. Відомість проєкту	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівн.		Бердник Ю.М.			Т	1	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Група ІК-92		
Затв.		Ролік О.І.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система оптимального керування
гідропонним вирощуванням рослин»

Київ – 2023 року

3.1.4 Оксигенатори.....	20
3.1.5 Контроль параметрів.....	20
3.1.6 Керування параметрами середовища.....	20
3.1.7 Дренажна система	20
3.1.8 Освітлення.....	21
3.2 Функціональні характеристики системи.....	21
Висновок до розділу.....	21
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ	22
4.1 Опис структурної схеми	22
Висновок до розділу.....	24
5 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ.....	25
5.1 Підсистема керування рівнем рН	25
5.1.1 Датчик виміру рівня рН Atlas Scientific pH Sensor	25
5.1.2 Впускний магнітний електричний клапан ½" АОС724	26
5.1.3 Зливний магнітний електричний клапан ½" АОС723.....	28
5.1.4 Мотор з редуктором GA-N20 30RPPM 6В	29
5.2 Підсистема керування температурою поживного розчину	30
5.2.1 Датчик виміру температури рідин водонепроникний DS18B20.....	30
5.2.2 Кип'ятильник електричний Елна-Сервіс ЕПМ 0,7/220.....	31
5.2.3 Електромагнітне реле Songle SRD-05VDC-SL-C.....	32
5.3 Підсистема контролю рівня кисню у поживному розчині	33
5.3.1 Датчик виміру рівня кисню Atlas Analog Dissolved Oxygen.....	33

5.3.2 Аератор Air Pump and Vacuum DC Motor - 4.5V and 1.8 LPM - ZR320-02PM	34
5.4 Підсистема контролю рівня освітлення навколишнього середовища...	35
5.4.1 Модуль датчика світла та освітленості на базі фоторезистора	35
5.4.2 Резистор на 10 кОм	36
5.5 Підсистема реагування	36
5.5.1 Модуль RGB-світлодіод KY-016.....	36
5.5.2 Активний п'єзодинамік (buzzer) 5В.....	37
5.5.3 Резистор на 220 Ом	38
Висновок до розділу.....	38
6 РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	39
6.1 Мікроконтролер ATmega328	39
6.2 Модуль електромагнітного реле.....	40
6.3 Елементи керування.....	41
Висновок до розділу.....	41
7 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ pH ТА ТЕМПЕРАТУРОЮ	42
7.1 Математична модель процесу зміни концентрації рН	42
7.2 Математична модель процесу зміни температури розчинного розчину .	44
Висновок до розділу.....	48
8 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА.....	49
8.1 Розрахунок підрегулятора	49
8.2 Синтез оптимального регулятора	52
Висновок до розділу.....	55

9	СТВОРЕННЯ ПРОТОТИПУ ГЛИБОКОВОДНОЇ ГІДРОПОННОЇ СИСТЕМИ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН	56
9.1	Створення підсистеми симуляції роботи датчика виміру рівня рН	56
9.2	Створення підсистеми симуляції роботи зміни рівня рН, виміру температури, освітлення та індикації.....	58
	ВИСНОВКИ.....	62
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

У сучасному світі виникає все більше проблем, пов'язаних із вирощуванням рослин. Найбільш поширені з яких це – забруднення ґрунту та води через використання хімічних добрив та пестицидів та інтенсивне використання землі для забезпечення продовольчих потреб людства, що призводить до вирубування лісів і знищення природних екосистем. Також достатньо серйозним є питання залежності вирощування від кліматичних умов, що інколи можуть бути непередбачуваними. Варто звернути увагу і на соціально-економічну проблему пов'язану з доступом до рослин, а отже і їхнім вирощуванням, оскільки вирощування рослин розподілене нерівномірно з точки зору доступу до ресурсів.

Гідропонні системи допомагають вирішити ці питання, оскільки вони використовують мінімальну кількість хімічних речовин; надають більший контроль над умовами росту рослин, дозволяючи вирощувати їх у будь-який час року незалежно від кліматичних факторів; можуть бути використані у місцях з обмеженим доступом до ґрунту, таких як міські простори або ж невикористані промислові приміщення, дозволяючи зберегти природні ресурси, зменшити вируб лісів та забезпечити споживачів свіжим та якісним різноманіттям рослин на місці. Отже, гідропонні системи є ефективним рішенням для вирощування рослин. Тому тема створення гідропонної систем для вирощення рослин є досить актуальною.

Об'єктом розробки є вирощування рослини без ґрунту, предметом – гідропонна система вирощування рослин.

Мета проекту – досягти спрощення вирощування рослин без ґрунту та здешевити процес гідропонного вирощування рослин.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Гідропонні системи призначені для вирощування рослин без використання традиційного ґрунту. Основним призначенням гідропонних систем є забезпечення оптимальних умов для росту і розвитку рослин, забезпечення надійного доступу до поживних речовин і води, а також контроль навколишнього середовища. Основні причини використання гідропоніки включають [1]:

– збільшення врожайності: гідропонні системи дозволяють забезпечити оптимальні умови росту для рослин, такі як: стаке постачання поживних речовин, вода і світло;

– економія простору: гідропоніка дозволяє вирощувати рослини на обмеженій площі, оскільки вона не потребує використання традиційного ґрунту, ці системи можуть бути вертикальними, горизонтальними або розташовуватися у закритих приміщеннях, що дозволяє ефективно використовувати простір;

– контроль умов вирощування: гідропонні системи дозволяють точно контролювати умови, в яких ростуть рослини, що включає контроль рівня поживних розчинів, рН, електропровідності, температури, вологості і освітлення, тому такий контроль дозволяє оптимізувати ріст і врожайність рослин, а також уникнути захворювань і шкідників;

– економія води і добрив: у гідропоніці вода використовується більш ефективно порівняно з традиційним сільським господарством, оскільки гідропонічні системи перерозподіляють, рециркулюють і використовують воду, що дозволяє значно зменшити її споживання, крім того, точне внесення поживних речовин дозволяє ефективніше використовувати добрива;

– зниження впливу негативних факторів: гідропонні системи можуть бути розташовані у закритих приміщеннях, що дозволяє захистити рослини від екстремальних погодних умов, шкідливих грибкових або бактеріальних захворювань, а також шкідливих комах і шкідників.

Дані системи застосовуються у багатьох галузях, зокрема:

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

– комерційне сільське господарство: гідропоніка використовується для вирощування овочів, фруктів, ягід, трав, квітів і тепличних рослин на комерційних фермах, яка дозволяє отримувати високі врожаї на обмеженій площі, контролювати умови вирощування, зменшувати використання води і добрив, а також запобігати поширенню хвороб і шкідників;

– дослідницькі центри і університети: гідропонні системи використовуються для проведення наукових досліджень у галузі рослинного вирощування, генетики, фізіології рослин, біології та інших суміжних областях, які дозволяють контролювати ізольовані параметри, що впливають на ріст рослин, для вивчення їх впливу на розвиток і врожайність;

– урбаністичне сільське господарство: гідропонні системи стають популярними у міському середовищі, де відсутність вільної землі і обмежені просторові ресурси ускладнюють традиційне сільське господарство;

– вирощування рослин у космосі: гідропонні системи застосовуються в космічних місіях для вирощування рослин на борту космічних станцій, що важливе для забезпечення астронавтів свіжою їжею та виробництва кисню у замкнених середовищах;

– навчання та освіта: гідропонні системи використовуються у навчальних закладах для навчання студентів сільського господарства, біології, ботаніки та екології, які надають можливість студентам отримати практичні навички вирощування рослин і вивчити принципи гідропоніки.

Висновок до розділу

Гідропонні системи можуть бути використані в багатьох інших галузях, де вирощування рослин без ґрунту є вигідним, зручним і дозволяє отримати кращі результати у порівнянні з традиційними методами вирощування.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ГІДРОПОННИМ ВИРОЩУВАННЯМ РОСЛИН

2.1 Огляд існуючих рішень

На сьогодні існує багато різноманітних гідропонних систем представлених на ринку, розглянемо найбільш доступні та поширені з них.

2.1.1 Гідропонна система Active Aqua Root Spa 5 Gallon



Рисунок 2.1 – Гідропонна система Active Aqua Root Spa 5 Gallon [2]

Active Aqua Root Spa (рисунок 2.1) – система глибоководної культури, що використовується для вирощування рослин шляхом того, що її коріння повністю поміщується у посудину з поживним розчином, який постійно насичується повітрям, таким чином рослина отримує достатню кількість кисню та поживних речовин, що покращує її ріст.

Найголовніша перевага даної системи у тому, що рослини знаходяться окремо одна від одної, тому заплутування коренів, або поширення хвороб досить низька, а разі захворювання рослини її легко ізолювати від інших. Також дану систему достатньо проста у налаштуванні та використанні.

Недолік даної системи полягає у тому, що поживний розчин майже нерухомий, що може призвести до росту бактерій, водоростей, цвілі та грибків. Також в даних системах важливо мати змогу відслідковувати та керувати рівнем рН.

Комплектація даної системи: відро, кошик для відра 8 дюймів, ½ дюймова втулка, ¼ дюймова трубка, зібраний багатоцільовий повітряний шланг, повітряний насос.[3]

2.1.2 Гідропонна система Hydrofarm MegaGarden



Рисунок 2.2 – Гідропонна система Hydrofarm MegaGarden [4]

Hydrofarm MegaGarden (рисунок 2.2) – система періодичного затоплення, що використовується для вирощування рослин шляхом того, що рослини поміщуються у окремі контейнери, які встановлюються на піддон. Надалі відбувається перекачування поживного розчину із резервуару в піддон із контрольованим рівнем води. Таким чином рослини рівномірно насичуються киснем та отримують поживні речовини із розчину.

Перевага даної системи полягає у тому, що живильний розчин повторно використовую протягом певного періоду часу, перш ніж він стане настільки розбавленим, що його потрібно буде поновити, тож це заощаджує використання води.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

Також системи періодичного затоплення займають трохи менше місця, ніж системи глибоководної культури, тому якщо є обмеження за простором, то більш доречно обрати саме її.

Недоліком даної системи є те, що її необхідно постійно заповнювати новим живильним розчином.

Комплектація даної системи: резервуарів на 8 галонів, піддон для вирощування з отворами, Hydrofarm кашпо (x15), глиняна галька, що слугує середовищем для вирощування, заливний штуцер $\frac{1}{2}$ дюйма, зливний штуцер $\frac{3}{4}$ дюйма, вертикальна труба для висхідного потоку рідини або газу $\frac{3}{4}$ дюйма, вертикальна труба для висхідного потоку рідини або газу $1\frac{1}{4}$ дюйма, елемент наливу та зливу (x2), збірка оглядової зливої трубки, червона кришка ілюмінатора, фільтри зливних отворів (x2), опорна колона піддону, занурювальний насос Active Aqua, трубка подачі розчину $\frac{1}{2}$ дюйма, таймер Hydrofarm, набір для тестування pH.[4]

2.1.3 Вертикальна гідропонна живильного шару система від компанії TIRUSS



Рисунок 2.3 – Вертикальна гідропонна NFT система TIRUSS [5]

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

Hydroponics Grow Kits Nft System (рисунок 2.3) — це вертикальна гідропонна система вирощування, яка використовує технологію живильного шару. Основний принцип роботи даної систем полягає в тому, що тонкий шар поживного розчину циркулює по нахилених каналах, при цьому рослини розміщуються в невеликих отворах або жолобах у цих каналах. Корені знаходяться у контакті з поживним розчином, що протікає під ними, дозволяючи вбирати воду та необхідні поживні речовини.

Основна перевага даної системи полягає в тому, що надлишковий поживний розчин збирається та подається до резервуару для повторного використання. Це забезпечує ефективність у використанні води та поживних речовин.

До комплектації даної системи входить тримач і основна труба, 108 місць посадки, 108 губок для посадок, водяний насос, шланг, інструкція зі встановлення.[6]

2.1.4 Гідропонна система крапельного поливу Wilma V2 - Small



Рисунок 2.4 – Гідропонна система крапельного поливу Wilma V2 – Small [7]

Wilma V2 – Small (рисунок 2.4) – гідропонна система крапельного поливу, що використовується для вирощування рослин шляхом того, що рослини поміщуються у окремі контейнери з певним наповнювачем (глиняна галька, мінеральній ваті, кокосовому ґрунті або ґрунті тощо), які закріплюються на

верхньому лотку. У нижній піддон заливається поживний розчин, який за допомогою окремих крапельних емітерів поступає до встановлених ємкостей.

Найбільша перевага даної системи полягає у тому, що можна налаштувати полив для кожної окремої ємності, тим самим забезпечувати вирощування різних видів рослин. Також до піддону поживний розчин потрапляє назад, що забезпечує його повторне використання.

До комплектації даної системи входить 4 насадки розпилення, 4 насадки поливу, поливні трубки, насосний колектор, насос Maxi-Jet MJ, 4 11-літрові ємкості, верхній лоток, резервуар, інструкція зі встановлення.[7]

2.2 Аналіз типів сучасних гідропонних установок та методів гідропонного вирощування рослин

На даний момент найпоширенішою класифікацією гідропоніки є за методами та за типами систем, що представлено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Сучасні гідропонні установки

2.2.1 Типи систем гідропоніки

Залежно від конструкційних особливостей виділяють наступні системи: система глибоководних культур, система періодичного затоплення, система живильного шару, система крапельного поливу та гнотова система.

Розглянемо їх більш детально.

Системи глибоководних культур або плаваючої платформи [8]. Це найпростіший тип системи. Рослини прикріплюються на платформах, що у розміщенні над поживним розчином. При цьому коріння постійно занурене в нього. Ця система оптимальна для вирощування рослин, що люблять велику кількість води.

Системи періодичного затоплення [9]. Дані системи базуються на принципі циклічного затоплення кореневої зони з використанням води. Вони дозволяють регулювати частоту і тривалість затоплення для забезпечення оптимального поливу. У системах періодичного затоплення вода поступово накопичується в резервуарі або ємності, після чого за допомогою насоса подається до затоплюваного пристрою. Коренева зона рослин затоплюється певний час, після чого вода відтікає назад у резервуар або стікає з грядки. Цей процес може повторюватись за певним графіком або залежати від встановленого таймера.

Техніка живильного шару [10]. Цей тип передбачає створення тонкого плівкового шару харчового розчину, який постійно циркулює над кореневою системою рослин. Корені рослин знаходяться у контакті з цим тонким шаром розчину, що дозволяє їм вбирати воду та поживні речовини. Екссудат харчового розчину збирається і повертається до резервуару для повторного використання.

Системи крапельного зрошення [11]. Дані системи базуються на принципі поступового випуску води у вигляді крапель безпосередньо до кореневої зони рослин. Вони забезпечують ефективне використання води та дозволяють точно дозувати полив для кожної рослини. У системах крапельного зрошення вода

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

подається через трубки або трубопроводи з крапельницями, розташованими вздовж рядків або поруч з кожною рослиною. Крапельниці регулюються таким чином, щоб краплини випускалися з потрібною частотою і об'ємом, що дозволяє забезпечити оптимальне зрошення.

«Пасивна гідропоніка» або гнітна (капілярна) система [12]. Це система, яка використовує принцип капілярної дії для транспортування води до кореневої зони рослин. У гнітній системі, корені рослин знаходяться у контакті з матеріалом, який має високу здатність до водопоглинання, таким як спеціальні гнітні мати або капілярні стрічки. Ці матеріали вбирають воду із резервуару або системи забезпечення вологою, і за рахунок капілярної дії вода піднімається вгору по матеріалу і доставляється до кореневої зони рослин. Одна з форм гнітної системи - це гнітні горщики або контейнери. У цьому випадку, гнітні горщики мають спеціальний гнітний матеріал, що забезпечує капілярний перенос води до кореневої зони рослин. Рослини вирощуються у таких горщиках, а вода поступово піднімається по гнітному матеріалу і надходить до коренів рослин.

Аеро-гідропоніка (іноді також називають аеропонікою) [13]. Це тип систем вирощування рослин, який комбінує елементи гідропоніки (системи вирощування рослин у водному середовищі без використання ґрунту) і аеропоніки (системи вирощування рослин, де корені знаходяться у повітрі).

У аеро-гідропоніці, корені рослин знаходяться у контейнерах або модулях, які підвішуються або розміщуються на спеціальних стелажах. Корені знаходяться у високому ступені вологості повітря, що дозволяє їм отримувати необхідний доступ до кисню. Водні розчини, що містять необхідні поживні речовини, подаються до кореневої зони рослин з використанням системи спеціальних форсунок або фумігацій.

На рисунку 2.6 представлена порівняльна характеристика даних типів гідропонних систем [14].

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12



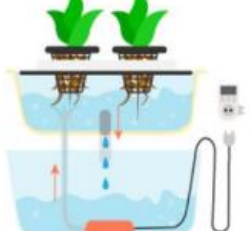
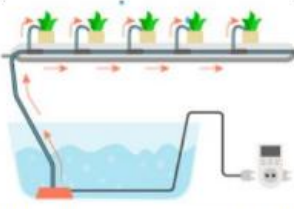

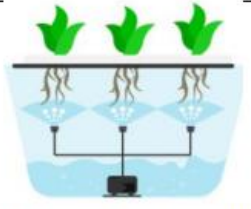
«Фітильна система»	«Система глибоководних культур»	«Система періодичного затоплення»
		
<p>Плюси: простота використання, мінімальні фінансові витрати, надійність. Мінуси: нестача кисню, уповільнений розвиток рослин через пасивну подачу поживних речовин.</p>	<p>Плюси: простота використання, мінімальні фінансові витрати, пришвидшений розвиток рослин. Мінуси: при поганому очищенні можливі захворювання кореневої системи: цвіль та загнивання кореневої шийки.</p>	<p>Плюси: простота використання, повністю автоматизована система, що не вимагає використання дорогого обладнання, добре насичення поживними речовинами, частина яких затримується в субстраті. Мінуси: вимкання електроенергії унеможливає роботу установки.</p>
«Система крапельного поливу»	«Nutrient Film Technique» (N.F.T.) техніка живильного шару	«Аеропоніка»
		
<p>Плюси: з використанням таймеру у реверсивній системі подача необхідної кількості води та контроль рівня рН відбувається одночасно та автоматично. Корені знаходяться у добре аерованому середовищі. Мінуси: вимагає профілактичної чистки системи, щоб уникнути появи засмічень та плісняви у прикореневій зоні та резервуарах.</p>	<p>Плюси: Не використовується субстрат, це зменшує загальні витрати на нього при вирощуванні культур. Вологе повітря у достатній кількості насичує коріння, що позитивно впливає на ріст надземної частини. Мінуси: пошкодження насоса або вимкнення електроенергії повністю унеможливає роботу системи, коріння швидко висихає.</p>	<p>Плюси: дана система максимально збагачує коріння рослин киснем, водою та поживними речовинами, що є рушійною силою пришвидшеного темпу росту рослин. Мінуси: багато уваги треба приділяти роботі таймера, що регулює подачу води. Для розсіювання поживної речовини використовуються форсунки які схильні до частого засмічення.</p>

Рисунок 2.6 – Порівняльна характеристика типів гідропонних систем

2.2.2. Методи гідропонного вирощування рослин

Залежно від того який використовується субстрат з'явилися різні методи гідропоніки. Розглянемо їх детальніше.

Агрегатопоніка [15] – це метод вирощування рослин, який полягає у тому, що корені рослин розташовані у контейнерах або модулях та утримуються або закріплюються в спеціальних субстратах, таких як перліт, кокосове волокно,

розширений глиняний шар тощо. Таким чином корені рослин можуть проникати в субстрат та отримувати доступ до кисню.

Агрегатопоніка використовується в комбінації з різними типами субстратів та системами поливу, що дозволяє адаптувати систему до потреб конкретних рослин (рисунок 2.7). Цей метод дозволяє досягти ефективного використання води та поживних речовин, забезпечує хорошу дренажну систему і контроль над середовищем росту.



Рисунок 2.7 – Приклад системи на базі агрегатопоніки [16]

Водна культура, також відома як гідрокультура [17] – метод гідпропоніки, при якому рослини вирощуються без використання ґрунту, а їх корені занурені у водний розчин поживних речовин.

Один з найпоширеніших методів водної культури – це система рослин у плаваючих підставках або пінопластових матеріалах, які плавають у воді

(рисунок 2.8). Рослини розміщуються на цих підставках, а корені спускаються у воду, де вони отримують доступ до поживних розчинів.



Рисунок 2.8 – Приклад системи на базі водної культури

Хемопоніка [18] – метод гідропоніки, де використовується органічний субстрат такий як: верховий торф зі ступенем розкладання 30%, сфагновий мох, деревна кора, тирса, рисове лушпиння, відходи бавовнику та ін. В цьому методі рослини поверхнево поливаються спеціальним розчином, який містить оптимальну концентрацію макро- і мікроелементів, необхідних для росту та розвитку рослин.

Основна ідея хемопоніки полягає у забезпеченні точного контролю над харчуванням рослин шляхом зміни складу розчину відповідно до їх потреб (рисунок 2.9). Застосування хімічних розчинів дозволяє точно регулювати концентрацію поживних речовин, рН, електропровідність та інші параметри розчину.

Перевагами хемопоніки є можливість максимально оптимізувати поживні умови для рослин, досліджувати вплив різних хімічних складових на їх ріст і розвиток, а також контролювати розподіл поживних речовин між різними

рослинами. Цей метод дозволяє досягти високої продуктивності та якості вирощуваних культур.



Рисунок 2.9 – Приклад системи на базі хемопоніки

Аeropоніка [19] – це метод гідропонного вирощування рослин, в якому корені рослин знаходяться у повітрі, а не занурені у воду або субстрат (рисунок 2.10). У цьому методі коренева система рослин отримує вологу і поживні речовини шляхом прямого контакту з аерозолем поживного розчину. Це створює оптимальні умови для росту рослин, оскільки корені отримують кисень, вологу і поживні речовини без необхідності конкурувати з іншими рослинами за доступ до цих ресурсів.

Аeropоніка має кілька переваг, включаючи ефективне використання води, більший доступ кореневої системи до кисню, більш ефективно засвоєння поживних речовин рослинами, швидший ріст і більший врожай. Крім того, цей метод зменшує ризик поширення хвороб і шкідників, пов'язаних з ґрунтом або субстратом.

У аеропоніці можуть використовуватися різні системи, включаючи вертикальні стелажі, горизонтальні полиці або спеціально розроблені контейнери для рослин.



Рисунок 2.10 – Приклад системи на базі аеропоніки

Іонітопоніка [17] – це метод гідропонічного вирощування рослин, в якому основним постачанням поживних речовин є іонітована вода. У цьому методі, корені рослин поміщені у воду, яка містить іони необхідних поживних речовин.

Іонітопоніка використовує іонітовані солі, такі як солі азоту, фосфору, калію та інших макро- і мікроелементів, розчинені у воді. Рослини забирають необхідні поживні речовини з води через корені, де іони забезпечують їх ріст та розвиток.

Цей метод дозволяє точно контролювати концентрацію поживних речовин у воді, забезпечуючи рослинам оптимальне живлення. Іонітопоніка також має переваги, такі як ефективне використання води, запобігання накопиченню солей у субстраті та зменшення ризику виникнення хвороб, пов'язаних з ґрунтом.

Метод іонітопоніки може легко інтегруватися у різні типи гідропонних систем (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Приклад системи на базі іонітопоніки

Висновок до розділу

Дослідивши різні існуючі системи, їхню побудову, призначення та характеристики, було отримано висновок:

– важливо розуміти умови, в яких буде відбуватися процес вирощування рослини для вибору найбільш доцільної системи та методу.

– важливо розуміти необхідні для рослини умови росту для налаштування системи або ж зміни методу гідропонного вирощування на більш ефективний..

– основною перевагою даних систем є мобільність, ефективне використання ресурсів, доступ до контролю вирощування рослин, корегування умов вирощування та легкість установки.

– основним недоліком існуючих систем є те, що вони не мають прямих механізмів взаємодії з датчиками рН та кисню, що робить ці системи неповними та досить залежними від людей.

3 ПОСТАНОВКА ВИМОГ ДО ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ

3.1 Вимоги до технічних характеристик системи

Технічні характеристики глибоководної гідропонної системи можуть залежати від конкретних потреб культур, але основні вимоги розглянемо нижче.

3.1.1 Резервуар для розчину

Глибоководна гідропонна система повинна мати достатньо великий резервуар для зберігання поживних розчинів. Резервуар повинен бути водонепроникним та міцним для утримання розчину і забезпечення його циркуляції. Розмір резервуару повинен бути достатнім для забезпечення необхідного об'єму розчину для всіх рослин у системі.

3.1.2 Система циркуляції

Глибоководна гідропонна система вимагає потужної системи циркуляції, щоб забезпечити постійний рух розчину під кореневими системами рослин. Для цього можна використовувати насоси з високою продуктивністю та регульованим потоком. Система циркуляції також повинна бути надійною і забезпечувати однорідний потік розчину до всіх рослин.

3.1.3 Платформа для розміщення рослин

Глибоководна гідропонна система вимагає платформи або модулів для розміщення рослин. Ці модулі повинні бути виготовлені з водонепроникних матеріалів, стійких до корозії та міцних. Вони також повинні мати відповідну геометрію та розміри, щоб забезпечити належну підтримку рослин і їх корневих систем.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

3.1.4 Оксигенатори

Глибоководна гідропонна система потребує додаткових оксигенаторів, які забезпечують достатній рівень кисню у розчині. Це може бути система аерації, яка забезпечує міцну оксигенацію розчину та запобігає накопиченню шкідливих забруднень.

3.1.5 Контроль параметрів

Глибоководна гідропонна система повинна мати системи контролю параметрів, такі як рівень рН, температура та рівень кисню. Для цього можна використовувати рН-метри та термометри, які моніторять та регулюють ці параметри. Це дозволяє забезпечити оптимальні умови для росту рослин і реагувати на будь-які зміни в середовищі.

3.1.6 Керування параметрами середовища

Дана глибоководна гідропонна система повинна мати систему керування двома параметрами, такі як рівень рН та температура. У даному випадку, система має керувати рівнем температури від початкової 12°C до 20°C та надавати в систему змінену концентрацію рН $1 \cdot 10^{-6}$ моль/м³ від вхідної $1 \cdot 10^{-7}$ моль/м³.

3.1.7 Дренажна система

Глибоководна гідропонна система повинна мати систему збору і відведення дренажу. Це дозволяє уникнути накопичення надлишкової води, яка може бути шкідливою для кореневої системи рослин. Дренажна система повинна бути ефективною та забезпечувати відведення надлишкової води без перенесення поживних речовин.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

3.1.8 Освітлення

У випадку вирощування рослин в закритому приміщенні, гідропонна система повинна мати відповідне освітлення. Використовуються спеціальні світлодіодні (LED) лампи, які забезпечують потрібний спектр світла для фотосинтезу рослин. Оптимальне освітлення допомагає забезпечити здоровий ріст та розвиток рослин. Проте у нашому випадку приймаємо, що рослини отримують достатню кількість освітлення.

3.2 Функціональні характеристики системи

Основні вимоги до функціональних характеристик гідропонної системи включають:

- забезпечення доставки розчину поживних речовин до кореневої зони рослин;
- моніторинг характеристик розчину, а саме: рівень кисню у воді, рівень рН та температуру розчину;
- керування параметрами середовища, а саме: рівень рН та температуру розчину.

Висновок до розділу

У цьому розділі були розглянуті вимоги до технічних та функціональних характеристик пристрою.

Поставлені вимоги до технічних та функціональних характеристик глибоководної гідропонної системи спрямовані на забезпечення ефективної роботи системи та створення оптимального середовища для росту рослин. Ретельне планування і вибір високоякісного обладнання допоможуть створити ефективну та стабільну гідропонну систему для успішного вирощування рослин.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

4.1 Опис структурної схеми

На кресленику ІК92.170БАК.005 Д1 зображена структурна схема системи оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин. Вона складається з шести підсистем, а саме:

- підсистема логіки та керування, що виконує керування логічними елементами системи, забезпечуючи правильне функціонування та керування різними функціями системи;
- підсистема контролю освітлення, що здійснює моніторинг освітлення навколишнього середовища;
- підсистема контролю кисню, що здійснює моніторинг рівня кисню у поживному розчині;
- підсистема керування рівнем рН поживного розчину, що забезпечує автоматичний контроль та регулювання значення рН в поживному розчині;
- підсистема реагування, що забезпечує сповіщення про стан системи, який може бути задовільним або критичним.

4.2 Опис функціональної схеми

На кресленику ІК92.170БАК.005 Д2 зображена функціональна схема системи оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин. Розглянемо її складові детальніше нижче.

4.2.1 Підсистема логіки та керування

Дана система складається з 3 блоків: блоку зчитування даних з датчиків, блоку керування елементами системи та блоку прийняття рішень.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Блок зчитування даних з датчиків відноситься до компонента системи, який відповідає за отримання даних з різних датчиків. Його основним завданням є зчитування значень, що отримуються від датчиків, та передача цих даних для подальшої обробки або використання в системі.

Даний блок відповідає за успішне підключення датчиків, ініціалізація їх у системі, зчитування та обробка даних та їх подальша передача.

Блок керування елементами системи відповідає за керування різними елементами або пристроями в системі. Його основним завданням є контроль, керування та координація роботи цих елементів для досягнення певних функціональних цілей.

Даний блок відповідає за управління елементами системи, керування послідовністю операцій, обробку сигналів від датчиків та автоматичне керування.

4.2.2 Підсистема контролю кисню у поживному розчині

Дана підсистема містить датчик виміру кисню у розчині, компресор та електричний ключ, за допомогою якого контролюється робота компресора.

Дана підсистема надалі може бути розвинутою і мати додатковий блок для насичення розчину киснем, такі як: насос або аератор.

4.2.3 Підсистема контролю освітленості навколо гідропонної системи

Дана підсистема містить датчик освітлення, за допомогою якого здійснюється моніторинг.

Надалі дана система може бути розвинута шляхом додавання об'єкта керування, а саме пристрою освітлення

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

4.2.4. Підсистема керування температурою поживного розчина

Дана підсистема містить датчик температури, завдяки якому здійснюється постійний моніторинг, нагрівач та підсилювач потужності, який допомагає провести процес нагрівання.

4.2.5 Підсистема керування рівнем рН розчину

Дана підсистема містить датчик виміру рівня рН розчину, завдяки якому проводиться постійний моніторинг, клапани, що відповідають за регулювання рівня рН розчину.

4.2.6. Підсистема реагування

Ця підсистема містить два світлодіоди, що відповідають за стан системи, зелений – допустимий, червоний – критичний, та звуковий пристрій для сигналізації, коли показники системи виходять за допустимі норми.

Висновок до розділу

У розділі було розглянуто основні функції та компоненти цієї системи. Функціональна схема показала, що головним завданням системи є підтримка та регулювання оптимального значення рН та температури розчину. Для цього вона включає такі функції, як вимірювання рН та температури, аналіз та зворотний зв'язок, регулювання рН, зворотний зв'язок та налаштування, а також сигналізацію та аварійний режим.

Структурна схема показала основні компоненти підсистеми. Вона включає датчики для вимірювання значення рН та температури розчину, контролер, який аналізує дані вимірювання та приймає рішення про регулювання.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

5 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ

5.1 Підсистема керування рівнем рН

5.1.1 Датчик виміру рівня рН Atlas Scientific pH Sensor

Atlas Scientific pH Sensor (рисунок 5.1) [20] – це аналоговий датчик, який використовується для вимірювання рівня рН рідин. Він відомий своєю точністю та надійністю у вимірюванні рН. Ось технічні характеристики датчика рН Atlas Scientific:

– діапазон вимірювання: діапазон вимірювання рН датчика рН Atlas Scientific зазвичай становить від 0 до 14 одиниць рН, що охоплює всю шкалу рН від кислотних до лужних розчинів;

– точність: датчик забезпечує високу точність вимірювань рН, часто з точністю до $\pm 0,1$ одиниці рН або вище. Цей рівень точності забезпечує надійне та точне вимірювання рН;

– час відгуку: час відгуку датчика рН Atlas Scientific не більше 5 секунд, що дозволяє проводити вимірювання майже в реальному часі та швидко аналізувати зміни рН рідини;

– вихід: аналоговий вихідний сигнал напруги;

– довжина кабелю: 69,5см;

– калібрування: датчик підтримує калібрування для забезпечення точних показань. Він часто використовує метод калібрування за двома точками, коли датчик калібрується за допомогою відомих буферних розчинів рН при різних значеннях рН;

– інтерфейс: Atlas Scientific pH Sensor розроблено для взаємодії з мікроконтролерами, такими як Arduino, через цифровий протокол зв'язку, як-от I2C (Inter-Integrated Circuit). Це забезпечує легку інтеграцію та зв'язок між датчиком і мікроконтролером;

– робоча напруга: датчик зазвичай працює при низькій напрузі в діапазоні 3,3В-5В, що робить його сумісним із звичайними платами мікроконтролерів;

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

– температурна компенсація: датчик рН Atlas Scientific включає температурну компенсацію для врахування коливань рН через зміни температури. Ця функція забезпечує більш точні та узгоджені вимірювання в різних температурних умовах;

– захисний корпус: датчик часто поміщається в міцний і хімічно стійкий матеріал, такий як епоксидна смола або поліпропілен, щоб захистити його від пошкоджень і забезпечити можливість занурення в рідкі зразки. Розмір модуля становить 42 мм × 32 мм × 20 мм;

– допоміжне програмне забезпечення та бібліотеки: Atlas Scientific надає бібліотеки та документацію для полегшення інтеграції та програмування датчика рН із різними платформами мікроконтролерів. Ці ресурси допомагають спростити процес налаштування та впровадження.



Рисунок 5.1 Датчик рівня рН Atlas Scientific pH Sensor [20]

5.1.2 Впускний магнітний електричний клапан ½" АОС724

Магнітний електричний клапан ½" (впускний, нормально закритий) [21] (рисунок 5.2) є пристроєм, який використовується для керування потоком рідини

в системах автоматизації та керування. Ось технічні характеристики цього клапана:

– розмір: клапан має розмір $\frac{1}{2}$ ", що відноситься до розміру зовнішнього різьблення (дюймова міра) для підключення до трубопроводу або системи;

– тип клапана: поршневий (керується соленоїдом). Соленоїд - це електромагнітний пристрій, що має обмотку, через яку протікає електричний струм. При подачі електричного струму на обмотку соленоїда, виникає магнітне поле, яке залучає або відштовхує металевий ядро (поршень), що знаходиться всередині соленоїда. Отже, коли соленоїд керує поршнем, подача електричного струму на обмотку соленоїда змінює положення поршня. Коли струм присутній, соленоїд генерує магнітне поле, яке зміщує поршень в певному напрямку (залежно від полярності поля). Коли струм відсутній, поле зникає, і поршень залишається у своєму поточному положенні або повертається до початкового стану, залежно від конструкції системи. Такий механізм керування соленоїдом дозволяє досягти точного та контрольованого переміщення поршня. Передбачена можливість керування клапаном за допомогою мікроконтролера або автоматизованої системи;

– стан: нормально закритий клапан, що означає, що у вимкненому стані він забезпечує перекриття потоку рідини, а при подачі електричного сигналу відкривається для пропуску рідини;

– напруга живлення: 12В. Для використання клапана потрібно забезпечити відповідну напругу живлення;

– матеріал корпусу: корпус клапана виготовлений з високоякісних матеріалів, таких як нейлон, нержавіюча сталь, поліоксиметилен, що забезпечує стійкість до корозії та довговічність;

– робочий діапазон тисків: 0.02 – 0.8 МПа. Даний діапазон вказує максимальний тиск, при якому клапан може працювати ефективно та без витoku рідини;

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

– швидкодія: час закриття менше 0.3 с та час відкриття менше 0.15 с. Це забезпечує швидку реакцію на електричний сигнал та миттєве відкриття або перекриття потоку рідини;

– максимальна робоча температура: 70° С, що є задовільним для даної системи;

– розміри: 9 x 6 x 4 см;

– додаткові характеристики: містить сітчастий фільтр .



Рисунок 5.2 – Впускний магнітний електричний клапан АОС724 [21]

5.1.3 Зливний магнітний електричний клапан ½" АОС723

Характеристики даного клапану співпадає з характеристиками магнітного електричного клапану ½" АОС724, проте відсутній сітчастий фільтр [22]. На рисунку 5.3 зображено зливний магнітний електричний клапан АОС723.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28



Рисунок 5.3 – Зливний магнітний електричний клапан АОС723 [22]

5.1.4 Мотор з редуктором GA-N20 30RPPM 6В

Мотор з редуктором GA12-N20 30RPM 6В (рисунок 5.4) [23] – це невеликий DC-мотор з редуктором, який можна використовувати для різних проектів, включаючи змішування рідини. Ось технічні характеристики цієї моделі:

- швидкість обертання без навантаження: 30 об/хв (оборотів в хвилину);
- швидкість обертання під навантаженням: 22 об/хв (оборотів в хвилину);
- напруга живлення: 6В;
- струм без навантаження: 0.1 А;
- струм під навантаження: 0.16 А;
- розміри: діаметр валу – 3мм, довжина валу – 10 мм;
- вага: 10 грам.

Цей мотор має невеликі розміри та низьку швидкість обертання, що є корисним для даної системи, яка потребує змішування рідини.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рисунок 5.4 – Мотор з редуктором GA-N20 30RPPM 6В [23]

5.2 Підсистема керування температурою поживного розчину

5.2.1 Датчик виміру температури рідин водонепроникний DS18B20

Датчик виміру температури води водонепроникний DS18B20 [24] – це зручний датчик для використання, оскільки він має цифровий інтерфейс і може підключатися безпосередньо до мікроконтролера або Arduino (рисунок 5.5). Він має водонепроникний корпус, що дозволяє вимірювати температуру в рідині без проникнення води до датчика. Ось технічні характеристики цієї моделі:

- інтерфейс зв'язку: 1-дротовий цифровий інтерфейс (OneWire);
- точність вимірювання: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$;
- діапазон вимірювання: -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$;
- роздільна здатність: 9-бітна, 10-бітна, 11-бітна або 12-бітна, вибирається програмно;
- час перетворення: залежить від роздільної здатності, від 93.75 мс до 750 мс;
- живлення: Від 3.0В до 5.5В;

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

– витрата струму: До 1mA під час вимірювання, в режимі очікування мінімальна.



Рисунок 5.5 – Датчик виміру температури води водонепроникний DS18B20 [24]

5.2.2 Кип'ятильник електричний Елна-Сервіс ЕПМ 0,7/220

Дана модель має потужність 700 Вт та виготовлена з алюмінію.

На рисунку 5.6 зображено даний кип'ятильник.



Рисунок 5.6 – Кип'ятильник електричний Елна-Сервіс ЕПМ 0,7/220 [25]

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

5.2.3 Електромагнітне реле Songle SRD-05VDC-SL-C

Електромагнітне реле Songle SRD-05VDC-SL-C [26] (рисунок 5.7) використовується для під'єднання нагрівача поживного розчину для системи.

Ось технічні характеристики реле Songle SRD-05VDC-SL-C:

- керування: 5 Вольт постійного струму;
- котушка: 1 керуюча котушка;
- контактна конфігурація: SPDT (Single Pole Double Throw) - один перемикач з однією котушкою і двома контактами;
- максимальний струм комутації: 10 А;
- максимальна напруга комутації: 220 В;
- електричний ресурс: 100 тисяч циклів комутації;
- розміри: приблизно 19 x 15 x 15 мм;
- вага: приблизно 5 грамів.

Це невелике механічне реле з достатньою потужністю для комутації навантаження потужністю до 700 Ват.



Рисунок 5.7 – Електромагнітне реле Songle SRD-05VDC-SL-C [26]

5.3 Підсистема контролю рівня кисню у поживному розчині

5.3.1 Датчик виміру рівня кисню Atlas Analog Dissolved Oxygen

Датчик Atlas Analog Dissolved Oxygen [27] (рисунок 5.8) призначений для вимірювання рівня розчиненого кисню у воді. Він має мембранну конструкцію для точного та стабільного вимірювання розчиненого кисню. Ось технічні характеристики цього датчика:

- діапазон виміру: 0-20 мг/л (або 0-20 ppm);
- точність виміру: $\pm 0,1$ мг/л;
- робоча температура: 0-50°C;
- живлення: 3,3-5 В постійного струму;
- інтерфейс: аналоговий (вихідні дані можуть бути зчитані за допомогою аналогового входу мікроконтролера);
- вихідний сигнал: аналоговий сигнал пропорційний концентрації розчиненого кисню;
- зв'язок: Може бути підключений до Arduino або іншого мікроконтролера за допомогою аналогового входу та програмного забезпечення;
- кабель: В комплекті поставляється кабель для з'єднання датчика з мікроконтролером.



Рисунок 5.8 – Датчик виміру рівня кисню Atlas Analog Dissolved Oxygen [27]

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

5.3.2 Аератор Air Pump and Vacuum DC Motor - 4.5V and 1.8 LPM - ZR320-02PM

Модель "Air Pump and Vacuum DC Motor - 4.5V and 1.8 LPM - ZR320-02PM" [28] (рисунок 5.9) – це компактний і потужний насос, який можна підключити до Arduino. Ось його основні технічні характеристики:

- напруга живлення: 4.5В;
- дебіт повітря: має дебіт повітря 1.8 літрів в повітря за хвилину (LPM), що забезпечує ефективну аерацію;
- тип: цей насос може працювати як в режимі насосу, так і в режимі вакууму, забезпечуючи гнучкість в застосуванні;
- матеріал: корпус насосу виготовлений з високоякісного пластику, який має високу стійкість до води і інших рідин.



Рисунок 5.9 – Аератор Air Pump and Vacuum DC Motor - 4.5V and 1.8 LPM - ZR320-02PM [28]

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

5.4 Підсистема контролю рівня освітлення навколишнього середовища

5.4.1 Модуль датчика світла та освітленості на базі фоторезистора

Модуль датчика освітленості та світла на чіпі LM393 [29] (рисунок 5.10) є компактним електронним пристроєм, який використовує компаратор LM393 для вимірювання рівня освітленості. Технічні характеристики даного модуля:

- напруговий діапазон живлення: варіюється від 3.3В до 5В, що забезпечує його сумісність з різними мікроконтролерами та схемами;
- вихідний сигнал: модуль має цифровий вихідний сигнал, який може бути високим (1) або низьким (0), в залежності від порогового значення освітленості, яке можна налаштувати;
- струмовий діапазон живлення: варіюється від 0.5mA до 3mA;
- чутливість: модуль має регульовану чутливість, що дозволяє налаштувати його під конкретні умови застосування;
- інтерфейс підключення: модуль має простий аналоговий вихід, який можна підключити до аналогового входу мікроконтролера або іншого електронного пристрою;
- розміри: 3.2см × 1.4см;
- додаткові функції: можливість налаштування порогових значень освітленості.



Рисунок 5.10 – Модуль датчика світла та освітленості на базі фоторезистора

[29]

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

5.4.2 Резистор на 10 кОм

Використовується для захисту фоторезистору від перенапруження або надмірного струму. На рисунку 5.11 зображено резистор на 10 кОм.



Рисунок 5.11 – Резистор на 10 кОм

5.5 Підсистема реагування

5.5.1 Модуль RGB-світлодіод KY-016

RGB світлодіод [30] (світлодіод з трьома кольорами: червоний, зелений і синій), зображений на рисунку 5.12, буде виступати індикатором стану системи, де зеленим світінням означитиме, що у системі всі параметри знаходяться у допустимих значеннях та червоним – якщо параметри виходитимуть за допустимі норми. Ось його основні характеристики:

- кількість пінів: RGB світлодіод має три піни: один для червоного світла, один для зеленого й один для синього;
- номінальний струм: 20 мА;
- максимальний імпульсний струм: 50 мА;
- максимальна зворотна напруга: 5 В.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

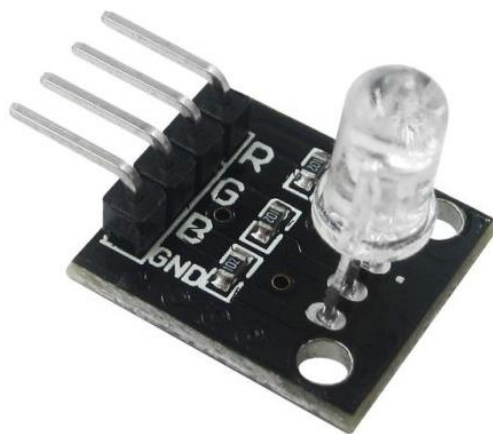


Рисунок 5.12 – Модуль RGB-світлодіод KY-016 [30]

5.5.2 Активний п'єзодинамік (buzzer) 5В

Активний п'єзодинамік на 5 В [31] (рисунок 5.13) буде використовуватися як сигналізація. Технічні характеристики даного елемента:

- живлення: 5 В;
- струм: до 32 мА;
- частота звуку: 2300 Гц;
- діаметр корпусу: 12 мм;
- висота корпусу: 9,6 мм;
- два виводи: плюс та мінус.



Рисунок 5.13 – Активний п'єзодинамік (buzzer) 5В [31]

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

5.5.3 Резистор на 220 Ом

Використовується для захисту модуля RGB-світлодіод KY-016 від перенапруження або надмірного струму. На рисунку 5.14 зображено резистор на 220 Ом.



Рисунок 5.14 – Резистор на 220 Ом

Висновок до розділу

Під час вибору елементів системи було враховано вимоги проєкту, а саме: технічні, функціональні та економічні, що обмежили вибір елементів. Елементи системи відповідають потребам проєкту та мають необхідну функціональність, вони добре сумісні між собою та легко інтегруються, є надійними та доступними.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата		38

6 РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

На кресленіку ІК92.170БАК.005 Э1 представлена електрична принципова схема оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин.

На схемі зображено підключення периферійних датчиків і пристроїв до основного керуючого пристрою, а саме до мікроконтролера.

6.1 Мікроконтролер АТМega328

Мікроконтролер має вбудований аналогово-цифровий перетворювач та можливість обробки сигналів. Ось деякі особливості обробки сигналів на мікроконтролері АТМega328:

– аналоговий вхід/вихід (Analog Input/Output): мікроконтролер АТМega328 має вбудовані аналогові піни, які можуть використовуватись для зчитування аналогових сигналів. Це дозволяє підключати аналогові датчики і обробляти їхні вимірювання;

– аналогово-цифровий перетворювач: АТМega328 має 10-бітний аналогово-цифровий перетворювач, що дозволяє перетворювати аналогові сигнали в цифровий формат. Він може зчитувати значення напруги від 0 до 5 вольт з аналогових пінів;

– ШИМ: мікроконтролер АТМega328 підтримує широтно-імпульсну модуляцію, яка використовується для генерації аналогових сигналів, таких як регулювання яскравості світлодіодів та керування сервоприводами;

– таймери: АТМega328 має вбудовані таймери, які можуть використовуватись для вимірювання часу, генерації пульсуючих сигналів, реалізації затримок і т. д. Це дає можливість точно синхронізувати обробку сигналів;

– інтерфейси комунікації: АТМega328 підтримує різні інтерфейси комунікації, такі як UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), SPI

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

(Serial Peripheral Interface) і I2C (Inter-Integrated Circuit). Ці інтерфейси дозволяють обмінюватись даними з іншими пристроями або мікроконтролерами;

– програмне забезпечення: для програмування мікроконтролера ATmega328 можна використовувати мову програмування C/C++ та середовище Arduino IDE.

6.2 Модуль електромагнітного реле

Модуль електромагнітного реле в принциповій схемі використовується для керування електричними навантаженнями. Він складається з електромагнітного реле та інших компонентів, які забезпечують його правильну роботу. Ось як працює такий модуль:

– електромагнітне реле: містить котушку і контакти, коли на котушку реле надходить достатній струм або напруга, вона створює магнітне поле, яке притягує або відштовхує перемикач реле (контакти);

– контакти реле: реле має нормально відкриті, нормально закриті та комутаційні контакти. При неактивному стані реле (без струму через котушку), нормально закриті контакти з'єднані, а нормально відкриті контакти роз'єднані. Коли реле активується (під впливом магнітного поля), стан контактів змінюється: нормально закриті контакти відкриваються, а нормально відкриті контакти з'єднуються;

– підключення навантаження: електричне навантаження, таке як нагрівач, підключається до комутаційних контактів реле. При активації реле, контакти змінюють свій стан і відповідно увімкнуть або вимкнуть живлення навантаження;

– керування реле: для керування реле використовуються сигнали керування, які можуть бути згенеровані мікроконтролером або іншими джерелами. Сигнали керування подаються на котушку реле, що активує його та змінює стан контактів.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

Модуль електромагнітного реле в принциповій схемі дозволяє керувати електричними навантаженнями шляхом увімкнення або вимкнення струму за допомогою електромагнітного принципу роботи реле.

6.3 Елементи керування

Датчик температури та рівня рН – елементи керування системи, оскільки вони регулюють режими роботи системи та забезпечують взаємодію між компонентами системи.

6.4 Вимірювальні елементи

Датчик освітленості та рівня кисню – вимірювальні елементи системи, оскільки їх використовують для вимірювання параметрів системи.

Висновок до розділу

У даному розділі було детально розглянуто структуру побудованої електричної принципової схеми, визначено елементи системи та їх роль. Результатом розділу є розроблена електрична принципова схема, що може бути використана для подальшої реалізації системи та забезпечення її конкретної роботи.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

7 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ рН ТА ТЕМПЕРАТУРОЮ

7.1 Математична модель процесу зміни концентрації рН

Дана математична модель створюється з метою репрезентування реального процесу зміни концентрації рН допомогою рівнянь, правил і відношень. Вона дозволить дослідити та спрогнозувати поведінку системи та її взаємодію з іншими факторами. Далі ця модель буде використана для створення регулятора системи.

Почнімо з того, що визначимо поняття рН у нашій системі:

$$pH = -lg C \quad (7.1)$$

де C – концентрація водних йонів.

Для легшого формування математичних залежностей надалі використовуватимемо поняття концентрація[32], замість рН, яка дорівнює:

$$C = 10^{-ph} \quad (7.2)$$

Запишемо рівняння фізичного процесу зміни концентрації водних йонів:

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 - Q_3 = \frac{dV}{dt} \\ Q_1 C_1 + Q_2 C_2 - Q_3 C_3 = \frac{d(V C_3)}{dt} \end{cases} \quad (7.3)$$

де Q_1 – вхідний потік води у ємність;

Q_2 – вхідний потік кислоти у ємність;

Q_3 – вихідний потік поживного розчину із ємності;

C_1 – початкова концентрація водних йонів у воді;

C_2 – початкова концентрація водних йонів у кислоті;

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

C_3 – вихідна концентрація водних йонів у воді;

dV – зміна об'єму у ємкості за час dt ;

$dV \cdot C_3$ – зміна об'єму поживного розчину у ємкості за час dt .

Припускаємо, що дана система має ідеальне змішування.

Після математичних перетворень системи з диференційного рівняння за Лапласом отримуємо:

$$\left(\frac{V}{Q_3} s + 1\right) \Delta C = \frac{Q_1}{Q_3} \Delta C_1 + \frac{C_2 - C_1}{Q_3} \Delta Q_2 \quad (7.4)$$

де s – комплексна змінна;

ΔC – вихідна концентрація йонів H^+ системи;

ΔC_1 – вхідна концентрація йонів H^+ системи;

ΔQ_2 – вхідний потік поживного розчину системи;

Представляємо, що :

$$T = \frac{V}{Q_3}, \quad (7.5)$$

$$k_C = \frac{Q_1}{Q_3}, \quad (7.6)$$

$$k_Q = \frac{C_2 - C_1}{Q_3}, \quad (7.7)$$

$$\Delta C = \frac{k_C}{Ts+1} \Delta C_1 + \frac{k_Q}{Ts+1} \Delta Q_2, \quad (7.8)$$

де T – стала часу системи;

k_C – коефіцієнт підсилення за каналом концентрації йонів H^+ ;

k_Q – коефіцієнт підсилення за каналом витрат поживного розчину.

Виражаємо передавальні функції системи:

$$W_C = \frac{k_C}{Ts+1}, \quad (7.9)$$

$$W_Q = \frac{k_Q}{Ts+1} \quad (7.10)$$

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

де W_C – передавальна функція за каналом керування концентрацією йонів H^+ ;

W_Q – передавальна функція за каналом керування поживного розчину.

Отже, після отримання передавальних функцій потрібно виконати математичні підрахунки з відомими величинами та знайти параметри системи.

Оскільки у даній системі буде використовуватися керування за каналом витрат поживного розчину, то знаходимо параметри для передавальної функції W_Q .

Запишемо початкові дані системи:

- $V_{\text{ємності}} = 5 \times 10^{-3} \text{ м}^3$;
- $C_1 = 1 \times 10^{-7} \text{ моль/м}^3$, $C_2 = 1 \times 10^{-4} \text{ моль/м}^3$;
- $Q_1 = 5.556 \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_2 = 2.778 \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$.

За допомогою даних системи та визначених формул вище знайдемо вихідний потік розчину з системи Q_3 , сталу часу системи T , коефіцієнт підсилення за каналом витрат поживного розчину k_C :

- $Q_3 = Q_2 + Q_1 = 5.556 \times 10^{-5} + 2.778 \times 10^{-5} = 8.333 \times 10^{-5}$;
- $T = 5 \times 10^{-3} / 8.333 \times 10^{-5} = 60$;
- $k_C = (1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-7}) / 8.333 \times 10^{-5} = 1.12$.

Отже, передавальна функція об'єкта керування за рівнем рН матиме вигляд:

$$W_C = \frac{1.12}{60s+1} \quad (7.11)$$

7.2 Математична модель процесу зміни температури розчину

Дана математична модель створюється з метою демонстрації реального процесу зміни температури допомогою рівнянь, правил і відношень. Вона дозволить дослідити та спрогнозувати поведінку системи та її взаємодію з

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

іншими факторами. Далі ця модель також буде використана для створення регулятора системи.

Почнімо з того, що запишемо рівняння зміни температури поживного розчину:

$$Pdt = dQ_{роз} + dQ_{навк}, \quad (7.12)$$

де P – потужність нагрівача;

$dQ_{роз}$ – це теплота, яку отримує поживний розчин за проміжок часу dt ;

$dQ_{навк}$ – це теплота, що втрачається ємністю з поживним розчином у навколишнє середовище за проміжок часу dt .

$$dQ_{роз} = cmdT, \quad (7.13)$$

$$dQ_{навк} = k(T - T_{сеп})dt \quad (7.14)$$

Отже, отримуємо:

$$cmdT + k(T - T_{нав})dt = Pdt, \quad (7.15)$$

де c – це середня питома теплоємність води;

m – маса поживного розчину;

dT – зміна температури поживного розчину у ємності за час dt ;

k – коефіцієнт теплообміну між ємністю з поживним розчином та навколишнім середовищем;

$T_{нав}$ – температура навколишнього середовища.

Проведемо математичні перетворень та представити рівняння у наступному вигляді:

$$\frac{cm}{k} \times \frac{dT}{dt} = \frac{P}{k} - (T - T_{нав}) \quad (7.16)$$

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступним кроком потрібно перетворити отримане рівняння зручного вигляду для формування передавальної функції:

P – напруга нагрівача вході системи;

$T - T_{нав}$ – вихідна температура системи;

$k_{підс} = \frac{1}{k}$ – коефіцієнт підсилення;

$T = \frac{cm}{k}$ – стала часу системи.

Отримуємо наступне рівняння:

$$\frac{cm}{k} \times \frac{dP}{dt} = \frac{T - T_{нав}}{k} - P, \quad (7.17)$$

$$T\dot{P} + P = k_{підс}(T - T_{нав}) \quad (7.18)$$

Використовуючи перетворення Лапласа, сформуємо передавальну функцію:

$$W(s) = \frac{k_{підс}}{(Ts+1)} \quad (7.19)$$

Отже, отримано передавальну функцію $W(s)$. Далі проводимо розрахунки невідомих значення шляхом підстановки відомих значень системи.

Маса поживного розчину залежить виключно від об'єму ємності та густини рідини. Оскільки зміна рівня рН не впливає на густину розчину, тому маємо:

$$V_{емності} = 5 \times 10 \text{ м}^3, \quad (7.20)$$

$$m = V_{емності} \rho_{води} = 0,005 \times 1000 = 5 \text{ (кг)} \quad (7.21)$$

Темплоємність поживного розчину приймаємо, як теплоємність води:

$$c = 4.2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times ^\circ\text{C}} \quad (7.22)$$

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

Тепер можливо розрахувати сталу часу:

$$T = \frac{cm}{k} = \frac{840}{k} \quad (7.23)$$

Коефіцієнт теплообміну $k = 25 \frac{\text{Вт}}{\text{оС}}$ [33], оскільки він характерний для такого типу систем, отримуємо $T = 840$, а коефіцієнт підсилення $k_{\text{підс}} = 0,04$. Отже, передавальна функція матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{0.04}{840s+1} \quad (7.24)$$

Оскільки ми отримали дві перехідні функції керування об'єктом за температурою та рівнем рН, то наступним кроком виконаємо моделювання даних функцій у середовищі MATLAB (рисунок 7.1).

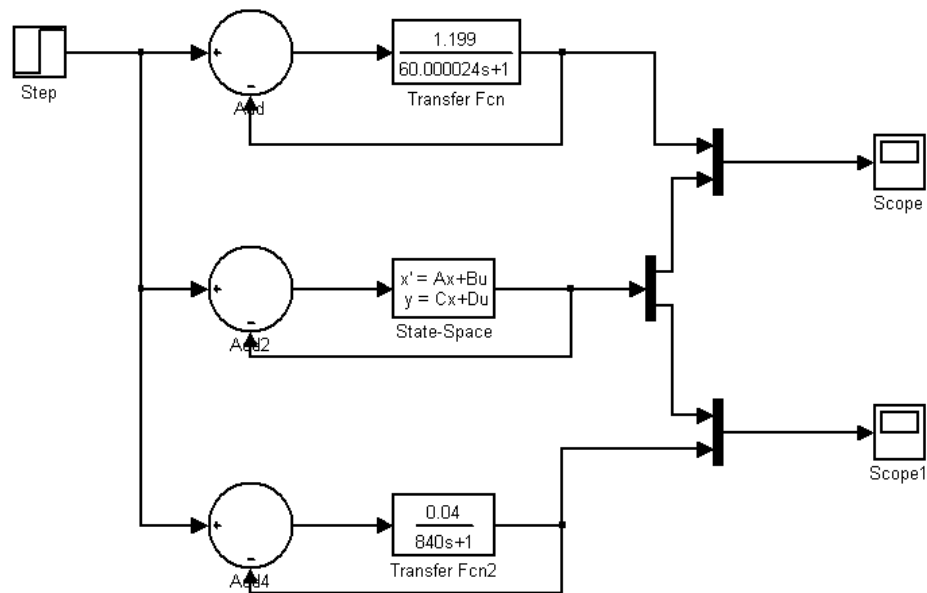


Рисунок 7.1 – Схема керування рівнем рН та температурою

Отримуємо два графіки роботи функцій (рисунок 7.2-7.3):

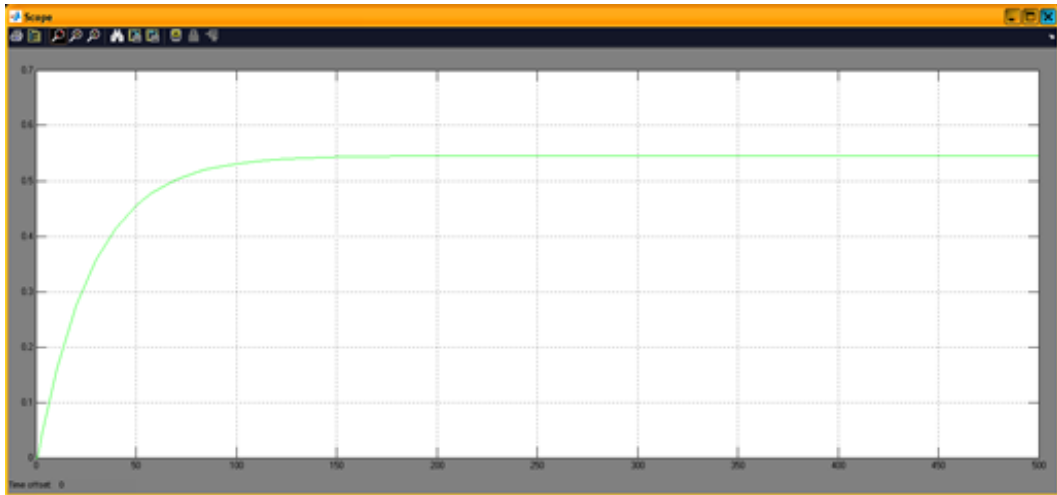


Рисунок 7.2 – Графік роботи функції керування рівнем рН

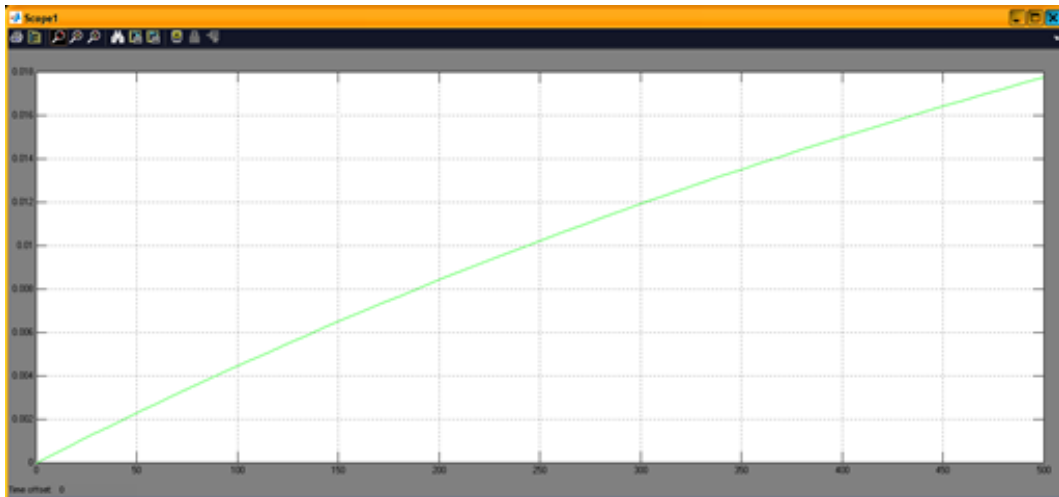


Рисунок 7.3 – Графік роботи функції керування температурою

Як видно за двома графіками у системі існує похибка, яку потрібно за допомогою регулятора.

Висновок до розділу

У ході виконання даного розділу було досліджено динаміку процесів системи, сформовано передавальні функції керування об'єкту за рівнем рН та температурою, а також виконано моделювання роботи даних функцій. Встановлено, що міститься похибка.

8 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

8.1 Розрахунок підрегулятора

Оскільки ми виявили у попередньому розділі, що наша модель керування містить похибку, тоді потрібно розробити регулятор, який прибирав цю похибку та мав оптимальні параметри для заданої моделі.

Для вирішення цієї задачі скористуємося програмним середовищем MATLAB.

Першим кроком побудуємо нашу модель з новими блоком Signal Constrain (рисунок 8.1):

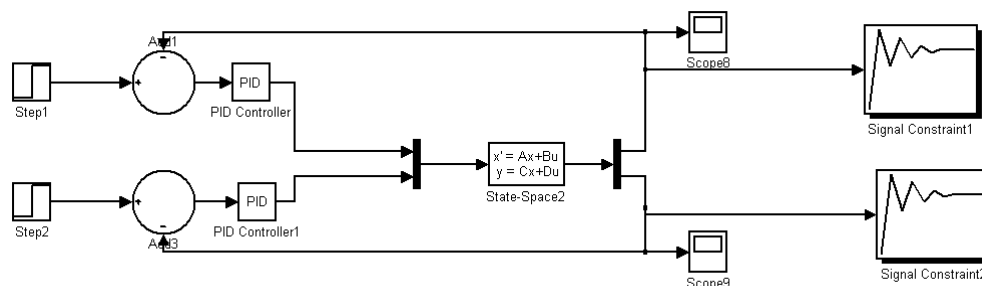


Рисунок 8.1 – Схема моделі керування за рівнем рН та температурою з блоком Signal Constrain

Далі введемо змінні для регуляторів як зображено на рисунку 8.2.

```
>> kp1=1      >> kd2=0
kp1 =         kd2 =
     1         0
>> kp2=1      >> ki1=0
kp2 =         ki1 =
     1         0
>> kd1=0      >> ki2=0
kd1 =         ki2 =
     0         0
```

Рисунок 8.2 – Введені змінні для регуляторів

Наступним кроком було виконано налаштування блоку Signal Constrain (рисунки 8.3-8.6).

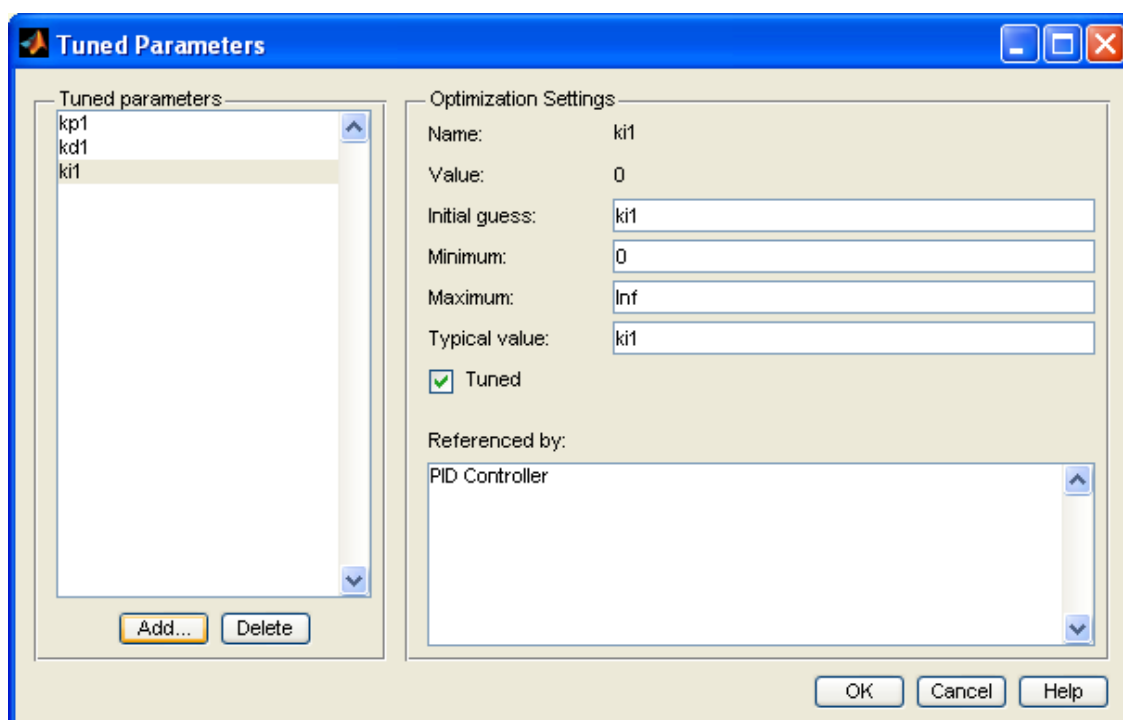


Рисунок 8.3 – Вибір необхідних змінних для оптимізації регулятора

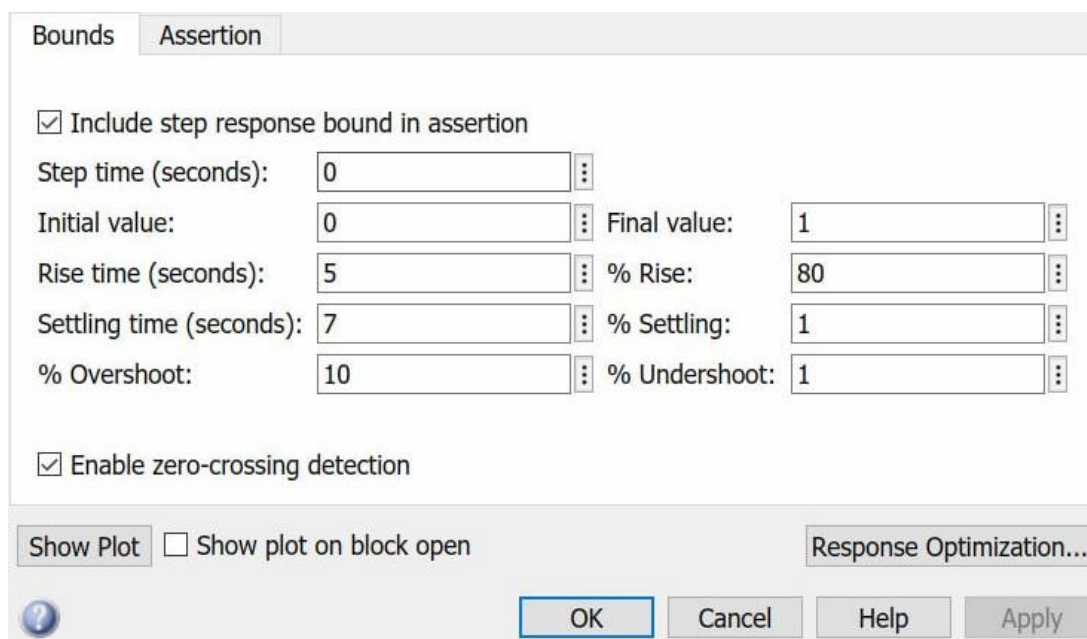


Рисунок 8.4 – Налаштування процесу оптимізації регулятора

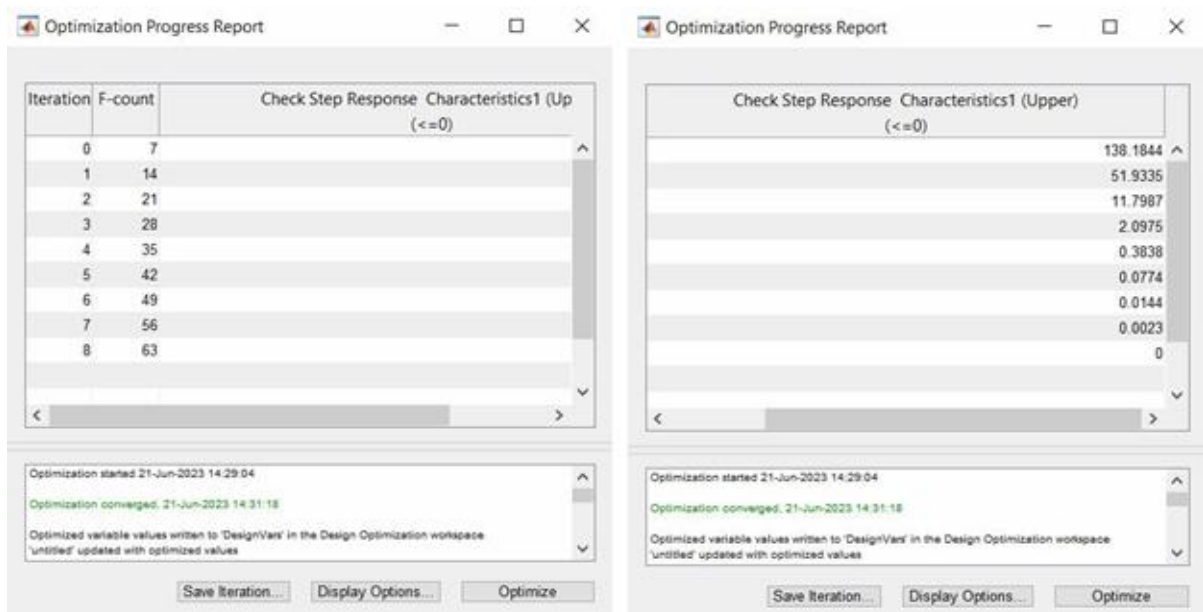


Рисунок 8.5 – Звіт оптимізаційного процесу

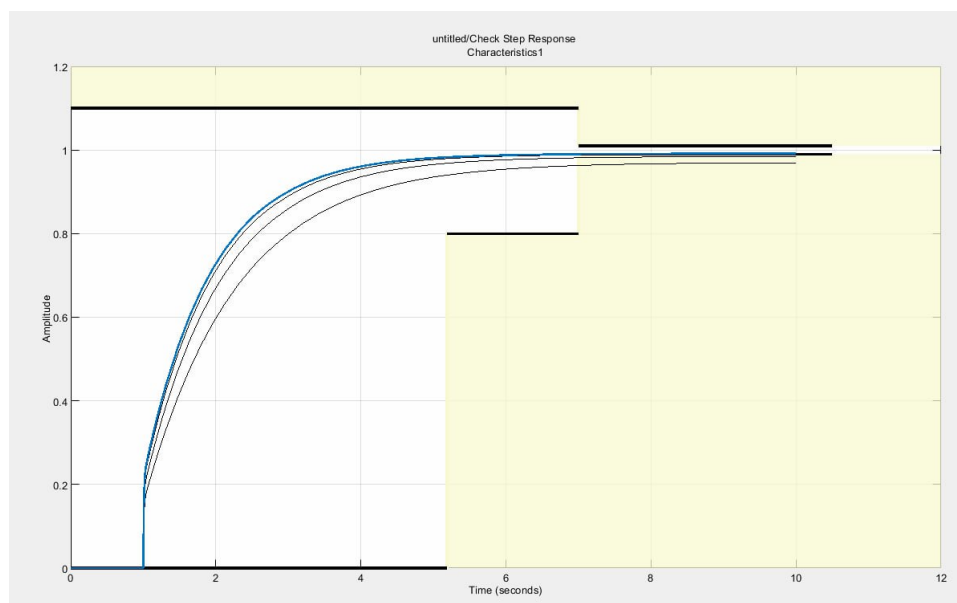


Рисунок 8.6 – Процес оптимізації параметрів регулятора

Отже, після процесу оптимізації параметрів регулятора було отримано, що пропорційна складова дорівнює 5, інтегральна складова дорівнює 0.05 та диференційна складова дорівнює 0.1.

За аналогією провели оптимізацію для другого регулятора та отримали, що пропорційна складова дорівнює 500, інтегральна складова дорівнює 1 та диференційна складова дорівнює 0.1.

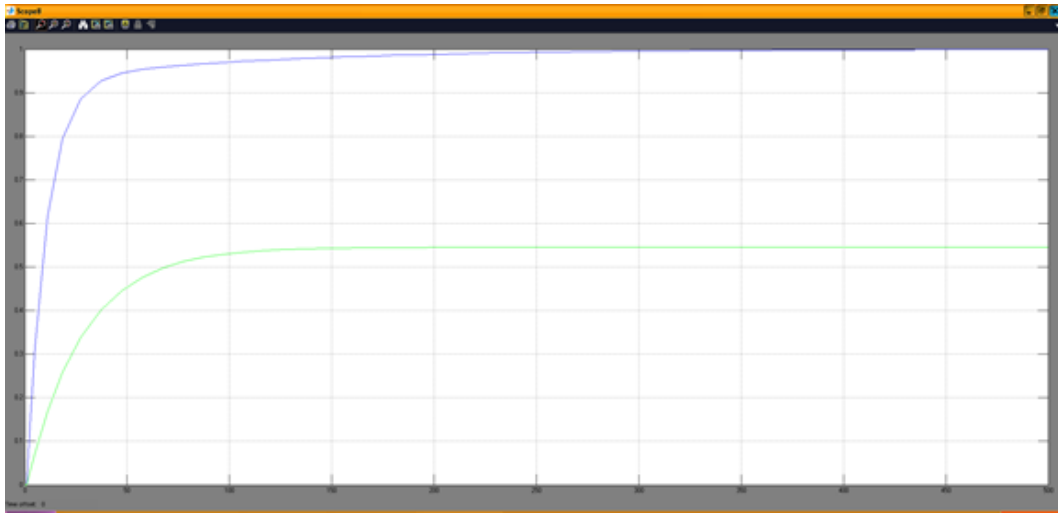


Рисунок 8.7 – Графік роботи функції керування рівнем рН з регулятором та без нього

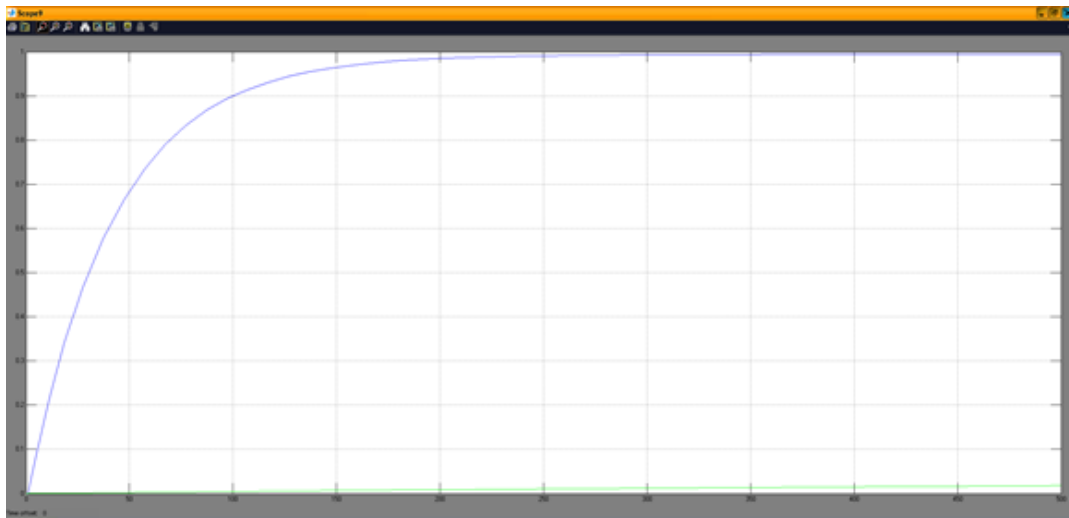


Рисунок 8.8 – Графік роботи функції керування температурою з регулятором та без нього

8.2 Синтез оптимального регулятора

Для синтезу оптимального регулятора використаємо задачу на оптимум витрати палива. Із сформованих раніше передавальних функцій отримуємо об'єкт керування заданим рівняннями стану:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -0.01666x_1 + 0.0198U_1 \\ \dot{x}_2 = -0.00119x_2 + 0.00004719U_2 \\ \dot{y}_1 = x_1 \\ \dot{y}_2 = x_2 \end{cases} \quad (8.1)$$

Отже, критерій якості для даної задачі виглядатиме:

$$\mathfrak{J} = \int_0^{300} (30.544|U_1| + 2.64 \times 10^{-3}|U_2|) \quad (8.2)$$

Поставлену задачу розв'яжемо за допомогою принципу максимуму Понтрягіна. Оскільки об'єкт керування автономний із закріпленими кінцями траєкторії та фіксованим часом керування, то вводимо додаткову змінну стану $x_0(t)$, тоді додаткове рівняння стан матиме вигляд:

$$\dot{x}_0(t) = 30.544|U_1| + 2.64 \times 10^{-3}|U_2| \quad (8.3)$$

Запишемо гамільтоніан задачі:

$$\begin{aligned} H = P_0 \times (30.544|U_1| + 2.64 \times 10^{-3}|U_2|) + \\ + P_1 \times (-0.01666x_1 + 0.0198U_1) + \\ + P_2 \times (-0.00119x_2 + 0.00004719U_2) \end{aligned} \quad (8.4)$$

Для автономних об'єктів можна прийняти $P_0(t) = -1$. Як видно з виразу для гамільтоніану, від керувань залежить тільки сума по U , тому принцип максимуму матиме вигляд:

$$\begin{cases} -30.544U_1 + 0.01998P_1U_1, & U_1 > 0 \\ 30.544U_1 + 0.01998P_1U_1, & U_1 \leq 0 \end{cases} \quad (8.5)$$

$$\begin{cases} -2.64 \times 10^{-3}U_2 + 0.000047619P_2U_2, & U_2 > 0 \\ 2.64 \times 10^{-3}U_2 + 0.000047619P_2U_2, & U_2 \leq 0 \end{cases} \quad (8.6)$$

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

Оскільки $U_1 > 0$ та $U_2 > 0$, тоді для отримання максимум потрібно, щоб виконувалась рівність:

$$\begin{cases} U_1 = 0.08 \times 10^{-3}, \text{ при } P_1 > 1528.4734 \\ U_1 = 0, \text{ при } |P_1| \leq 1528.4734 \end{cases}, \quad (8.7)$$

$$\begin{cases} U_2 = 2000, \text{ при } P_2 > 55.44 \\ U_2 = 0, \text{ при } |P_2| \leq 55.44 \end{cases} \quad (8.8)$$

Запишемо систему спряжених рівнянь для даних систем:

$$\begin{cases} \dot{P}_0 = 0 \\ \dot{P}_1 = -0.0166P_1 \end{cases}, \quad (8.9)$$

$$\begin{cases} \dot{P}_0 = 0 \\ \dot{P}_2 = -0.00119P_2 \end{cases} \quad (8.10)$$

Отримуємо:

$$\begin{cases} P_0 = -1 \\ P_1 = C_1 \times e^{-0.0166t} \end{cases}, \quad (8.11)$$

$$\begin{cases} P_0 = -1 \\ P_2 = C_2 \times e^{-0.00119t} \end{cases} \quad (8.12)$$

Отже, після математичних обрахунків отримуємо систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = -0.01666x_1 + 0.0198U_1 \\ \dot{x}_2 = -0.00119x_2 + 0.00004719U_2 \\ P_1 = 226392.325 \\ U_1 = 0.08 \times 10^{-3}, \text{ при } P_1 > 1528.4734, H_{max} = 0.359 \\ U_1 = 0, \text{ при } |P_1| \leq 1528.4734 \\ P_2 = 55.44 \\ U_2 = 2000, \text{ при } P_2 > 55.44, H_{max} = 2.265 \\ U_2 = 0, \text{ при } |P_2| \leq 55.44 \end{array} \right. \quad (8.13)$$

Знаходимо оптимальне керування:

$$\begin{cases} \bar{U}_1 = 0.08 \times 10^{-3} \times \text{sign}(-30.544 + 0.01998P_1) \\ \bar{U}_2 = 2000 \times \text{sign}(U_2 = 2000, \text{при } P_2 > 55.44) \\ \dot{x}_1 = -0.01666x_1 + 0.0198U_1 \\ \dot{x}_2 = -0.00119x_2 + 0.00004719U_2 \end{cases} \quad (8.14)$$

Далі потрібно отримати оптимального керування як функцію змін у просторі станів.

Висновок до розділу

У результаті виконання даного розділу було виконано налаштування регулятора та пошук його оптимальних параметрів для заданої системи, також створений регулятор позбавив систему від похибки. У цьому розділі було сформовано задачу оптимізації витрат палива та розглянуто її рішення за допомогою принципу максимуму Понтрягіна.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

9 СТВОРЕННЯ ПРОТОТИПУ ГЛИБОКОВОДНОЇ ГІДРОПОННОЇ СИСТЕМИ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

Для створення прототипу глибоководної гідропонної системи вирощування рослин було використано два програмних середовища, такі як: Proteus 8.13 та Tinkercad.

9.1 Створення підсистеми симуляції роботи датчика виміру рівня рН

Для створення підсистеми з симуляцією роботи датчика виміру рівня рН було використано програмне середовища Proteus 8.13 (рисунок 9.1).

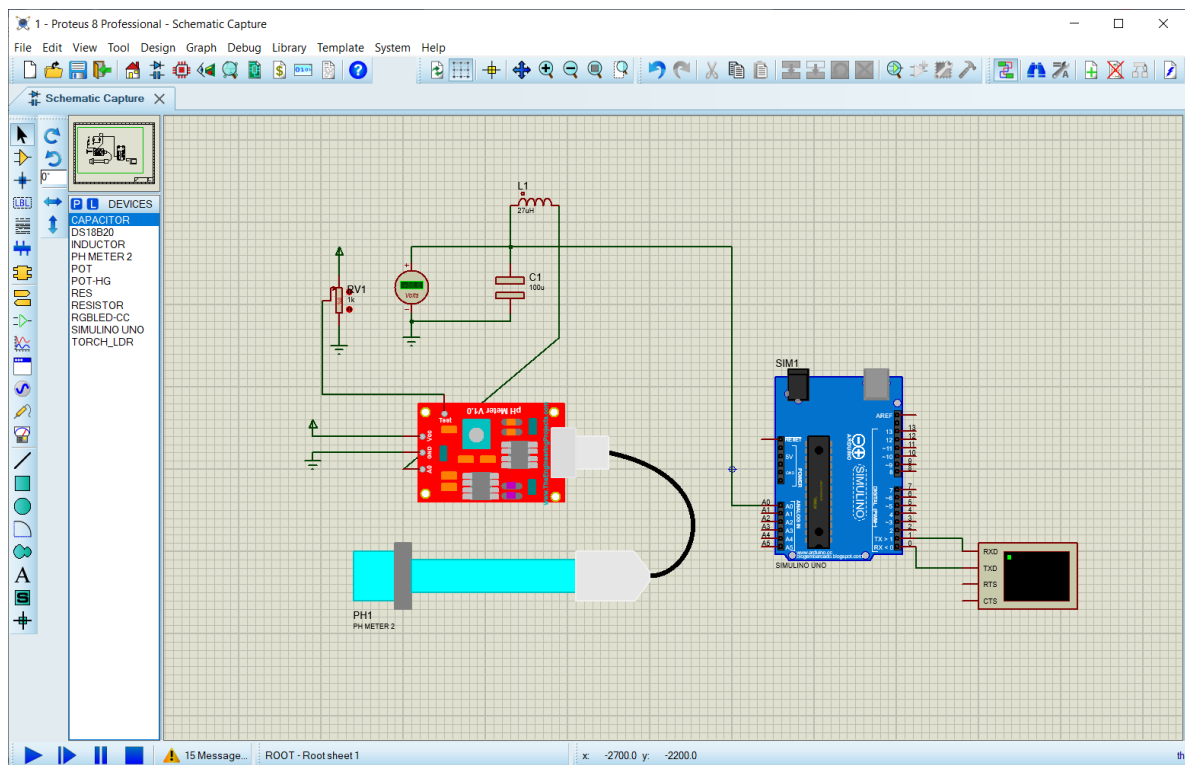


Рисунок 9.1 – Схема підсистеми симуляції роботи датчика виміру рівня рН із зазначенням структурних елементів схеми

Було проведено налаштування роботи датчика виміру рівня рН та здійснено симуляцію його роботи (рисунок 9.2 – 9.4).

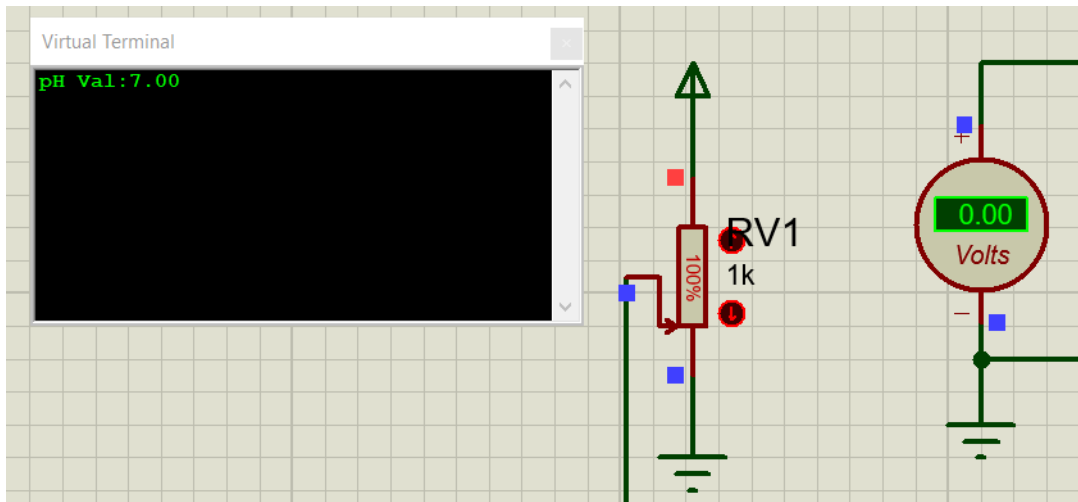


Рисунок 9.2 – Процес симуляції датчика виміру рівня рН

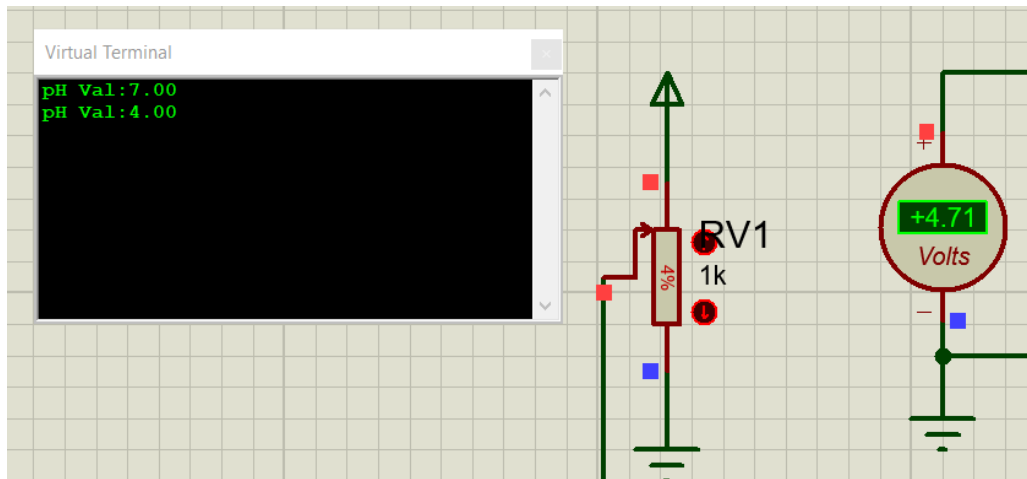


Рисунок 9.3 – Процес симуляції датчика виміру рівня рН

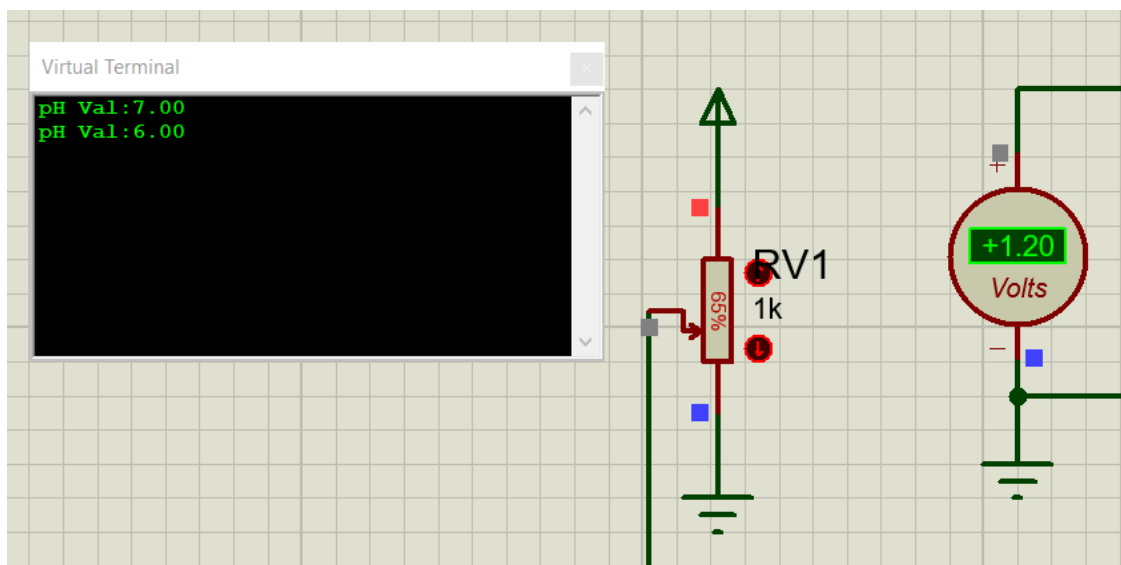


Рисунок 9.4 – Процес симуляції датчика виміру рівня рН

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

9.2 Створення підсистеми симуляції роботи зміни рівня рН, виміру температури, освітлення та індикації

Для створення підсистеми з симуляції роботи зміни рівня рН, виміру температури, освітлення та індикації було використано програмне середовища Tinkercad (рисунок 9.5).

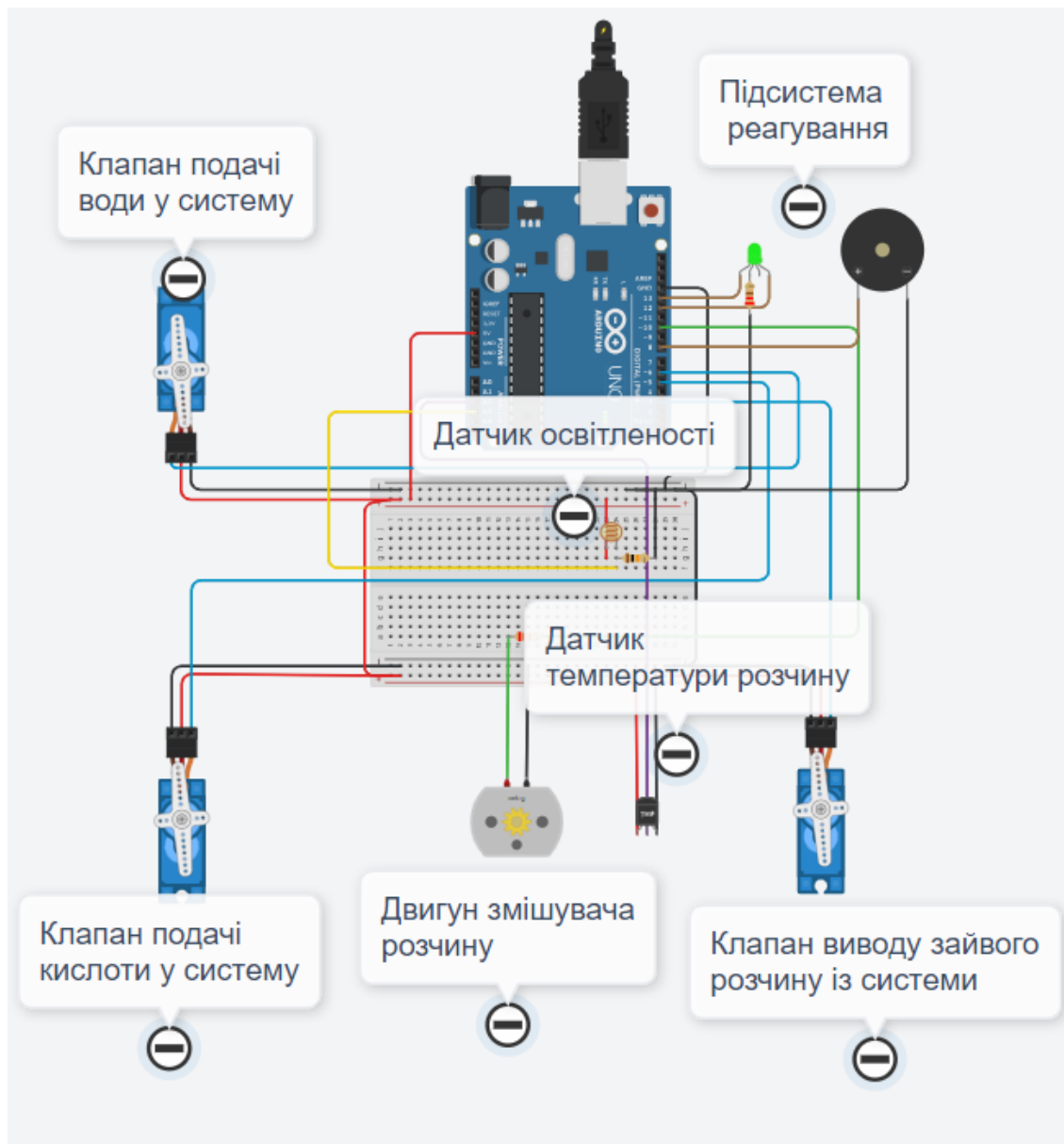


Рисунок 9.5 – Схема підсистеми симуляції роботи зміни рівня рН, виміру температури, освітлення та індикації в нормальному стані

Було проведено налаштування роботи сервоприводів, що виконують роль впускних клапанів води, кислоти та зливного клапану поживного розчину. При виході за межі допустимих норм рівня рН спрацьовує підсистема реагування, сервоприводи, що відповідають за впуск кислоти або води в систему та злив надлишкового поживного розчину та двигун постійного струму, що виступає змішувачем розчину (рисунок 9.6).

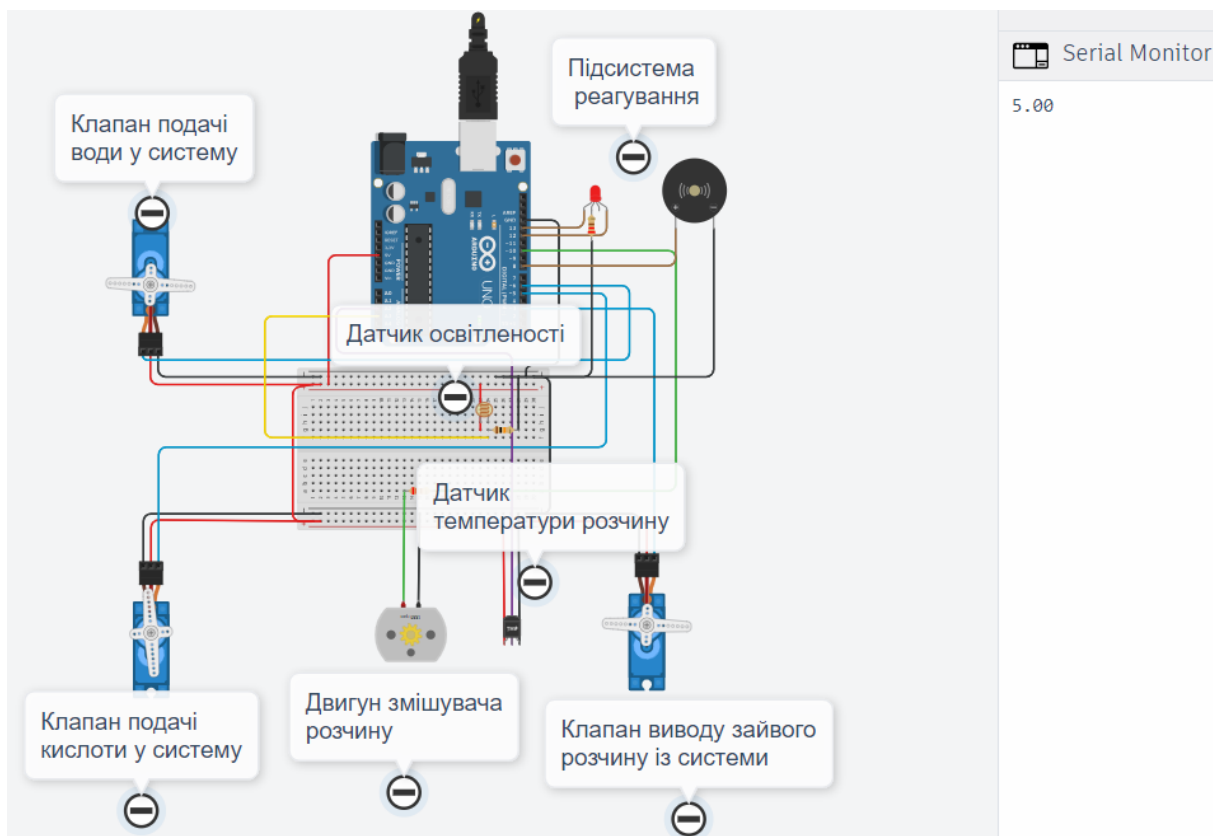


Рисунок 9.6 – Симуляція роботи підсистеми, що відповідає за зміну рівня рН, вимір температури, освітлення та індикації при низькому рівні рН

Як видно на рисунку 9.6 у випадку, коли рівень рН низький спрацьовує сервопривід, що відповідає за подачу води та сервопривід, що відповідає за вивід надлишкового поживного розчину із системи. Також починає працювати двигун постійного струму, що відповідає за ідеальне змішування поживного розчину та працює система реагування, а саме: RGB-світлодіод змінює колір на червоний та починає працювати п'єзодинамік.

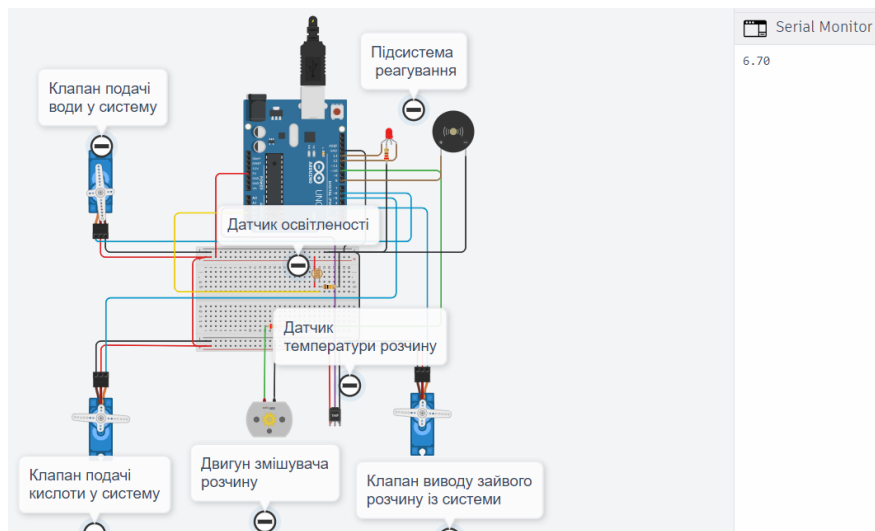


Рисунок 9.7 – Симуляція роботи підсистеми, що відповідає за зміну рівня рН, вимір температури, освітлення та індикації при високому рівні рН

Як видно на рисунку 9.7 у випадку, коли рівень рН високий спрацьовує сервопривід, що відповідає за подачу кислоти та сервопривід, що відповідає за вивід надлишкового поживного розчину із системи. Також починає працювати двигун постійного струму, що відповідає за ідеальне змішування поживного розчину та працює система реагування, а саме: RGB-світлодіод змінює колір на червоний та починає працювати п'єзодинамік.

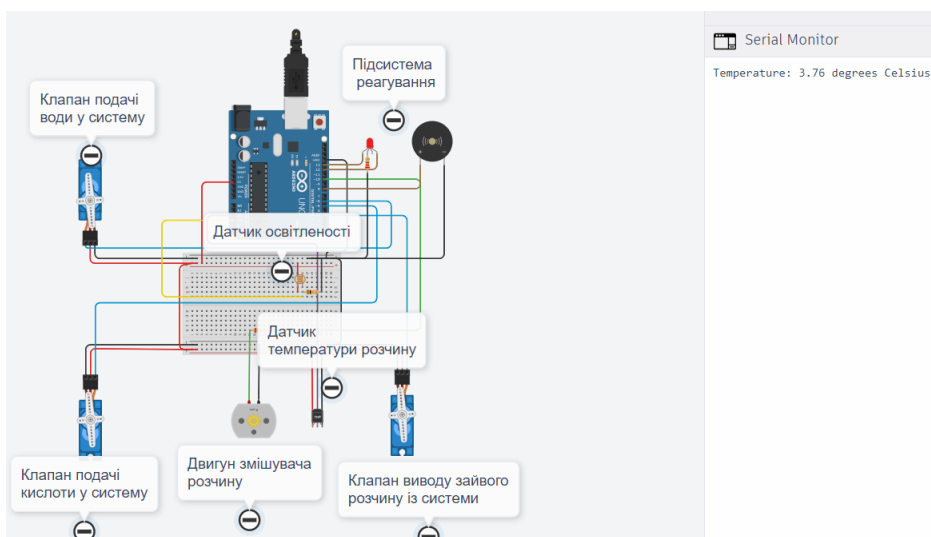


Рисунок 9.8 – Симуляція роботи підсистеми, що відповідає за зміну рівня рН, вимір температури, освітлення та індикації при низькій температурі

Як видно на рисунку 9.8 у випадку, коли температура поживного розчину низька починає працювати система реагування, а саме: RGB-світлодіод змінює колір на червоний та починає працювати п'єзодинамік.

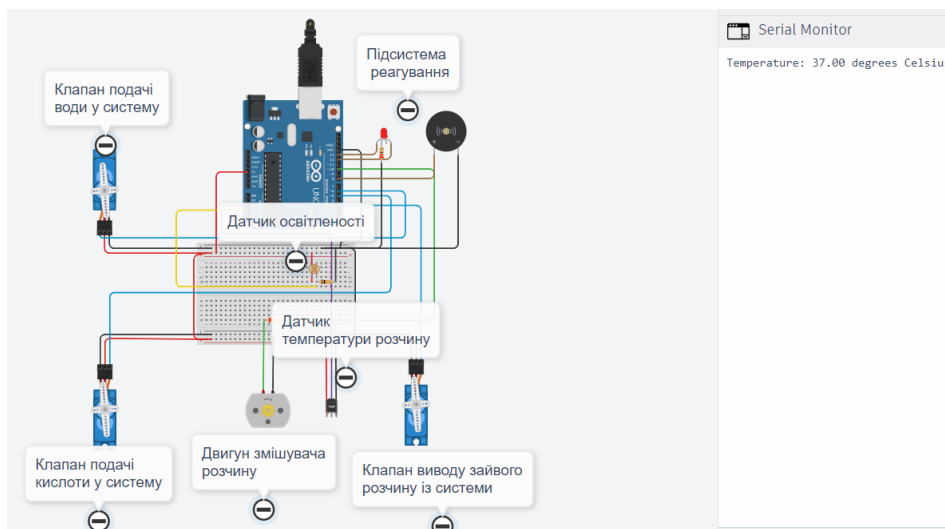


Рисунок 9.9 – Симуляція роботи підсистеми, що відповідає за зміну рівня рН, вимір температури, освітлення та індикації при високій температурі

Як видно на рисунку 9.9 у випадку, коли температура поживного розчину низька починає працювати система реагування, а саме: RGB-світлодіод змінює колір на червоний та починає працювати п'єзодинамік.

Весь час з виводом температури також здійснюється і вивід освітлення (рисунок 9.10).

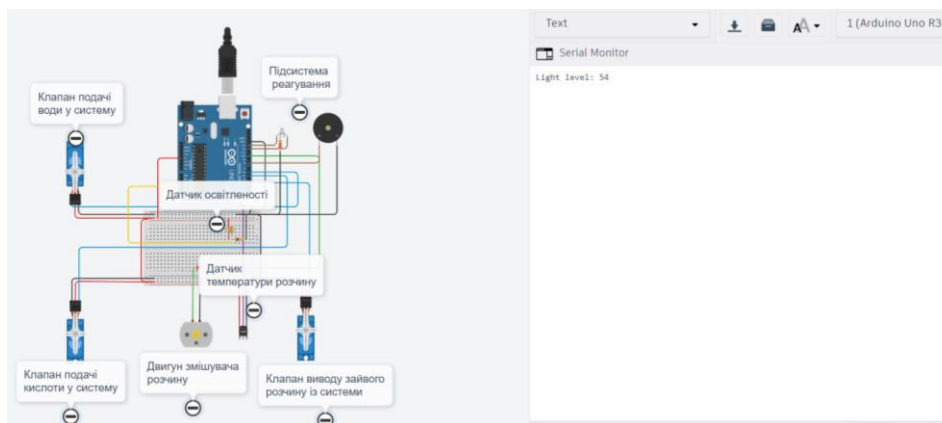


Рисунок 9.10 – Вивід освітлення системи

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті "Система оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин" було розглянуто та вивчено комплексну проблематику гідропоніки та керування параметрами середовища для вирощування рослин. Досліджено існуючі рішення та проведений аналіз методів оптимального керування в гідропонічних системах.

У роботі була поставлена мета розробити систему оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин і визначено вимоги до цієї системи. Для досягнення цієї мети було проведено розроблення структурної та функціональної схеми системи, вибір елементів системи та розроблення електричної принципової схеми.

Окрема увага була приділена математичній моделі динаміки процесу керування рівнем рН та температурою в гідропонній системі. Було проведено синтез регулятора, який дозволяє підтримувати оптимальні значення цих параметрів. Однак не було завершено синтезу оптимального регулятора за принципом максимуму Понтрягіна, оскільки дана задача відрізняється від типових задач з квадратичним критерієм та оптимальних витрат палива, тому для завершення синтезу потрібно було провести додаткові дослідження.

Крім того, був створений прототип глибоководної гідропонної системи вирощування рослин, який дозволяє перевірити та експериментально підтвердити працездатність розробленої системи керування.

Отже, на основі проведених досліджень та розробок можна зробити висновок, що дипломна робота "Система оптимального керування гідропонним вирощуванням рослин" успішно вирішує поставлені завдання і є важливим внеском у галузь гідропоніки та автоматизації процесів вирощування рослин.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 10 benefits of hydroponics | eden green. *Eden Green*.
URL: <https://www.edengreen.com/blog-collection/benefits-of-hydroponics> (date of access: 23.06.2023).
2. Active Aqua Root Spa 5 Gal 4 Bucket System. *Welcome to GrowGreenMI!*.
URL: <https://growgreenmi.com/root-spa-5-gal-4-bucket-system> (date of access: 23.06.2023).
3. Hydrofarm Active Aqua Root Spa 5 gallons instructions. *Amazon Web Services*.
URL: https://s3.amazonaws.com/hydrofarmpubdocs/rs5galsys_instructions_12396.pdf (дата звернення: 23.06.2023).
4. MegaGarden system. *Hydrofarm*.
URL: <https://www.hydrofarm.com/p/megagarden-system/mgsys> (date of access: 23.06.2023).
5. TIRUSS Hydroponic Grow Kit 72 Sites 8 Pipe NFT. *Amazon*.
URL: <https://www.amazon.com/dp/B08977BM9F?tag=hydro99-20&linkCode=ogi&th=1&psc=1>.
6. TIRUSS Hydroponic Grow Kit 72 Sites 8 Pipe NFT PVC Hydroponic Pipe Home Balcony Garden Grow Kit Hydr. *Hydropolis – The Best Hot Tub Reviews*.
URL: <https://hydropolis.com/product/tiruss-hydroponic-grow-kit-72> (date of access: 23.06.2023).
7. Wilma V2 - Small - 4 x 11 Litre Pot Dripper System Hydroponics | eBay. *eBay*.
URL: <https://www.ebay.co.uk/itm/173343589619?hash=item285c1544f3:g:WI0AAOSwI61b3Y~i> (date of access: 23.06.2023).
8. DWC-гідропоніка - система плаваючої платформи / глибоководна культура. URL: <https://floragrowing.com/uk/encyclopedia/dwc-gidroponika-systema-plavayuchoyi-platformy-glybokovodna-kultura>.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

9. Гідропоніку для гроубокса. *Оборудование для растений, товары для цветоводства и для комнатных растений от GrowPro.* URL: <https://growpro.ua/ua/articles/detail/yak-pravilno-viroshchuvati-gidroponiku-chastina-i/> (дата звернення: 23.06.2023).

10. Питательный слой или NFT (Nutrient Film Technique) - Выращивание растений на гидропонике. *Выращивание растений на гидропонике - Выращивание растений на гидропонике.* URL: <https://gidroponika.com/content/view/173/129/> (дата звернення: 23.06.2023).

11. Water Culture Hydroponic Systems. *Build Your Own Home Hydroponic Systems.* URL: http://www.homehydrosystems.com/hydroponic-systems/water-culture_systems.html (date of access: 23.06.2023).

12. Системи пасивної гідропоніки – Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії. *Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії – Хмельницький національний університет.* URL: <https://gma.khmnpu.edu.ua/systemy-pasyvnoyi-gidroponiky/> (дата звернення: 23.06.2023).

13. Аеропоніка: що це таке, як вона працює та основні переваги. *Renovables Verdes.* URL: <https://www.renovablesverdes.com/uk/aeroponia/> (дата звернення: 23.06.2023).

14. Перспективи використання гідропоніки в Україні для вирощування салатів та овочів | Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологія. Людина. Суспільство". *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологія. Людина. Суспільство".* URL: <http://ecoconference.kpi.ua/article/view/232888> (дата звернення: 23.06.2023).

15. Агрегатопоніка. *ВУЕ.* URL: <https://vue.gov.ua/Агрегатопоніка> (дата звернення: 23.06.2023).

16. Гіль Л. С., Пашковський А. І., Суліма Л. Т. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту: в 2 ч. Вінниця : Нова Кн., 2008.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

17. Water Culture Hydroponic Systems. *Build Your Own Home Hydroponic Systems*. URL: http://www.homehydrosystems.com/hydroponic-systems/water-culture_systems.html (date of access: 23.06.2023).

18. Що таке гідропонне вирощування | Статті компанії «ЕКО ТЕПЛИЦЯ». "ЕКО ТЕПЛИЦЯ" теплиці, теплиці під ключ, обладнання для теплиць. URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/a427663-что-такое-gidronnoe.html> (дата звернення: 23.06.2023).

19. What Are Hydroponic Systems and How Do They Work?. *Fresh Water Systems*. URL: <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-are-hydroponic-systems> (date of access: 23.06.2023).

20. Atlas Scientific pH Kit. *Amazon.com*. URL: <https://www.amazon.com/Atlas-Scientific-pH-Kit-0-14/dp/B00798612C> (date of access: 23.06.2023).

21. Магнітний електричний клапан 1/2" (впускний, нормально закритий). *Arduino в Україні*. URL: <https://arduino.ua/prod4003-magnitnii-elektricheskii-klapan-12-vpysknoi-normalno-zakritii> (дата звернення: 23.06.2023).

22. Магнітний електричний клапан 1/2" (зливний, нормально закритий). *Arduino в Україні*. URL: <https://arduino.ua/prod4002-magnitnii-elektricheskii-klapan-12-slivnoi-normalno-zakritii> (дата звернення: 23.06.2023).

23.

24. Температурний датчик водонепроникний DS18B20. *Arduino в Україні*. URL: <https://arduino.ua/ru/prod414-temperatyrnii-datchik-vodonepronicemii-ds18b20> (дата звернення: 23.06.2023).

25. Кип'ятильник електричний Елна-Сервіс ЕПМ 0,7/220. *epicentrk.ua*. URL: <https://epicentrk.ua/ua/shop/kipyatilnik-elektricheskii-elna-servis-epm-0-7-220-.html> (дата звернення: 23.06.2023).

26. SRD-05VDC-SL-C. *PKC Компоненти - РАДІОМАГ*. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/srd-05vdc-sl-c_108598.html (date of access: 23.06.2023).

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

27. Atlas Scientific Gravity Analog Dissolved Sensor. *Amazon.com*.
URL: <https://www.amazon.com/Atlas-Scientific-Gravity-Analog-Dissolved/dp/B08MB9LVGR> (date of access: 23.06.2023).

28. Мотор з редуктором GA12-N20 30RPM 6V.
URL: <https://uamper.com/мотор-GA12-N20-с-редуктором-30-об-мин>.

29. Модуль датчика освітленості аналогово-цифровий. *Arduino в Україні*.
URL: <https://arduino.ua/prod1558-modyl-datchika-osveshhenosti-analogovo-cifrovoi> (дата звернення: 23.06.2023).

30. Модуль RGB світодіода KY-016 для Arduino. *Arduino в Україні*.
URL: <https://arduino.ua/ru/prod2966-modyl-rgb-svetodioda-ky-016-dlya-arduino> (дата звернення: 23.06.2023).

31. Активний п'єзодинамік (buzzer) 5В. *prom.ua*.
URL: <https://prom.ua/ua/p104136388-aktivnij-pyezodinamik-buzzer.html> (дата звернення: 23.06.2023).

32. Аналитические методы описания объектов управления с сосредоточенными параметрами / Р. Ладиев та ін. Киев, 1973.

33. Процеси та апарати хімічних виробництв: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини», освітня програма "Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини" / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Б.І. Дуда, А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко, Р.В. Кичак, Я.Г. Гоцький – Електронні текстові данні (1 файл: 2,62 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 116 с.

					ІК92.170БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		66