

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))


Кафедра комп'ютерних систем управління
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

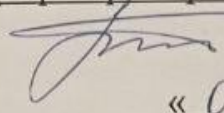
на тему:

“ Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату
тепличного господарства ”

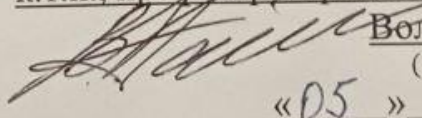
Виконав: магістр 2 курсу, групи 2АКІТ-22м
спеціальності 151- Автоматизація та
комп'ютерно- інтегровані технології”
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Руслан ДАНИЛЕНКО
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: к.т.н., професор каф. КСУ

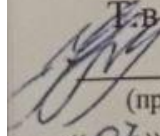

Микола БИКОВ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)
« 01 » грудня 2023 р.

Опонент: к.т.н., професор каф. АІТ


Володимир ПАПШОВ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)
« 05 » грудня 2023 р.

Допущено до захисту

Т.в.о. зав. кафедри КСУ


Марія ЮХИМЧУК

(прізвище та ініціали)

« 07 » грудня 2023 року

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
 Кафедра комп'ютерних систем управління
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
 Галузь знань – 15 Автоматика та приладобудування
 Спеціальність - 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 Освітньо-професійна програма - Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Т.в.о. зав. кафедри КСУ

Марія ЮХИМЧУК

«09» жовтня 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Даниленко Руслану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства»

керівник магістерської кваліфікаційної роботи Биков Микола Максимович, к. т. н., доцент

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

затверджені наказом ВНТУ від "18" вересня 2023 року № 247

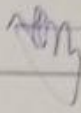
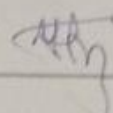
2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи 1 .12. 2023 року

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: об'єкт автоматизації – тепличне господарство; параметри теплиці для контролю і регулювання – вологість і температура; пристрій керування – мікроконтролерний модуль на платформі Arduino; датчики вологості і температури та виконавчі механізми – сертифіковані за стандартами.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; Аналіз об'єкта автоматизації і техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки; Розробка схем автоматизованої системи управління; Розробка програмного забезпечення; Економічна частина. .

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Схема ієрархічна АСУТП – 1 аркуш; 2. Схема автоматизації структурна – 1 аркуш; 3. Схема функціональна електрична системи – 1 аркуш; 4. Схема електрична принципова – 1 аркуш; 5. Схема алгоритму управління – 1 аркуш; 6. Блок управління системою автоматичного поливу –1 аркуш.

6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ змістової частини роботи	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 4	Буреннікова Н.В. д.е.н., пофесор кафедри ЕПВМ		


7. Дата видачі завдання “ 09 ” жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

- | | | |
|----|--|----------------|
| 1 | Аналіз об'єкта автоматизації і техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки | 02.10.2023 р. |
| 2 | Постановка задачі і розробка технічного завдання | 04.10. 2023 р. |
| 3 | Розробка структури системи автоматизації і вибір технічних і програмних засобів | 20.10. 2023 р. |
| 4 | Розробка програми реалізації моделі і машинний експеримент | 15.11. 2023 р. |
| 5 | Підготовка економічної частини | 22.11. 2023 р. |
| 6 | Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації | 30.11. 2023 р. |
| 7 | Апробація результатів дослідження | 2.11. 2023 р. |
| 8 | Публікації | 09.11. 2023 р. |
| 9 | Графічні матеріали: | |
| | Схема алгоритму управління | 01.11. 2023 р. |
| | Схема електрична принципова | 01.11. 2023 р. |
| | Схема автоматизації структурна | 03.11. 2023 р. |
| | Схема електрична функціональна | 03.11. 2023 р. |
| | Схема алгоритму зміни налаштувань | 06.11. 2023 р. |
| | Блок управління системою автоматичного поливу | 10.11. 2023 р. |
| 10 | Захист МКР | 19.12. 2023 р. |

Студент

Керівник роботи



Руслан ДАНИЛЕНКОМикола БИКОВ

АНОТАЦІЯ

УДК 681.142.2 (075.5)

Даниленко Р. В. Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітня програма – інтелектуальні комп'ютерні системи. Вінниця: ВНТУ, 2023. 113 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 42 назв; рис.: 23; табл. 31.

Метою виконання магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності управління технологічним процесом вирощування сільськогосподарської продукції в тепличному господарстві.

В роботі показана актуальність проблеми розробки недорогих підсистем автоматизації окремих функцій управління тепличним господарством, проведено аналіз об'єкта автоматизації, розглянуто роль і місце підсистеми автоматизації управління мікрокліматом в загальній системі автоматизації теплиці.

В конструкторській частині розроблено структурну схему системи автоматизації управління мікрокліматом теплиці, обрано обладнання для її реалізації, розроблені електричні схеми системи автоматизованого поливу.

В розділі програмного забезпечення розроблено алгоритм автоматизованого управління системою поливу, а також програмне забезпечення для його реалізації, написане мовою скетчів середовища Arduino IDE 1.8.

В економічній частині проведено аналіз економічної ефективності від впровадження розробки.

Ключові слова: система автоматизації, контроль, регулювання, тепличне господарство, мікроклімат, датчики вологості і температури, блок Arduino, програмування мовою скетчів.

. ABSTRACT

UDC 681.142.2 (075.5)

Danylenko R. V. Automation of the process of control and regulation of greenhouse climate parameters. Master's thesis on specialty 151 - automation and computer-integrated technologies, educational program - intelligent computer systems. Vinnytsia: VNTU, 2023. 113 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 42 titles; Fig.: 23; table 31.

The purpose of the master's qualification work is to increase the efficiency of the management of the technological process of growing agricultural products in greenhouses.

The paper shows the relevance of the problem of developing low-cost automation subsystems for separate greenhouse management functions, an analysis of the automation object is carried out, and the role and place of the microclimate management automation subsystem in the general greenhouse automation system is considered.

In the design part, the structural diagram of the microclimate control automation system of the greenhouse was developed, the equipment for its implementation was selected, and the electrical diagrams of the automated irrigation system were developed.

In the software section, an algorithm for automated control of the irrigation system has been developed, as well as software for its implementation, written in the sketch language of the Arduino IDE 1.8 environment.

In the economic part, an analysis of the economic efficiency of the implementation of the development was carried out.

Key words: automation system, control, regulation, greenhouse economy, microclimate, humidity and temperature sensors, Arduino block, programming in sketch language.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ.....	11
1.1 Суть технічної проблеми що підлягає розв’язанню.....	11
1.2 Аналіз об’єкта автоматизації.....	12
1.3 Характеристика систем автоматизації поливу.....	16
1.4 Аналіз і вибір методів вимірювання температури.....	18
1.5 Аналіз та вибір методів і засобів вимірювання вологості.....	23
1.6 Аналіз сучасних систем управління кліматом теплиці.....	30
1.7 Техніко економічне обґрунтування доцільності розробки.....	33
1.8 Висновки до розділу.....	42
2 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ І ВИБІР АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	43
2.1 Розробка узагальненої структурної схеми розумної теплиці	43
2.2 Розробка структурної схеми системи автоматизованого поливу ...	46
2.3 Вибір необхідного обладнання для автоматизованої системи	49
2.4 Висновки до розділу	64
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	65
3.1 Обґрунтування вибору програмної платформи.....	65
3.2 Розробка алгоритму роботи системи управління поливом.....	66
3.3 Розробка програмного забезпечення	67
3.4 Результати тестування програм	74
3.5 Інструкція з прошивки модуля Arduino.....	77
3.6 Висновки до розділу.....	78
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	79
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково- технічної розробки.....	79
4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	82

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	84
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	96
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104
ДОДАТКИ.....	105
Додаток А Протокол перевірки роботи на плагіат.....	106
Додаток Б. Технічне завдання.....	107
Додаток В. Лістинг програм.....	111
Додаток Г. Ілюстративна частина.....	122

ВСТУП

В Україні сьогодні широко застосовуються автоматизовані системи управління технологічними процесами та комп'ютерно-інтегровані системи автоматизації виробництва в різних галузях промисловості і сільського господарства.. Зокрема, широке розповсюдження наразі отримали АСУ ТП тепличного господарства. Автоматизація контролю і управління кліматом в теплиці є важливим аспектом для забезпечення оптимальних умов для росту рослин і отримання високого врожаю. Проте, ця проблема також включає в себе ряд викликів і потенційних проблем, які потребують уваги та розв'язання. Основні аспекти аналізу цієї проблеми включають наступне:

- Точність і надійність сенсорів і систем контролю: Сенсори, які вимірюють температуру, вологість, освітленість і інші параметри, повинні бути надійними та точними. Помилки в вимірюваннях можуть призвести до неправильних рішень управління кліматом;

- Автоматизація регулювання: Системи автоматичного регулювання повинні бути здатні адаптуватися до змінних умов в теплиці. Це включає в себе контроль опалення, вентиляції, зрошення та інших систем, щоб забезпечити оптимальні умови для росту рослин.

- Енергоефективність: Автоматичні системи повинні бути енергоефективними, оскільки надмірне використання енергії може призвести до високих витрат і негативного впливу на навколишнє середовище.

- Забезпечення безпеки: Важливо враховувати можливі ризики, пов'язані з автоматизацією. Наприклад, аварії в системах опалення або зрошення можуть призвести до втрати рослин або навіть пожежі.

- Вартість і віддача інвестицій: Автоматизація клімату в теплицях може бути дорогою, і важливо оцінити віддачу від інвестицій. Зазвичай, вона

повинна забезпечити збільшення врожаю та якість продукції, щоб виправдовувати витрати.

Аналіз даних аспектів дозволяє зробити загальний висновок полягає в тому, що автоматизація контролю і управління кліматом в теплицях є важливою, але складною задачею. Вона вимагає інтеграції різних технологій, уваги до деталей і постійного моніторингу. Однак правильно розроблені та впроваджені системи автоматизації можуть значно підвищити продуктивність і ефективність сільськогосподарських операцій у теплицях. Тому проблема автоматизації контролю і регулювання параметрів технологічного процесу вирощування продукції в тепличному господарстві, яка вирішується в даній магістерській роботі, є на сьогодні актуальною.

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності управління технологічним процесом вирощування сільськогосподарської продукції в тепличному господарстві.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз і визначити значення параметрів мікроклімату, які потрібно підтримувати під час їх автоматизованого регулювання для формування оптимальних умов вирощування овочевих культур;
- розробити узагальнену структурну схему АСУ тепличного господарства і електричні схеми підсистеми автоматизованого поливу для підтримки заданих параметрів мікроклімату в теплиці;
- розробити алгоритми і програмне забезпечення автоматизованого контролю мікроклімату і поливу поливу теплиці.

Об'єктом дослідження є процес контролю і регулювання мікроклімату теплиці.

Предметом дослідження в роботі є апаратні і програмні засоби автоматизованого комплексу для управління поливом теплиці.

Іновація в роботі полягає у застосуванні розподіленої системи сенсорів температури і вологості в теплиці.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що отримані схемні рішення і програмне забезпечення дає можливість отримати недорогу автоматизовану систему вирощування овочів у теплицях, доступну для застосування у малих і середніх фермерських господарствах.

Особистий внесок магістранта полягає в розробці структури і апаратно-програмного комплексу для автоматизації процесу контролю мікроклімату і поливу теплиці.

Апробація результатів роботи. Основні положення й результати досліджень доповідалися й обговорювалися на Міжнародній науково-практичній Інтернет конференції студентів, аспірантів та молодих науковців ВНТУ «Молодь в науці» (2023).

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ

1.1 Суть технічної проблеми що підлягає розв'язанню

Овочівництво представляє собою сферу людської діяльності, що спрямована на вирощування овочевих культур для задоволення потреб людей у цих продуктах. У цій галузі застосовуються різноманітні технології та підходи для вирощування рослин [1,2,3].

До сучасних методів овочівництва відносять технології вирощування овочів в закритому ґрунті (тобто у теплицях, парниках або на облаштованому ґрунті під плівкою), відкритому ґрунті (баштанництво, вирощування на полях, в огородах та клумбах) і безґрунтові методи (вирощування в резервуарах з рідиною або щебнем, з подачею необхідних речовин та мінералів у вигляді розчинів). Особливістю останнього методу є швидке засвоєння корисних сполук рослинами у вигляді розчину, що призводить до швидшого їхнього росту.

Зрозуміло, що в агропромисловості, особливо в Україні, розчини та мінеральні добрива використовують не тільки в безґрунтових системах, але і там, де потрібно підвищити врожайність на виснажених ґрунтах. Це може негативно позначатися на якості продуктів та їх вмісті поживних речовин, оскільки швидший ріст рослин у таких умовах може ускладнити їхнє вбирання достатньої кількості поживних речовин.

Також варто зазначити відмінності в підходах до овочівництва сьогодні порівняно із минулим. Якщо раніше практикувалася "сівозміна" - чергування культур для відновлення ґрунту, то зараз існують концентровані розчини та стимулятори росту із точним розписом, скільки з чого виділити на певну рослину.

З урахуванням такого стрімкого розвитку та переходу від якості до кількості, вміст поживних речовин у продуктах овочівництва, за даними вчених, може зменшитися на 40%. Це означає, що споживаючи таку ж кількість овочів, як 30 років тому, ми отримуємо на 40% менше поживних речовин та вітамінів. Тому важливо для кожного забезпечити себе свіжими овочами.

Ефективним рішенням цієї проблеми є влаштування власної теплиці або парника з автоматизованою системою поливу. Це дозволить уникнути надмірного використання стимуляторів росту та інших добавок, оскільки всі рослини будуть рости на власних грядках. Задача полягає в розробці системи автоматичного поливу, яка зможе задовольнити ці потреби. Щоб розробити таку систему, потрібно визначити її вимоги, які будуть описані в кінці цього розділу. У цьому розділі розглянемо всі ключові аспекти, пов'язані з теплицями та поливом.

1.2 Аналіз об'єкта автоматизації

З метою підвищення ефективності проектування системи важливо чітко визначити об'єкт, для якого ця система розробляється. Спочатку розглянемо різні типи тепличних господарств, оскільки вони можуть бути різних видів, і вимоги до системи будуть різними залежно від призначення господарства.

Теплиця – це споруда, спроектована для вирощування рослин в контрольованому середовищі з метою збільшення врожайності та отримання урожаю в умовах, коли це не можливо на відкритих полях, грядках та інших звичайних місцях, особливо взимку та пізньою осінню. Теплиці також використовуються селекціонерами для виведення нових видів рослин [3, 4].

1.2.1 Види тепличних господарств

В Україні найбільш поширеними є різні типи теплиць, які класифікуються за різними ознаками, такими як експлуатаційні та будівельні особливості, призначення, сезонність, технології вирощування, види напівпрозорого огороження, способи обігріву, проектно-планувальні рішення та профілі перерізу [4-8].

Теплиці можна класифікувати залежно від їх призначення та виду вирощуваних культур. Серед таких класифікацій можна виділити:

1. Овочеві теплиці: використовуються для вирощування овочів.
2. Розсадні теплиці: служать для вирощування розсади, яку потім пересаджують у відкритий ґрунт.
3. Квіткові теплиці: спеціалізовані для вирощування квітів.
4. Селекційні теплиці: призначені для вирощування нововиведених рослин в контрольованому середовищі, часто використовуються в селекційних програмах.
5. Об'єднані теплиці: можуть використовуватися для різноманітних цілей або вирощування різних видів культур в одному просторі.

Ця класифікація дозволяє визначити різні функції теплиць в залежності від їхнього специфічного призначення.



Рисунок 1.1 – Устрій овочевої теплиці

Залежно від пори року, на яку розраховані, теплиці поділяються на:

- Зимові (з можливістю роботи круглий рік, оскільки є термоізованими та мають власний обігрів);
- Весняно-літні (експлуатуються в теплу пору року, адже обігріваються виключно сонячним теплом);

Залежно від матеріалів, використовуваних для огороження, можна виділити кілька типів теплиць:

1. Скляні теплиці: ті, що забудовані склом або склоподібним матеріалом, створюючи прозорий обмежений простір.
2. Плівкові теплиці: теплиці, де в якості матеріалу для огороження використовується плівка. Це може бути поліетилен або інший схожий пластик, який дозволяє проникання світла.
3. Теплиці з полікарбонату: теплиці, де стінки або покрівля виготовлені з полікарбонатного матеріалу. Полікарбонат володіє високою прозорістю та витривалістю.

Ця класифікація враховує використання різних матеріалів для створення огороження теплиць, що може впливати на їхні характеристики і функціональність.

З точки зору технології вирощування, теплиці можуть бути:

- Ґрунтові;
- Гідропонні;
- Фітотронні;



Рисунок 1.2 –Теплиця з полікарбонату

Розміри теплиць також різняться, поділяючи їх на :

- Фермерські (від 50 до 500);
- Тепличні комплекси (від 0.5 га);
- Індивідуальні або саморобні (від 15 до 50);

1.2.2 Цільове призначення тепличних господарств

Тепличні комплекси представляють собою об'єднання окремих тепличних споруд, спеціалізованих на круглорічному вирощуванні овочів та фруктів. Ці комплекси, як правило, складаються з металевих профілів та використовують полікарбонат для покриття, забезпечуючи проникнення світла та ефективну термоізоляцію. Вони оснащені власною системою обігріву та освітлення, включаючи ультрафіолетові лампи, для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. Система обігріву уникне замерзання води в системі поливу та допоможе підтримувати стабільну температуру під час вентиляції. Крім того, вони мають складну систему вентиляції та кондиціонування повітря для забезпечення рослин необхідною кількістю світла, навіть взимку.

Фермерські теплиці відрізняються тим, що це одна споруда з металевих профілів або арок, покрита склом або полікарбонатом. Вони можуть бути малими чи великими, залежно від масштабів ферми. Великі фермерські теплиці подібні до тепличних комплексів, спрямовані на отримання стійкого доходу та утримання стійкої позиції на ринку. Малі фермерські теплиці, як правило, орієнтовані на весняно-літній сезон та мають менший капіталовкладення.

Індивідуальні теплиці, будуються дачниками або огородниками-фанатиками, і призначені задовольняти власні потреби у вирощуванні овочів, квітів та інших культур. Вони спрощені та орієнтовані на ефективність, не використовуючи складні системи обладнання.

Усі ці типи теплиць мають свої власні особливості та призначення, спрямовані на різні вимоги та потреби власників або підприємств в агропромисловості.

1.3 Характеристика систем автоматизації поливу

Система автоматичного поливу рослин може включати в себе різні елементи для ефективної роботи. Головні з них, зазначені на рисунку 1.3 [6].

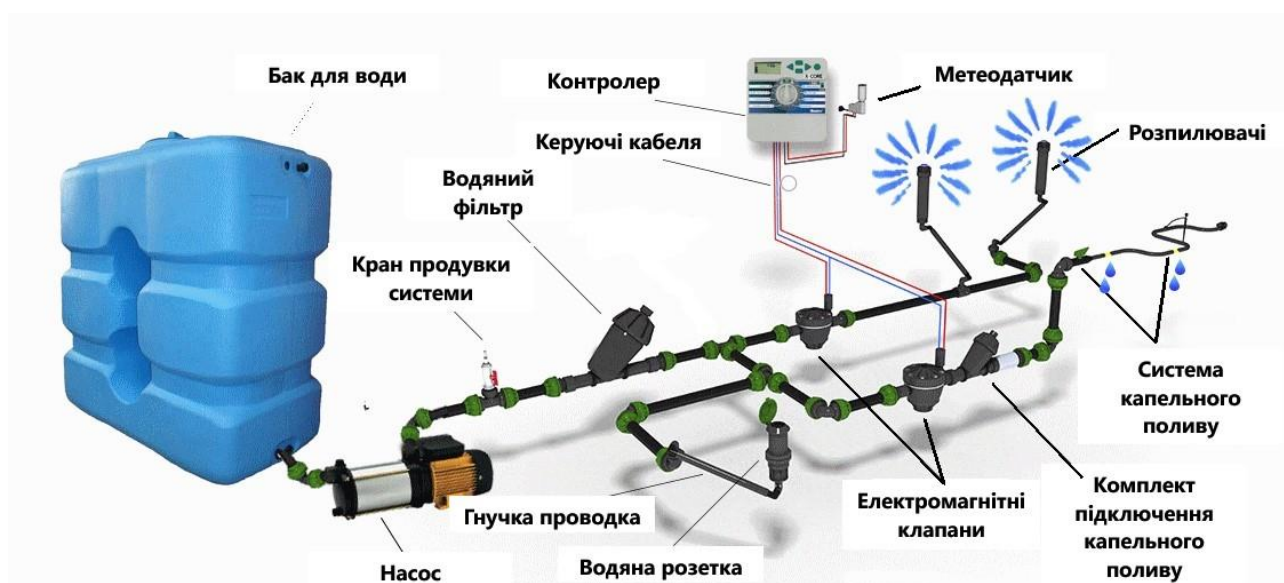


Рисунок 1.3 – Структура системи автоматизації поливу в теплиці

Основна мета такої системи полягає в забезпеченні рослин необхідним обсягом води. Датчик вологості, встановлений у контрольному місці ґрунту, постійно відслідковує наявність вологи, передає цю інформацію контролеру, який регулює тривалість та обсяг поливу. Вода для поливу постачається з водопроводу. Система автоматичного поливу має вбудований електричний насос на вході. Для виведення води з системи перед настанням зимових морозів встановлюють зливний кран або кран для продування системи. Фільтр очищає воду від можливих забруднень перед розподілом по магістралях системи автоматичного поливу. Його завдання - забезпечити нормальну роботу електромагнітних клапанів та уникнути забруднення запірної діафрагми. [4, 6, 8].

Електромагнітні клапани установлені в пластикових корпусах всередині ґрунту вздовж магістралей. Кількість та тип клапанів залежать від складності структури, що застосовується на конкретній території. Тиск у магістралях автоматичної системи поливу є постійним і завжди підтримується на необхідному рівні. Трубопроводи, перехідники, арматура та методи монтажу мають витримувати високий тиск, тому доцільно використовувати спеціальні конструкції поліетиленових труб, витривалістю тиску до 10 бар всередині них.

Магнітні клапани, встановлені у спеціальних коробках, регулюють доставку води до робочих зон. В кожній зоні розташовані однакові розпилувачі, підібрані для конкретних видів рослин, і вони активуються по черзі за командою від контролера. Система не проводить одночасний полив з усіх магістралей. [9-13].

При монтажі системи крапельного зрошення спочатку встановлюють редуктор, який регулює потрібний тиск води для створення крапель. Контролер зазвичай розміщують у доступних для обслуговування місцях, захищених від зовнішніх впливів. Для цього використовують спеціальний герметичний короб, призначений для використання на відкритому повітрі.

Контролер підключають до електромережі та електромагнітних клапанів, до датчиків дощу, які стійкі до вологи, за допомогою кабелів і проводів. Щоб уникнути потрапляння вологи до металевих деталей систем поливу, під час монтажу проводів використовують універсальні силіконові ущільнювачі.

Зазвичай живлення контролера здійснюється через побутову мережу 220 В за допомогою вбудованого блока живлення. Для невеликих систем можливе використання батарейок або акумуляторів. [5,7].

Контролер може управляти роботою метеодатчика, наприклад, барометра, що дозволяє зупиняти полив під час атмосферних опадів та уникати перезволоження ґрунту.

1.4 Аналіз і вибір методів вимірювання температури

Температура вимірює ступінь нагріву або охолодження середовища і виражається в градусах за шкалами Цельсія, Фаренгейта або Кельвіна. У промисловості часто використовується шкала Цельсія, а іноді - Фаренгейта. Перетворення між цими шкалами здійснюється за допомогою наступних формул::

$$C=5/9*(F-32), \quad (1.1)$$

$$F=9/5*(C+32), \quad (1.2)$$

Вимірювання температури важливо для підтримання її в заданому діапазоні, виконання операцій при перевищенні чи зниженні за встановлені межі, а також для контролю та визначення ефективності процесів [4,13].

Серед побутових пристроїв для вимірювання температури найбільш поширеними є рідинні термометри та біметалеві пластини, останні використовуються у двопозиційному регулюванні температури.

У промисловості використовуються різні типи датчиків температури, які класифікуються за типом вихідної величини:

1. Датчики із змінним опором: Резистивні детектори температури (РДТ) та терморезистори використовують зміну опору металів у залежності від температури. Опір змінюється практично лінійно усередині певного температурного діапазону.
2. Датчики із змінною напругою: Термопари та твердотільні датчики температури, де напруга залежить від температури.
3. Датчики із змінною випромінюванням: Пірометри, де випромінювання залежить від температури.

Ці датчики знаходять широке застосування в промислових системах для точного вимірювання та контролю температури.

Резистивні детектори температури (РДТ) є датчиками, які використовують залежність опору металів від температури. У певному

температурному діапазоні опір змінюється майже лінійно і може бути виражено наступним чином:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0)), \text{ де} \quad (1.3)$$

- R_T – опір при температурі T ,

- R_0 – опір при температурі T_0 ,

- α – температурний коефіцієнт опору (зміна опору на один градус Цельсія),

- T – поточна температура,

- T_0 – початкова температура (зазвичай $0\text{ }^\circ\text{C}$).

Ця формула виражає лінійну залежність між опором і температурою в межах певного діапазону. Резистивні детектори температури використовуються для точного вимірювання температури в промислових, наукових та побутових застосуваннях.

Таблиця 1.1 – Матеріали, з яких виготовлені датчики температури і їх характеристики:

№ п/п	Property(властивість)		
	Material(матеріал)	Measurement range(діапазон вимірювання), С	Resistance coefficient(коефіцієнт опору), Ом/С
1	Copper(мідь)	від -151 до +149	0,0042
2	Nickel(нікель)	від -73 до +149	0,0067
3	Platinum(платина)	від -184 до +815	0,0039
4	Tungsten(вольфрам)	від -73 до +276	0,0045

Для перетворення зміни опору датчика в зміну напруги або струму використовується мостова схема, яка показана на рисунку 15. При стандартній кімнатній температурі міст налаштований так, щоб різниця потенціалів на його виході була вирівняна до нуля. Опір резистивного детектора температури можна розрахувати за допомогою певного виразу:

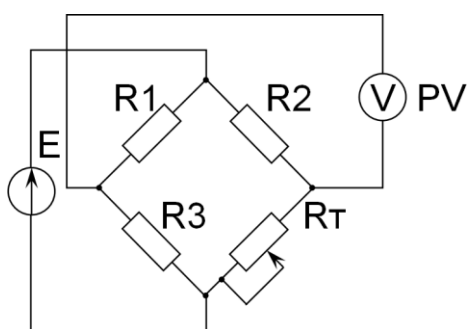
$$R = R_3 \cdot (R_2 / R_1) \quad (1.4)$$

Змінюючи один із опорів в мостовій схемі, можна спостерігати за зміною напруги на виході, яка залежить від зміни опору резистивного детектора. Це дозволяє точно виміряти температурні зміни за допомогою електричних сигналів, що легко обробляються іншими елементами системи.

Покрім резистивних детекторів з двома виводами, існують варіанти з трьома та чотирма виводами. У схемі з трьома висновками використовується додатковий вивід для усунення помилок, які виникають через опір підвідного проводу, особливо коли датчик розташований на великій відстані від моста.

Опір детектора з чотирма виводами дозволяє ефективно усувати помилки, що виникають через опір підвідних проводів, і зменшує вплив помилок, спричинених шумом, особливо в тих випадках, коли вимагається висока точність вимірювань [8]. Такі розширені конфігурації датчиків температури дозволяють покращити точність і надійність вимірювань у різних умовах використання.

Рисунок 1.4 – Мостова вимірювальна схема з двохвивідним резистивним датчиком температури



Сенсори генераторного типу у вигляді термопар іноді використовуються для вимірювання температури, особливо в високотемпературних середовищах. Термопари створюють невелику напругу у кілька мілівольт, яка залежить від температури. Вони складаються з двох різних металевих проводів, і їх властивості можуть бути розглянуті за допомогою таблиці 1.2.

Принцип роботи термопар базується на ефекті Зеебека, що полягає в тому, що при нагріванні місця з'єднання двох різних металевих дротів виникає невеликий струм. Компенсаційна напруга на одному з'єднанні пропорційна кількості виділеної теплоти на іншому переході [8].

З'єднання дроту термопари та дроту вольтметра створює додатковий перехід різнорідних металів, що створює невелику напругу, яка відповідає робочій напрузі з'єднання, і викликає помилки. Однак, якщо температура цього переходу дорівнює еталонному значенню ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), вольтметр вимірює правильне значення напруги. Наприкінці 19 століття вільний з'єднання стали називати холодним з'єднанням, оскільки його поміщали в крижану баню для підтримки температури 0°C .

Наразі відомі такі методи компенсації похибок термопар:

1. Використання термопар з компенсаційними трубками. У цьому методі встановлюють дві термопари, одна з яких знаходиться в робочому спаї, а інша - в трубці, що з'єднує холодний спай із зонами навколишнього середовища.
2. Використання термопар із спеціальними мікросхемами компенсації. Деякі термопари вбудовуються в спеціальні мікросхеми, які автоматично компенсують температурні похибки та видають скориговані вимірювання.
3. Використання термопар із автоматичною компенсацією вимірювань за допомогою термоелементів. Деякі сучасні термопари мають вбудовані термоелементи, які автоматично коригують вимірювання з урахуванням температурних похибок.

Ці методи дозволяють зменшити або взагалі усунути похибки вимірювань термопар і забезпечити більш точні результати.

Інший тип датчика температури називається інтегруючим датчиком температури, принцип його роботи заснований на властивостях біполярних транзисторів. Цей датчик використовує фундаментальну властивість кремнію, яка полягає в тому, що ширина забороненої зони залежить від

температури. Датчик реалізований наступним чином. У близько розташованих один поруч з іншим біполярних транзисторах в інтегральній схемі спостерігається різниця у колекторних струмах. Якщо співвідношення густини струму I дорівнює r , то різниця напруг база-емітер двох транзисторів дорівнюватиме $(kT/q)\ln r$, де k — постійна Больцмана, T — абсолютна температура, а q — заряд електрона. Ця різниця напруг лінійно пов'язана з температурою. За допомогою додаткових електронних схем ця напруга посилюється для отримання необхідного значення на виході.

Типовий вбудований датчик має такі параметри: температурний діапазон від -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$ і нелінійність приблизно $0,3\text{K}$ у всьому діапазоні.

На основі мікрокліматичних умов тепличних господарств, де бажаний діапазон температур для ґрунту знаходиться від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$, а для повітря від $+14^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$ [1, 2, 3], для проектованої системи було обрано датчик температури резистивного типу.

1.5 Аналіз та вибір методів і засобів вимірювання вологості

Волога є незамінним фактором життя рослин. Він необхідний для всього життєвого циклу рослини. На різних стадіях вегетації рослинні організми потребують різної кількості води в ґрунті й витягують воду з різних шарів ґрунту для нормального росту й розвитку. Існує багато способів вимірювання вологості ґрунту, а саме:

1. Гравіметричний аналіз.
2. Розсіювання нейтронів.
3. Гамма-випромінювання.
4. Електромагнітний метод.
5. Метод вимірювання натягу.
6. Мікрохвильові.
7. Термічні.

8. Оптичні.

9. Гігрометричні.

Хоча перелік методів великий, небагато з них можна застосувати до автоматизованих систем поливу. Електромагнітні методи відрізняються тим, що вони не вимагають великих витрат і/або використання громіздкого обладнання, на відміну від деяких інших методів.

Давайте проведемо більш докладний аналіз методів вимірювання показників вологості повітря і ґрунту в теплиці. Рівень вологості в ґрунті і повітрі теплиці визначає умови для розвитку технологічних процесів вирощування рослин і має значний вплив на врожайність та якість вирощеної продукції. Вологість матеріалів характеризується двома показниками:

1. Абсолютна вологість, яка вимірюється вмістом вологи в одиниці маси матеріалу.
2. Відносна вологість, що визначає відношення кількості вологості в певній масі речовини до маси цієї речовини.

Визначення абсолютної вологості W_a повітря здійснюється за допомогою наступної формули [8]:

$$W_a = m_{H_2O} / V_{\Pi} \quad [г/м^3], \quad (1.5)$$

де, m_{H_2O} – маси повітря, г;

V_{Π} – об'єм повітря, $м^3$.

Відносна вологість повітря W вимірюється згідно наступного виразу [8]:

$$W = P / P_s \cdot 100 \quad [\%], \quad (1.6)$$

де P – парціальний тиск пари води, ГПа;

P_s – тиск насиченої пари води (ГПа) при даній температурі $T(K)$.

Вологість ґрунту можна визначити прямим методом за формулою:

$$W = M / M_0 \quad (1.7)$$

де W - вологість ґрунту,

M – маса зразка,

M_0 – маса сухого ґрунту.

Недоліком даного прямого методу полягає у вимозі до проведення експериментального порівняння [8].

Всі методи вимірювання вологості можна класифікувати у два основні типи:

1. прямі методи визначення вологості, серед яких можна виділити методи висушування, дистиляційні, екстракційні і хімічні.
2. непрямі методи, які базуються на вимірюванні конкретного параметру матеріалу, що функціонально пов'язаний із вологою.

Давайте докладніше розглянемо вказані методи.

Методи дистиляції включають нагрівання зразка, який підлягає аналізу на вміст вологи, у ємності, що містить певну кількість рідини, немішаної з водою. Пара води конденсується в вимірювальній ємності, де визначають об'єм і вагу води.

Методи екстракції ґрунтуються на видаленні вологи з матеріалу за допомогою рідини, здатної поглиблювати вологу. Тут вологість матеріалу визначається шляхом вимірювання характеристик отриманого екстракту.

Хімічні методи часто використовуються для вимірювання вологості сипучих речовин за допомогою газометричного методу. У цьому випадку використовують гідриди і карбіди кальцію та застосовують метод титрування реактивом Фішера.

Методи прямого вимірювання вологості застосовуються в лабораторних аналізах та для створення точних приладів для вимірювання вологості. Проте жоден з них не підходить для розробки вологомірів для використання в полі або в поточних умовах. Інші методи включають кондуктометричний, діелектрометричний, надвисокочастотний, радіометричний, акустичний, теплофізичний та метод ядерного магнітного резонансу.

Кондуктометричний метод базується на зміні опору матеріалу від вологості. Діелектрометричний метод відрізняється високою точністю, швидкістю та простотою використання, ґрунтуючись на різниці між

діелектричною проникністю та тангенсом кута діелектричних втрат у зневодненому матеріалі та воді.

Більшість готових вологомірів працюють на високих робочих частотах. Методи надвисокочастотного (НВЧ) вимірювання ґрунтуються на взаємодії електромагнітного поля з вологим матеріалом. Зокрема, метод поглинання енергії НВЧ-поля та фазовий метод НВЧ-коливань використовують вимірювання характеристик електромагнітної хвилі після взаємодії з матеріалом. Метод поглинання, який враховує втрати енергії хвилі при проходженні через матеріал, є найпоширенішим. Фазовий метод ґрунтується на залежності фазового зсуву електромагнітних коливань від вологості матеріалу. У порівнянні з методами поглинання, вплив температури на цей параметр у фазовому методі набагато менший. Однак використання фазових методів НВЧ-вологомірів обмежено відсутністю простих і точних фазових обертачів.

Переваги методів надвисокочастотного (НВЧ) полягають у безконтактному вимірюванні, де чутливий елемент та перетворювач не знаходяться у гальванічному зв'язку з об'єктом вимірювання. Крім того, ці методи відрізняються великою чутливістю вимірювальної апаратури та мінімальним впливом на результати вимірювання хімічного складу матеріалу.

Радіометричні методи вимірювання вологості базуються на взаємодії вологого матеріалу з випромінюванням, таким як β -, γ - та нейтронне випромінювання. Вони не вимагають контакту датчика з матеріалом.

Дуже перспективним є нейтронний метод, де вологість визначається за уповільненням швидких нейтронів, оцінюване за концентрацією повільних нейтронів на певній відстані від джерела. Цю концентрацію вимірюється детектором повільних нейтронів, а відстань між центрами детектора і джерелом швидких нейтронів називається зондою вологоміра.

Для реєстрації повільних нейтронів використовують фольгу із індію, радію, срібла або кадмію, а також борні лічильники чи сцинтиляційні

детектори. Один із недоліків цього методу полягає у необхідності в порівняно великій робочій напрузі (1–2 кВ) і невеликій амплітуді імпульсу реєстрації нейтронів, приблизно 0,05 В.

Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР) ґрунтується на специфічній переорієнтації ядерних спінів матеріалу, що призводить до поглинання енергії електромагнітного поля за певних умов. Частота цього поглинання залежить від властивостей ядер і напруженості зовнішнього магнітного поля.

Шляхом зміни магнітного поля можна отримати ЯМР-спектр, який дозволяє ідентифікувати типи ядер у випробуваному зразку. Кількість енергії, яку матеріал поглиблює, пропорційна кількості протонів у молекулах води, що складає частину цього матеріалу. За інтенсивністю цього поглиблення можна визначити вологість матеріалів. Цей метод володіє численними перевагами, такими як широкий діапазон вимірювання вологості, висока точність та мінімальний вплив структури матеріалів на результати вимірювань.

Акустичні методи ґрунтуються на взаємозв'язку акустичних властивостей матеріалу з його вологістю та, як правило, працюють у високочастотному ультразвуковому діапазоні. Точність вимірювань може залежати від густини матеріалу, його складу та температури. Проте вибір робочої частоти та розташування елементів може усунути вплив таких факторів, як густина матеріалу.

Необхідно відзначити, що використання радіаційних методів, таких як нейтронний, рентгенівський та метод ядерного магнітного резонансу, заборонено для вимірювання вологості продуктів сільськогосподарського виробництва та харчової промисловості.

Теплофізичні методи ґрунтуються на залежності теплових характеристик матеріалу (таких як теплоємність, теплопровідність та їх комплексні параметри) від вологості. За допомогою цих методів розроблено

термовакуумні та термоімпульсні вологоміри, а також пристрої для вимірювання вологості.

Підсумовуючи аналіз основних методів вимірювання вологості, слід зазначити, що, хоча розглянуті лише основні методи, існують інші способи вимірювання вологості для аналізу різних речовин та середовищ (такі, як застосування при вимірюванні вологості газів, нафти тощо).

З проведеного аналізу методів вимірювання вологості можна зробити такі висновки:

1. Прямі методи вимірювання вологості не є оптимальними для автоматизованого контролю вологості через їх виконання в лабораторних умовах та великі часові затрати.
2. Радіаційні методи не допускаються для використання в харчовій промисловості та в контролі технологічних процесів сільськогосподарського виробництва.
3. Оптимальними методами для контролю вологості ґрунту в тепличних господарствах є кондуктометричні методи. Таким чином, при виборі датчиків вологості для системи автоматизованого поливу слід враховувати переваги цього типу сенсорів.

Базування цих методів на впливі вологи на електричні властивості ґрунту, дозволяють проводити аналіз вологості як за допомогою контактних, так і за допомогою дистанційних методів. Існує ряд вбудованих датчиків, які реагують на зміни опору, поляризації та інших параметрів. На жаль, сенсорні вимірювання електричних характеристик ґрунту на глибину не виявили чіткої кореляції з вологою, але для наших потреб це не критично.

Вологості ґрунту властивий вплив на його стійкість, але неоднорідність у ґрунті ускладнює точне вимірювання опору за допомогою прямих методів. Електромагнітні методи не гарантують точність вимірювань вище 2% в будь-якому напрямку, і іноді похибка може досягати 100%.

Тим не менш, ці методи взагалі підходять для вимірювання абсолютної вологості. Точність датчиків висока, але вони не здатні виміряти рівень води,

яка вступила у дифузію, особливо в ґрунтах з вмістом глини. Крім того, складність калібрування може призвести до значної похибки вимірювань на поверхні ґрунту.

Обладнання та процедура відбору зразків є досить простими. Однак необхідно правильно встановлювати датчики, мінімізуючи порушення цілісності ґрунту. Довгострокова надійність калібрування викликає сумніви через можливі зміни концентрації іонів у ґрунті.

Для цієї системи обрано метод вимірювання вологості, що ґрунтується на аналізі електричного опору ґрунту.

В рис. 1.5 показано графік залежності вихідної напруги від опору.

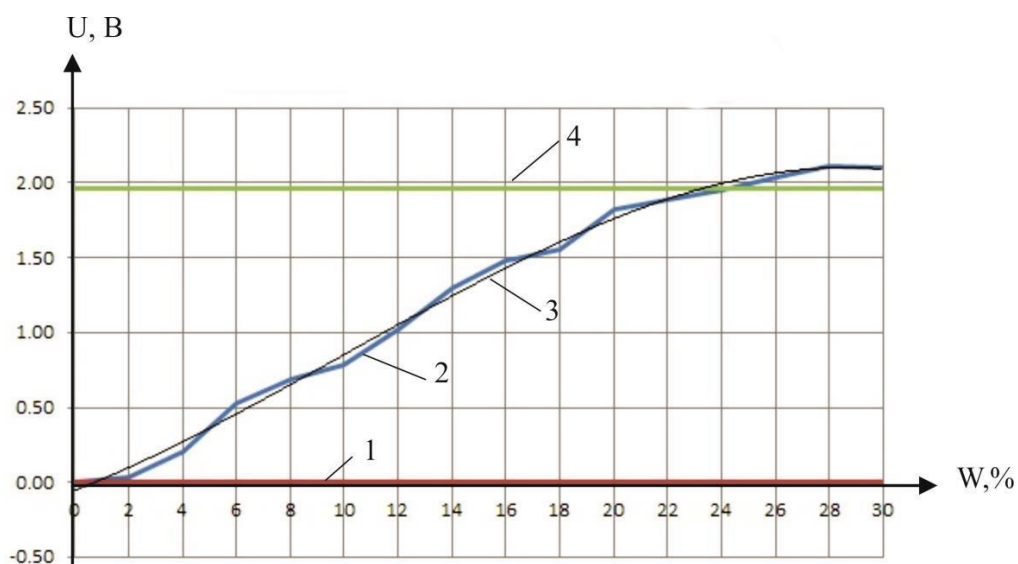


Рисунок 1.5 – Графік залежності вихідної напруги від опору

Графік включає 1 - нижню межу, 2 - графік експериментальних даних, 3 - графік поліноміальної апроксимації 3-го порядку та 4 - верхню межу.

1.6 Аналіз сучасних систем управління кліматом теплиці

Системи управління кліматом теплиці призначені для одержання стабільних врожаїв при вирощуванні розсади, квітів, салату, овочів. Врожай в

теплицях залежить безпосередньо від якості забезпечення рослин оптимальними умовами розвитку і росту. При цьому однією з найважливіших умов є добре збалансований мікроклімат [6-10]. Донедавна, ще декілька років назад, керування мікрокліматом здебільшого здійснювалося людиною-оператором вручну. На сьогоднішній день в теплицях появилась значна кількість інженерних систем, які здатні забезпечити відповідність підвищеним вимогам до якості формування мікроклімату, тому більшість теплиць промислового типу застосовує системи автоматичного управління.

В сучасній теплиці міститься велику кількість виконавчих інженерних систем, тобто технічних засобів, що дозволяють контролювати і керувати кліматом теплиці [8,11]. До основних з них відносяться такі:

- **Система опалювання**, основною задачею якої є підтримка заданої технологічними вимогами температури [12]. Зазвичай опалювальна система теплиці будується з кількох окремих контурів. Температура повітря регулюється ними шляхом зміни температури теплоносія в контурах. Регулювання проводиться з використанням змішувального клапана, який перемішує в задані пропорції воду, отриману від джерела тепла (яку називають прямим теплоносієм) з водою, що надходить назад з теплиці (її називають зворотним теплоносієм);

- **Квартиркова вентиляційна система**. В більшості теплиць для вентиляції всередині них повітря роблять в стінах чи в покрівлі квартирки (фрамуги) площею, яких може становити до 30 відсотків від загальної площі поверхні теплиці [4]. Регулювання ступеню відкриття чи закриття даних квартирок здійснюється за допомогою мотор-редукторів;

- **Системою зашторення** комплектуються практично всі розроблювані проекти теплиць. Використання системи зашторювання дозволяє зекономити до 35 відсотків теплових ресурсів. Вона також призначена для захисту вирощуваних рослин від сонячних опіків [4]. Принцип роботи системи полягає в тому, що для зашторення покрівлі виготовлений спеціально для

даних цілей полімерний матеріал розгортається або згортається над рослинами і відгороджує таким чином покрівлю. ЗДля виконання цього процесу теж використовуються призначеня для цього мотор-редуктори;

- **Система генерування вуглекислого газу.** Поряд з вологістю і температурою ще одним з найважливіших параметрів клімату теплиці є концентрація вуглекислого газу CO₂ в повітрі. Це зумовлено тим, що вуглець для рослини є необхідним будівельним матеріалом, тому процес фотосинтезу, що результує виробництвом в рослинах сухої речовини, без CO₂ не відбувається [12]. Для генерування в повітрі для підживлення додатково до природного вуглекислого газу, що міститься в повітрі, найбільш економічним методом є використання тих газів, що відходять котельні. Вбільшості промислових теплиць цей процес так і реалізується. Іноді в меншості випадків вдаються для підживлення до використання рідкої вуглекислоти, але такий підхід є більш затратним.

- **Система доосвітлювання** на сьогодні теж широко застосовується в тепличних господарствах. Для реалізацій сучасних інтенсивних технологій овочівництва передбачається застосування систем асиміляційного освітлення [13]. А технологія вирощування квітів потребує застосування системи доосвітлювання для забезпечення гарного врожаю як необхідну умову. Основним завданням системи до освітлювання є забезпечення потрібного рівня освітленості для вирощування в ті періоди, коли природного світла недостатньо, що характерно для осіннього і зимового сезонів. Технологічно заданими рівнями додаткового освітлення є рівніЩо лежать в діапазонах від 120 Вт/м² до 250 Вт/м²;

- **Система рециркуляції повітря** призначена для формування обміну повітря. Для цього, як правило, у верхній частині теплиці встановлюються вентилятори. За необхідності вентилявання вони включаються і забезпечують переміщення повітря, прискорюють конвективний теплообмін і вирівнюють теплове поле [7];

- **Автоматизована система** управління кліматом теплиці призначена для інтегрування всіх названих попередньо підсистем в одну систему, що реалізує процес централізованого управління. Всі перераховані вище підживлення системи: опалення та вентиляції, зашторювання і досвічування, CO₂ та рециркуляції функціонують під керуванням промислового комп'ютера, який контролює і забезпечує відповідність режиму клімату в теплиці заданому технологічними вимогами [5,6,7].

Котельне обладнання використовується для забезпечення необхідного теплового режиму в теплиці. Котельні, розроблені для теплиць повинні відповідати найсучаснішим вимогам. Зазвичай, вони включають в себе ємності для акумулювання тепла, які дозволяють також виробляти в денний період вуглекислий газ, необхідний для рослин. Автоматичне управління котельнею для забезпечення необхідного технологічного режиму теплиці здійснює спеціальний комп'ютер. Відомо, що більшу частину витрат на вироблення в теплицях продукції, складають енергоресурси. Тому на перший план під час проектування теплиць виходить вибір якісного енергетичного обладнання виходить [12]. До такого якісного котельного обладнання відноситься продукція таких світових брендів, як «Viessmann», «Crone», «НКВ», які мають високий ККД горіння з одночасно низькою емісією газів NO_x, а також великий відсоток виходу вуглекислого газу CO₂. Остання властивість цього обладнання дозволяє використовувати газу від даних котлів для підживлення вуглекислим газом тепличних рослин. Новітні котли забезпечені низькою підсистем, що гарантують довготривалу роботу без перебоїв,, наприклад [12]:

- всі котли обладнані шунтувальними насосами, що забезпечує циркуляцію води всередині котла і робить процес нагріву води більш рівномірним;

- всі котли обладнані демпферними насосами, які включаються за низьких температур зворотної води і не допускають утворення конденсату в котлі.

В якості пальників використовуються вироби фірм відомого бренду, таких як Weischaup, Zantingh, Thermeta. Позитивною характеристикою вказаних пальників є можливість регулювати потужність в широкому діапазоні 10% до 100%. Порівняння цих сучасних пальників з попередніми показує, що наявність в них частотних регуляторів в вентиляторних двигунах подавання повітря дозволяє зекономити на споживаній електроенергії.

1.7 Техніко економічне обґрунтування доцільності розробки

Проаналізуємо рівень науково-дослідної роботи, пов'язаної з вивченням систем автоматичного поливу. Відповідно до відповідних вимог НТП, рекомендовано, щоб ключовий цикл досліджень і розробок не перевищував 2 роки (+2), а технічні показники результатів планувалися нижчими за найкращий світовий рівень вибірки (-2).); чи можливо отримати авторське свідоцтво на даний винахід - неможливо (-1); термін окупності 2 роки і менше (+3).

В таблиці 1.3 наведено критерії та бальна оцінка для визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи

Таблиця 1.3 – Критерії та бальна оцінка для визначення наукового, технічного та економічного рівня науково-дослідної роботи.

Критерії оцінювання	Шкала критеріїв	Індекс оцінювання
За який час проводяться НДР	До 2 років	+2
	3 роки	+1
	4 роки	0
	5-6 років	-1
	Від 7 років	-2
Характеристики результатів розробки в сфері технічних	Перевершуючи найкращі світові стандарти	+2
	Досягаючи найвищих світових стандартів	0
	Не досягаючи рівня кращих світових	-2

показників	зразків	
Можливість отримання патентів на винахід	Впевненість у наданні авторських свідоцтв	+2
	З певним обмеженням можливості	0
	Відсутність такої можливості	-1
Час окупності витрат	До 2 років	+3
	3-4 роки	+2
	5 років	0
	6-7 років	-1
	Від 8 років	-2

В таблиці 1.4 наведено можливі результати оцінки теми НДДКР.

Таблиця 1.4 – Можливі результати оцінки теми НДДКР

Сума індексів	Оцінка теми
Вища(+)	Перспективна розробка
Середня(0)	Частково перспективна розробка
Негативна(-)	Розробка не є перспективною

Аналізуючи дані таблиці 1.1 та таблиці 1.2, а також підраховуючи загальну кількість балів ($+2-2-1+3=+2$), ми робимо висновок, що дана дослідницька робота щодо систем автоматичного зрошення є досить перспективною.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки.

Метою технічного огляду є оцінка комерційного потенціалу результатів НДДКР. За результатами оцінювання можна зробити висновки про напрям (характеристики) подальшого впровадження організацією результатів на основі встановлених рейтингів.

Рекомендується оцінювати комерційний потенціал проектів розвитку за 12 критеріями, наведеними в таблиці 1.5 [40-42].

Таблиця 1.5 – Критерії, які рекомендується використовувати для оцінки комерційного потенціалу розробки, та можливий застосований числовий показник.

Бали (за п'яти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Не підтверджена достовірність цієї концепції	Експертними висновками була підтверджена	Концепція для підтвердження	Для підтвердження перевірена на практиці	В реальних умовах перевірена роботоздатність
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Значна кількість аналогів на	Мала кількість аналогів на	На великому ринку є кілька	Всього лиш один аналог на великому	Цьому продукту немає аналогів
3	Вартість продукту суттєво перевищує вартість аналогів	Вартість продукту трошки вища за вартість аналогів	Вартість продукту приблизно рівна вартості аналогів	Вартість продукту трошки нижча за вартість аналогів	Вартість продукту суттєво нижча за вартість аналогів
4	Технічні та споживчі характеристики цього продукту значно гірші, ніж у	Технічні та споживчі характеристики даного виробу трохи поступаються аналогічним	Технічні та споживчі характеристики товару на аналогічному рівні.	Технічні та споживчі характеристики продукту трохи кращі, ніж аналогічні	Технічні та споживчі характеристики продукту значно перевершують аналогічні продукти
5	Експлуатаційні витрати значно вищі	Експлуатаційні витрати трохи вищі	Експлуатаційні витрати аналогічні	Експлуатаційні витрати трохи нижчі	Експлуатаційні витрати значно нижчі аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок невеликий і не має позитивних динамік	Ринок невеликий, але має позитивну динаміку	Середньоринкова позитивна динаміка	Великий стабільний ринок	Великий ринок, наповнений позитивною динамікою
7	Великі компанії з активною конкуренцією	Діюча конкуренція	Не різка конкуренція	Мала конкуренція	Взагалі немає конкуренції
Практична здійсненність					

8	Експертів, відповідальних за технічну та комерційну реалізацію ідеї, немає	Необхідно найняти експертів або витратити багато грошей і часу на навчання існуючих	Необхідно забезпечити невелику підготовку фахівців і збільшити чисельність персоналу	Потрібна мінімальна підготовка експертів	Є експерти в техніці та комерційна реалізація ідей
9	Потрібні значні фінансові ресурси, але наразі їх немає. На цю	Потрібні невеликі фінансові ресурси. немає джерела фінансування	Вимагають значних фінансових ресурсів. Є джерела фінансування.	Вимагають невеликих фінансових ресурсів. Є джерела фінансування	Не вимагає додаткового фінансування
10	Розробка нових матеріалів є обов'язковою	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Необхідні дорогі матеріали	Необхідні доступні і дешеві матеріали	Всі матеріали, використані для реалізації ідеї, відомі і давно використовуються у виробництві
11	Ідея реалізовується від 10 років	Ідея реалізовується більше ніж за 5 років. Інвестиції окуплюються більше 10-ти	Ідея реалізовується від 3-х до 5-ти років. Інвестиції окуплюються більше 5-ти	Ідея реалізовується менше 3-х років. Інвестиції окуплюються від 3-х до 5-	Ідея реалізовується менше 3-х років. Інвестиції окуплюються менше 3-х років
12	Необхідність розробки нормативних документів та отримання ліцензій на виробництво та продаж великої кількості продукції	Виробництво та реалізація продукції вимагає великої кількості ліцензій, великих грошових і часових витрат	Процедура отримання ліцензії на виробництво та реалізацію продукції вимагає дуже мало коштів і часу	Потрібно лише повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукції.	Нормативних обмежень щодо виробництва та реалізації продукції немає

Таблиця 1.6 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	експерт		
	Биков М. М., к.т.н., проф.	Боровська Т. М., д.т.н., доц.	Ковалюк О. О.
	Бали, виставлені експертами:		
1. Здійсненність концепції в технічному аспекті	2	2	2
2. Переваги на ринку (наявність аналогів)	2	2	3
3. Переваги на ринку (ціна продукту)	2	3	2
4. Переваги на ринку (технічні властивості)	1	2	2
5. Переваги на ринку (експлуатаційні витрати)	2	3	3
6. Перспективи на ринку(розмір ринку)	1	1	2
7. Перспективи на ринку (конкуренція)	2	2	3
8. Здійсненість на практиці (наявність фахівців)	2	3	2
9. Здійсненість на практиці (наявність фінансів)	3	3	3
10. Здійсненість на практиці (необхідність нових)	4	3	4
11. Здійсненість на практиці (термін реалізації)	2	2	2
12. Здійсненість на практиці (розробка документів)	4	3	4
Сума балів	27	29	32
Середньоарифметична сума балів <u>СБ</u>	<u>29,3</u>		

Використовуючи дані з Таблиці 1.4, можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу дослідження. Доцільно користуватися рекомендаціями, які наведені в Таблиці 1.7 [40-42].

Таблиця 1.7 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Малий
11 - 20	Менше середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 29,3 бали що, згідно таблиці 1.5, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній).

Оцінювання рівня новизни розробки.

При введенні нового товару на ринок виробник припускає, що рівень новизни, яку має цей товар, буде сприйнято споживачами як щось нове. Проте це не завжди відбувається, оскільки споживачі та виробники різним чином оцінюють ступінь новизни.

Оцінка рівня і ступеня новизни товару є критично важливою, оскільки це визначає, наскільки однаково позитивно його сприймають як виробник, так і споживач, а отже, і весь ринок. Це важливо для того, щоб новинка знайшла своє місце на ринку, знайшла попит серед споживачів і забезпечила відшкодування витрат, що виникли під час розробки та виробництва цього новаторського продукту.

Для оцінки рівня новизни товару пропонується використовувати експертний підхід, порівнюючи його з аналогами, що вже є на ринку, за кількома факторами в системі "краще-гірше". Рівень новизни порівнюється з рівнем аналога або подібного товару.

Для кожного аспекту новизни застосовуються чинники, які впливають на його рівень. Експерти визначають бали для кожного з цих чинників. Чим більше балів, тим вищий рівень новизни, що підтверджується експертами за діапазоном від -5 (значно гірше аналога) до +5 (значно краще аналога).

Результати попереднього оцінювання зведемо до відповідного листа оцінювання (таблиця 1.8).

Таблиця 1.8 – Лист оцінювання рівня новизни

Види та чинники		Бали та експерти		
		Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
<i>I</i>		2	3	4
Споживча новизна	Питома вага 0,25	Максимальний бал		25
		<i>B_{i MAX}</i>		
1. Звички в поведінці споживача змінилися		3	3	3
2. Шкала задоволення потреб і запитів		3	3	3
3. Методи задоволення потреб		2	3	2
4. Формування нових потреб		2	2	3
5. Формування нових споживачів		2	2	2
Середній бал від експертів <i>B_{i omp}</i>		13		
Новинка товару	Питома вага 0,24	Максимальний бал		30
		<i>B_{i MAX}</i>		
1. Зміна параметрів товарного індексу				
1.1. Якісні		3	3	3
1.2. Технічні		4	4	3
1.3. Економічні		4	4	4
1.4. Сервісні		3	2	3
2. Якість продукції порівняно з конкурентами		3	2	3
3. Функціональні зміни		3	3	3
Середній бал від експертів <i>B_{i omp}</i>		19		
Виробнича новизна	Питома вага 0,037	Максимальний бал		25
		<i>B_{i MAX}</i>		
1. Рівень унікальності продукції компанії		4	5	5
2. Ступінь унікальності для галузі		2	1	2
3. Ступінь унікальності товару для країни		-1	0	-1
4. Зміна виробничої системи		0	0	0
5. В порівнянні з існуючим асортиментом		2	2	2
Середній бал від експертів <i>B_{i omp}</i>		8		
Прогресивна новизна	Питома вага 0,147	Максимальний бал		25
		<i>B_{i MAX}</i>		
1. Зміни в технології виготовлення		1	1	1
2. Ступінь застосування нових компонентів і матеріалів		1	1	1
3. Зміна технічних принципів дії продукту		1	1	1
4. Конструктивно реалізовані зміни		3	4	3

5. Рівень застосування інноваційних результатів		2	2	2
Середній бал від експертів $B_{i\ omp}$		8		
Нововведення на ринку	Питома вага 0,1	Максимальний бал $B_{i\ MAX}$		20
1. Інноваційний продукт на новому ринку		0	0	0
2. Інноваційний продукт на відомому ринку		0	0	0
3. Модернізований виріб		1	1	1
4. Нова модель		2	2	2
Середній бал від експертів $B_{i\ omp}$		3		
Екологічна новизна	Питома вага 0,038	Максимальний бал $B_{i\ MAX}$		20
1. Продукт із зазначеними екологічними перевагами		1	1	1
2. Деякі екологічні переваги		2	2	2
3. Мінімальний вплив на навколишнє середовище		0	0	0
4. Відсутність екологічних вдосконалень		0	0	0
Середній бал від експертів $B_{i\ omp}$		3		
Соціальна новизна	Питома вага 0,038	Максимальний бал $B_{i\ MAX}$		20
1. Суттєвий позитивний вплив на суспільство, з врахуванням соціокультурних аспектів		1	1	1
2. Деякий позитивний вплив на суспільство		0	0	0
3. Виробництво нової продукції призводить до збільшення (зменшення) чисельності працівників підприємства		0	0	0
4. Виробництво нової продукції стимулює підвищення якості персоналу		1	1	1
Середній бал експертів $B_{i\ omp}$		2		
Маркетингова новизна	Питома вага 0,15	Максимальний бал $B_{i\ MAX}$		20
1. Нові методи маркетингових досліджень		1	1	1
2. Застосування нових стратегій сегментації ринку		-1	0	1
3. Вибір нових маркетингових стратегій для масштабів і розвитку цільових сегментів ринку		1	1	1
4. Побудова нових каналів збуту		0	0	0
Середній бал експертів $B_{i\ omp}$		2		

Значення i -го виду новизни пропонується розрахуємо за формулою:

$$I_i = \frac{B_{i\text{omp}}}{B_{i\text{MAX}}}, \quad (1.6)$$

де $B_{i\text{omp}}$ – кількість балів, отриманих за шкалою оцінок чинників, які визначають i -й вид новизни;

$B_{i\text{MAX}}$ – максимальна кількість балів, яку можна отримати за i -м видом новизни.

Для розрахунку загального рівня інтегральної новизни використовується метод перемноження отриманого значення i -го виду новизни на його вагомість. Вагомість i -го виду новизни визначається експертним методом за формулою [42].

$$N_{\text{int}} = \sum_i^n W_i \cdot I_i, \quad (1.7)$$

де N_{int} – рівень інтегральної (сукупної) новизни;

W_i – вагомість (питома вага) i -го виду новизни;

n – загальна кількість видів новизни.

$$N_{\text{int}} = (0,25 \cdot 13/25) + (0,24 \cdot 19/30) + 0,037 \cdot 8/25 + (0,147 \cdot 8/25) + (0,1 \cdot 3/20) + \\ (0,038 \cdot 3/20) + (0,038 \cdot 2/20) + (0,15 \cdot 2/20) = 0,38.$$

Розробка відповідає рівню – новий товар, а значення інтегральної новизни 0,38, визначається як кардинальна зміна параметрів продукту (новий товар).

1.8 Висновки до розділу

В даному розділі визначено суть технічної проблеми., що виникла на сучасному етапі розробки систем автоматизації тепличних господарств, проведено аналіз характеристик теплиці як об'єкта автоматизації і встановлено вимоги до його ефективного функціонування.

Розглянуто принцип дії існуючих систем автоматизації процесу контролю і регулювання клімату в тепличних господарствах. Виконано техніко-економічне обґрунтування задачі та визначено вимоги до розроблюваної системи автоматичного поливу:

- Підсистема автоматизованого поливу повинна бути реалізована у вигляді окремого модуля;
- Поливні канали повинні мати окремі налаштування.

2 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ І ВИБІР АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

2.1 Розробка узагальненої структурної схеми розумної теплиці

Останнім часом поширюється тенденція побудови власниками приватних господарств свого помешкання за принципами «Розумного будинку» [14-20]. Такий підхід передбачає автоматизацію всіх функцій життєдіяльності житла для забезпечення комфортного проживання його мешканців. Така ж тенденція розповсюджується і на устрій всіх складових частин господарства, зокрема, і теплиці. Автоматизовані системи управління дозволяють забезпечити оптимальні умови вирощування, знизити витрати та підвищити продуктивність у сільському господарстві. Тому є необхідність розробити структурну схем розумної теплиці, щоб узгодити її місце і роль в загальній схемі розумного житла. Розглянемо спочатку приклад теплиці з повною автоматизацією всіх технологічних процесів [21-24].

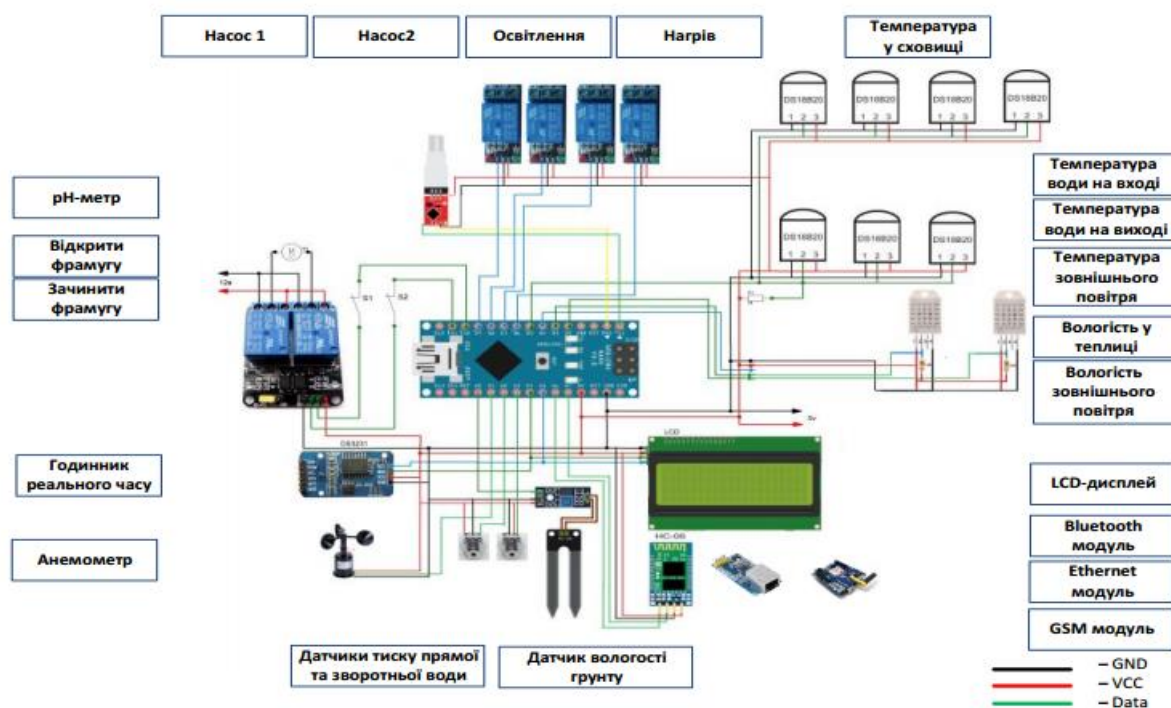


Рисунок 2.1 - Структура автоматизованої системи управління мікрокліматом теплиці з повною функціональністю

З розглянутого прикладу випливає, що структурна схема повнофункціональної системи автоматизації тепличного господарства містить такі складові елементи.

Сенсори та датчики:

- Датчики погоди стану зовнішнього середовища.
- Датчики температури
- Датчики вологості
- Датчики освітленості

Систему збору і передачі даних:

- Мікроконтролери або спеціалізовані системи для збору даних з сенсорів.

- Мережа передачі даних (зазвичай бездротова, така як Wi-Fi або LoRa).
- Зберігання та обробка даних на локальному рівні.

Системи управління і контролю:

- Мікроконтролер або комп'ютер, який відповідає за обробку та аналіз даних.

- Програмне забезпечення для управління системами вентиляції, опалення, освітлення, зрошення тощо.

- Алгоритми регулювання параметрів клімату.
- Інтерфейс користувача для моніторингу та керування системою.

Виконавчі пристрої:

- Системи вентиляції.
- Опалювальні системи (теплові насоси, обігрівачі тощо).
- Системи зрошення (розпилювачі, крапельна система).
- Системи освітлення (LED лампи, фітолампи).

Система живлення:

- Джерела живлення для всіх компонентів системи.

Система безпеки:

- Датчики диму та вогню.
- Камери відеоспостереження.

- Аварійні вимикачі і сигналізація.

Система моніторингу та звітності:

- Системи запису і архівування даних для статистики.

- Засоби віддаленого моніторингу та керування через Інтернет.

Автоматична системи інструкцій і логіки:

- Алгоритми для автоматичного регулювання параметрів клімату, які базуються на зібраних даних і заданих параметрах.

Система резервування і аварійного відновлення:

- Додаткові резервні джерела живлення та запасні компоненти для відновлення роботи в разі аварій.

Розглянута структурна схема може бути деталізована та адаптована відповідно до конкретних потреб та можливостей теплиці. Вона показує, що її обладнання розміщується на різних рівнях автоматизованої системи управління розумного житла, тому сумісно з іншими його системами структурна можна побудувати у вигляді трьох ієрархічних рівнів, як це показано на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Ієрархічна структурна схема АСУ тепличним господарством

З урахування великого обсягу робіт, необхідного для реалізації всіх функцій даної АСУ, для розробки в нашій роботі були вибрані тільки функції моніторингу температури і вологості та автоматизованого поливу.

2.2 Розробка структурної схеми системи автоматизованого поливу

Встановлено два вимірювальні канали для реалізації системи автоматичного поливу: один для вимірювання температури повітря іншого для вологості ґрунту. Також реалізовано програмне вимірювання часу. Структурна схема системи представлена на рис. 2.3.

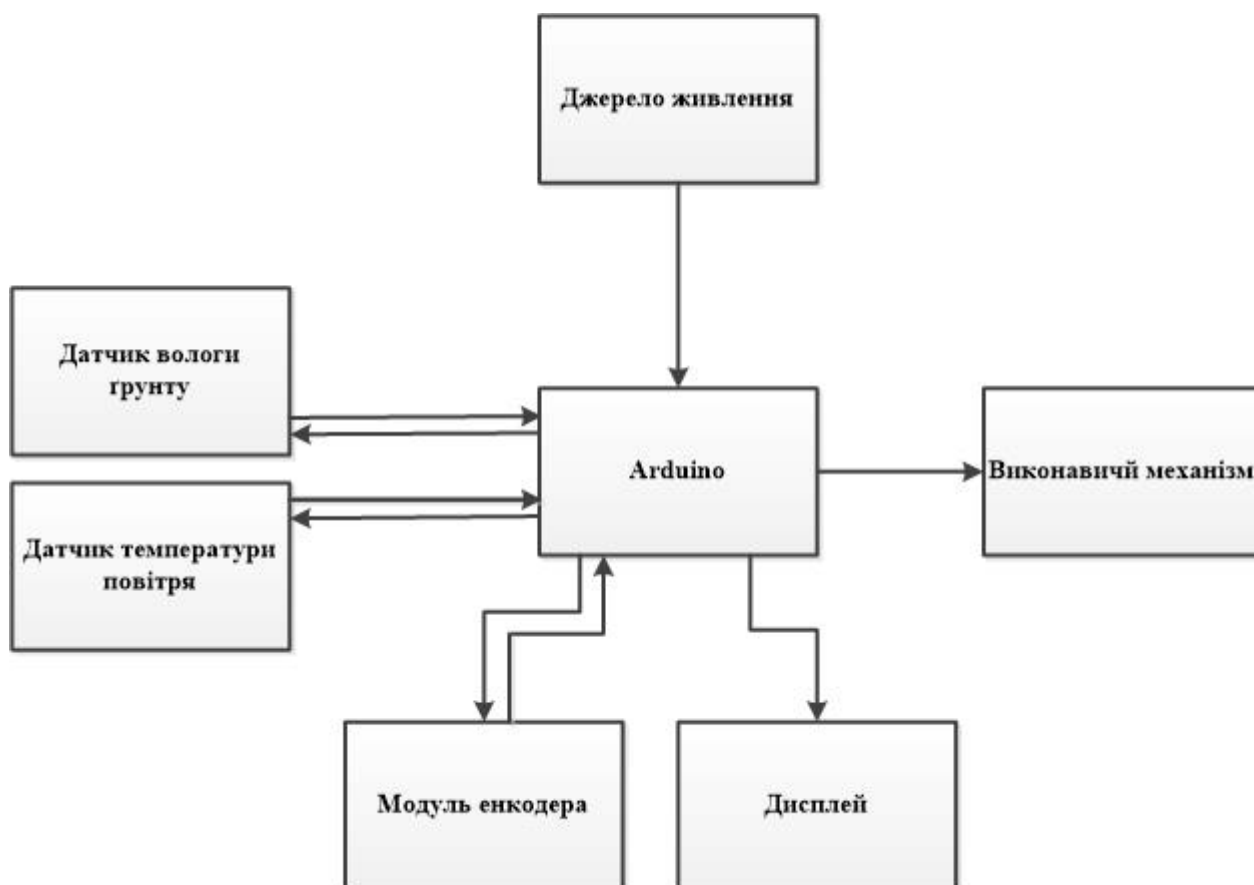


Рисунок 2.3 - Структурна схема першої системи

У даній реалізації пристрою платформа Arduino, заснована на мікроконтролері Atmega 328P, живить всі компоненти за допомогою свого власного перетворювача напруги. Вона отримує сигнали від датчиків через аналогові та цифрові порти і виводить інформацію на екран. Управління здійснюється за допомогою модуля енодера. Зазначено, що виконавчий механізм не повинен споживати більше 20 мА при 5 В постійного струму, оскільки це може призвести до виходу Arduino з ладу. Однак ця схема має

обмеженість у потужності виконавчого механізму, на відміну від схеми, представленої на рисунку 2.4. Остання використовує окреме джерело живлення для виконавчого та комутуючого механізму.

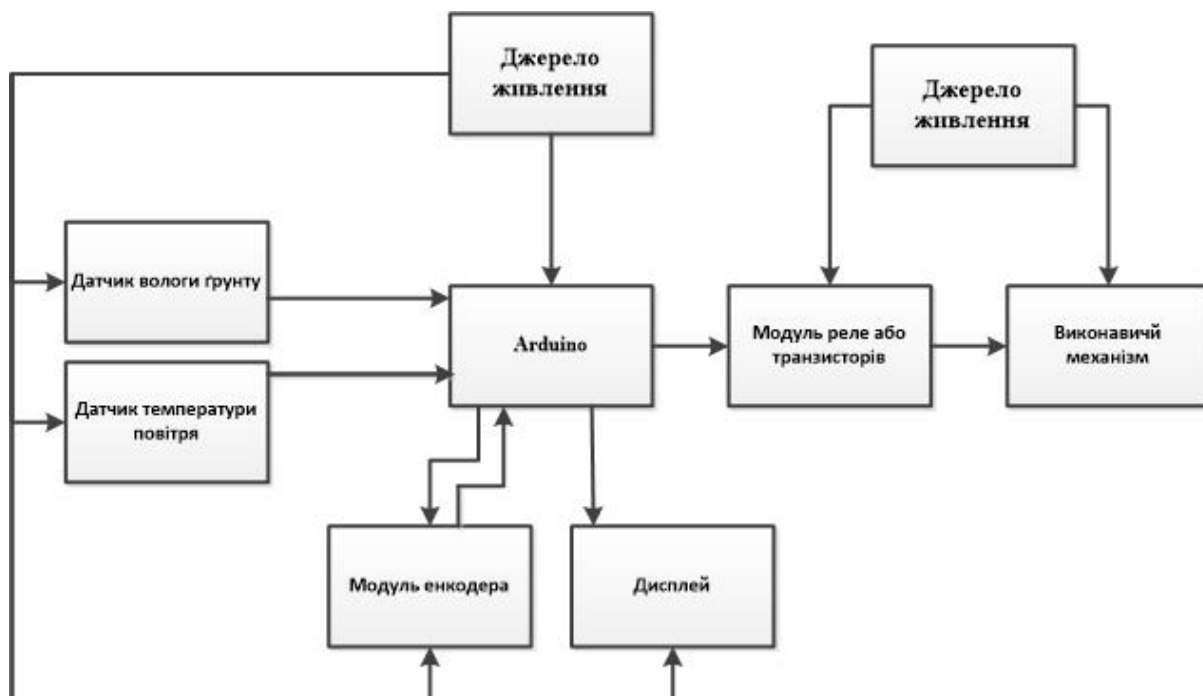


Рисунок 2.4 – Структурна схема другої системи

Система, зображена на рис. 2.5, є найбільш вигідною в аспекті зменшення кількості окремих блоків, оскільки зі збільшенням елементів надійність може падати. У цій конфігурації живлення модулів та мікроконтролера забезпечується штатним перетворювачем Arduino, який підключений до джерела живлення. Крім того, завдяки підключенню модуля реле, виконавчий механізм може бути підключений до змінного струму. Ще однією невід'ємною перевагою є можливість живлення від акумулятора, що забезпечує автономність.

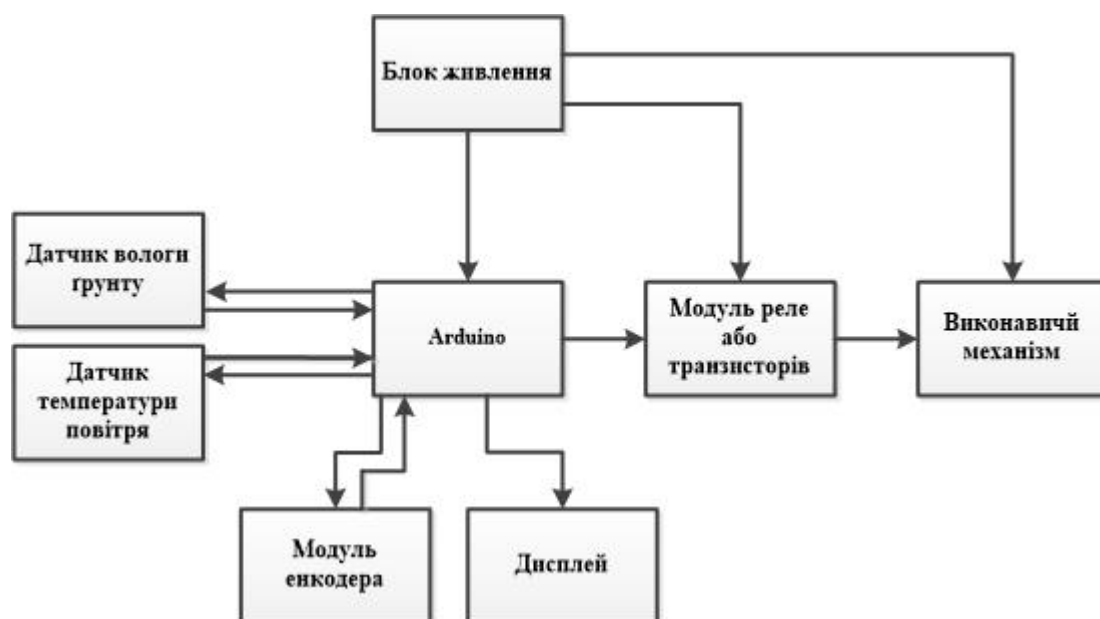


Рисунок 2.5 – Структурна схема третьої системи.

Таблиця 2.1 – Порівняння технічних характеристик розглянутих схем

	Перша система	Друга система	Третя система	Ідеальна система
Надійність	1	0	1	1
Універсальність	0	1	1	1
Автономність	1	0	1	1
Потужність	0	1	1	1
	$\sum_i^4 \alpha = 2$ $\alpha = 0$ або 1	$\sum_i^4 \alpha = 2$ $\alpha = 0$ або 1	$\sum_i^4 \alpha = 4$ $\alpha = 0$ або 1	$\sum_i^4 \alpha = 4$ $\alpha = 0$ або 1

Обрахуємо критерій якості за наступною формулою

$$K = \sum_i^4 \alpha = 2, \alpha = 0 \text{ або } 1 \quad (2.1)$$

Критерій якості першої системи $K=2$, другої $K=2$, третьої $K=4$.

Отже, з таблиці вище ми бачимо, що стандарт якості третього варіанту вище, ніж інші конструктивні варіанти. Можна зробити висновок, що більш придатним для використання є третій варіант структурної схеми. Електрична схема системи автоматичного поливу наведена в додатку.

Обране рішення має багато переваг перед попереднім. Головною перевагою обраного рішення є його простота реалізації. Оскільки це рішення містить менше компонентів, воно більш стійке до перешкод, що спрощує прийом сигналу. Це в свою чергу призводить до підвищення точності та надійності системи. До того ж вартість такого варіанту значно нижча.

2.3 Вибір необхідного обладнання для автоматизованої системи

Для реалізації системи автоматизованого поливу потрібно таке обладнання:

- 1 - Модуль керування на мікроконтролері.
- 2 - Сенсори вологості та температури.
- 3 - Виконавчі механізми у складі насоса і реле.
- 4 - Джерело живлення.
- 5 - Інформаційний дисплей.
- 6 - Енкодер.

2.2.1 Вибір типу керуючого модуля

З-поміж усіх контролерів, що доступні на ринку, було обрано сімейство контролерів Arduino. Це сімейство користується великою популярністю серед ентузіастів електроніки по всьому світу. Основні причини такого вибору полягають у тому, що ця платформа:

1. Доступність та вартість: Arduino є досить доступною, маючи при цьому невелику вартість. Це дозволяє зосередитися на інших компонентах системи, використовуючи обмежені ресурси на контролер.
2. Легкість програмування: Платформа легко програмується, код можна написати на мовах програмування C або C++, що є значно зручнішим порівняно з асемблерними контролерами, які вимагають детального опису таких процесів, як запис в енергонезалежну пам'ять (EEPROM).
3. Універсальність: Arduino є універсальною платформою, яка підтримує безліч різноманітних датчиків та виконавчих механізмів. Це дає можливість збирати різноманітні проекти на її базі.
4. Зручність в роботі: Збір проектів на Arduino є задоволенням, завдяки безпайочним макетним платам. Ця опція дозволяє швидко зібрати, протестувати або вдосконалити проект за лічені години, забезпечуючи швидкість та зручність в

Давайте перейдемо до огляду контролерів сімейства Arduino, почнемо з Arduino NANO, який представлений на рисунку 2.6. Цей контролер є широко поширеним у системах малої автоматизації. Звернемо увагу, що на зворотному боці плати розташований лінійний стабілізатор +5 Вольт та конвертер USB-UART. Вбудований стабілізатор 3,3 В міститься в мікросхемі конвертера, і ця напруга може живити 3,3-вольтові модулі зі споживанням струму до 50 міліампер. Основними перевагами цієї версії є її компактність та можливість встановлення в макетну плату [25, 26, 27, 28, 29, 30].

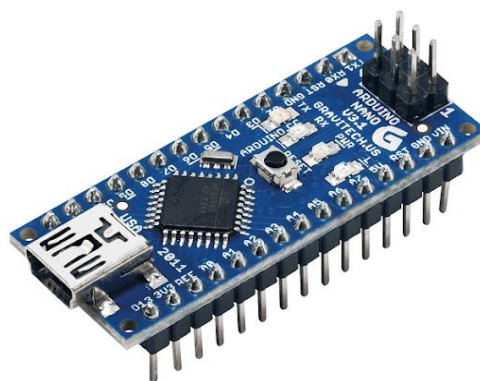


Рисунок 2.6 – Модуль керування Arduino NANO.

Важливо подавати зовнішню нерегульовану напругу живлення в діапазоні від 7 до 12 В лише на вхід VIN. У цьому випадку на виводах 5 V та 3,3 V будуть забезпечені відповідні стабілізовані напруги, які можна використовувати для живлення зовнішніх елементів схеми із загальним споживанням струму до 50 мА [28]. Основні технічні характеристики плати наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики модуля Arduino NANO

Контролер	ATMega 328p
Пам'ять програм	32 Кбайт
Пам'ять ОЗУ	2 Кбайт
Пам'ять EEPROM	1 Кбайт
Зовнішнє живлення	7...12 V
Робоча напруга	5 V
Тактова частота	16 МГц
Цифрові порти	14 (6 ШІМ портів)
Аналогові входи	8 (АЦП 10-ти розрядний)
Максимальний струм порту	40 mA
Розміри	45x18мм
Вага	5 г

Розглянемо інший модульний мікроконтролер даного сімейства, а саме Arduino Mini [29]. Це варіант модуля з мінімальною кількістю зовнішніх компонентів. У нього відсутній конвертер USB-UART, тому для з'єднання з комп'ютером для програмування знадобиться зовнішній конвертер високої якості. Модуль випускається в двох варіантах: 5 V (16 МГц) та 3,3 V (8 МГц). В залежності від робочої напруги, на платі встановлені різні мікросхеми стабілізатора. Плати від китайських виробників, які також доступні у кількох варіантах, відрізняються розташуванням виводів.

Плата модуля показана на рис. 2.7.

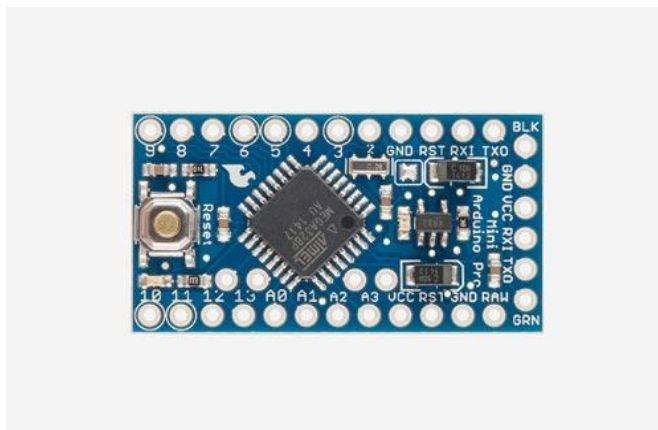


Рисунок 2.7 – Модуль керування Arduino Mini

Плату модуля досить зручно монтувати на друковану плату готового пристрою. З урахуванням її низької вартості плата модуля на Arduino Mini стає практично невід'ємною складовою багатьох дрібносерійних проектів [26].

Основні технічні характеристики даного модуля наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики модуля Arduino Mini

Контролер	ATmega 328p
Пам'ять програм	32 Кбайт
Пам'ять ОЗУ	2 Кбайт
Пам'ять EEPROM	1 Кбайт
Тактова частота	16 МГц\ 8 МГц
Робоча напруга	5 V\ 3,3 V
Зовнішнє живлення	7...12 V
Цифрові порти	14 (6 ШІМ портів)
Аналогові входи	6 (10-розрядний АЦП)
Максимальний струм порту	40 mA
Розміри	33,6x17,8мм
Вага	3 г

На контакти RAW необхідно подати напругу зовнішнього живлення в діапазоні 7...12 В. Вивід VCC підключається безпосередньо до лінії живлення мікроконтролера. Залежно від модифікації на контролер слід подавати тільки стабільну напругу 5 В або 3,3 В. Також слід бути обережним при використанні зовнішнього перетворювача USB-UART.

Розглянемо модуль Arduino UNO R3, який є одним з найбільш популярних у представників даного сімейства. Основна відмінність UNO від NANO полягає в тому, що перший сам по собі є макетною платою, тоді як другий вставляється в макетну плату. Багато розширень випускаються для UNO і підходять під його форму, надіваючись поверх основної плати на контакти. Додатково, на платі UNO присутній додатковий контакт для зовнішнього джерела живлення в діапазоні 7–12 В, електричні конденсатори у ланцюгові живлення і більш складна схема комутації живлення з автоматичним переключенням між джерелами. На платі встановлено самовідновлюваний полімерний запобіжник, який додатково захищає USB-порт комп'ютера від перенавантажень. Плата показана на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – Плата модуля керування Arduino UNO R3

Основні технічні характеристики Arduino UNO R3 наведено в табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики модуля Arduino UNO R3

Контролер	АТМega 328р
Пам'ять програм	32 Кбайт
Пам'ять ОЗУ	2 Кбайт
Пам'ять EEPROM	1 Кбайт
Тактова частота	16 МГц
Робоча напруга	5 V
Зовнішнє живлення	7...12 V
Цифрові порти	14 (6 ШІМ портів)
Аналогові входи	6 (10-розрядний АЦП)
Максимальний струм порту	40 mA
Розміри	68,6x53,4мм
Вага	25 г

Плата модуля 2560 R3 реалізована на контролері АТmega 2560. У порівнянні з попереднім модулем модуль Arduino Mega має значно більше цифрових і аналогових портів і більший об'єм пам'яті. Як і його попередник UNO, Mega має запобіжник, що самовідновлюється. Завдяки великій кількості портів до модуля можна підключати високошвидкісні кольорові дисплеї з паралельною 8-бітною шиною. Також буде достатньо місця для інших периферійних пристроїв. Плата модуля показана на малюнку. 2.9.



Рисунок 2.9 – Модуль керування Arduino Mega 2560 R3

Контакти вводу/виводу розташовані таким чином, щоб можна було встановити більшість розширень плати Arduino UNO R3. Технічні характеристики модуля наведено в табл. 2.5 [30].

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики модуля Arduino Mega 2560

Контролер	ATMega 2560
Пам'ять програм	256 Кбайт
Пам'ять ОЗУ	8 Кбайт
Пам'ять EEPROM	4 Кбайт
Тактова частота	16 МГц
Робоча напруга	5 V
Зовнішнє живлення	7...12 V
Цифрові порти	54
Аналогові входи	16
Максимальний струм порту	40 mA
Розміри	101,5x53,3мм
Вага	37 г

Вибір плати Arduino NANO для реалізації системи пов'язаний з її універсальністю. Вона може бути легко розміщена на друкованій платі готового приладу, а також має інтерфейс USB-UART для зручності програмування. В порівнянні з Arduino Mini, яка не має інтерфейсу USB-UART, Arduino NANO є більш зручним варіантом для перепрошивки, якщо це необхідно. Модифікації Arduino Uno та Mega також мають опцію макетування, але їхні розміри і конфігурація роблять їх менш практичними для збирання готового приладу. Таким чином, версія Nano виявляється найкращим варіантом, який підходить і для макетування, і для збирання готового приладу.

2.2.2 Вибір датчиків вологості і температури

Як датчики температури нам підходять варіанти DHT11 і DHT22, оскільки діапазон вимірювання обох відповідає тепличному клімату (від 0°C до 17°C) [32]. Розберемо, який з них нам більше підходить. Обидва датчики вимірюють температуру за допомогою методу опору, який базується на зміні опору зі зміною температури. Розглянемо їх характеристики докладніше. Почнемо з датчика DHT11, характеристики якого наведені в таблиці. 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики сенсора температури DHT11

Тип	Цифровий
Напруга живлення	3,6 - 6 V
Діапазон вимірювання температури	-40 ~80° C
Точність вимірів температури	±1° C
Кількість виводів	3
Розміри	1,4 * 1,8 * 0,55 см

Сам датчик показано на рисунку 2.8

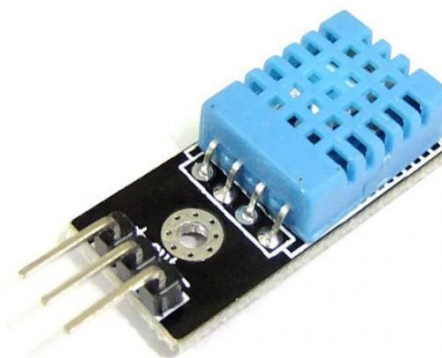


Рисунок 2.10 – Зовнішній вид датчика DHT11

Робота з датчиками є досить простою. Загальний алгоритм використання датчиків може виглядати приблизно так:

1. Підключення датчика до мікроконтролера: встановлення живлення на контакт VDD, з'єднання GND землі, та підключення D0 до відповідного цифрового виводу.

2. Ініціалізація бібліотеки: включення необхідних бібліотек для роботи з датчиками.
3. Зчитування значень температури та вологості: використання вбудованих функцій для отримання даних з датчика, наприклад, `dht.readTemperature()` та `dht.readHumidity()`.
4. Збереження та використання даних: отримані дані можна зберігати у відповідних змінних та використовувати їх у програмі для подальшого аналізу чи виведення на екран.

Щодо особливостей датчика DHT11, його похибка може збільшуватися з часом, і це важливо враховувати при довготривалому використанні. Також додаю, що для більш точних вимірювань може бути корисно використовувати більш точний датчик, такий як DHT22.

Характеристики датчика DHT22 наведені в табл. 2.7

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики сенсора температури DHT22

Тип	Цифровий
Діапазон вимірювання температури	-40 ~80° C
Точність вимірів температури	±0,5° C
Напруга живлення	3,6 - 6 V
Кількість виводів	4
Розміри	1,4 * 1,8 * 0,55 см

Зовнішній вид датчика показано на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Зовнішній вид датчика DHT22

Перевага датчика DHT22 над датчиком DHT11 полягає в тому, що він не втрачає точність вимірювання з часом і має кращу базову точність вимірювання. Виходячи з цих міркувань, для системи був обраний датчик DHT22.

В якості датчика вологості ґрунту для цієї системи був обраний датчик, що складається з двох частин: контактної зонди YL-69 і самого датчика YL-38. Датчик працює шляхом генерування напруги між щупами [33-37]. У випадку сухого ґрунту опір заземлення більший і струм, відповідно, менший. При наявності вологи опір ґрунту буде меншим, а сила струму відповідно більшою. Для цього випадку використовується метод опору. Датчик і щуп з'єднані двома проводами. Крім того, датчик має 4 контакти для підключення до мікроконтролера: земля-GND, живлення-VCC, цифрове значення вологості-D0, аналогове значення-A0.

Щодо сенсора вологості ґрунту YL-69 та YL-38, важливо враховувати, що цей тип датчика використовує резистивний метод для вимірювання вологості, аналогічно до датчика DHT11 або DHT22. У разі таких датчиків слід пам'ятати про можливість окислення щупів або інших проблем, які можуть виникнути з часом і вплинути на точність вимірювань.

Будь ласка, звертайте увагу на експлуатаційні умови, такі як тип ґрунту, умови вологості та температури, оскільки вони можуть впливати на точність вимірювань датчиків в середовищі теплиці. У разі використання відкритого ґрунту, зокрема, слід обережно підходити до вибору та розміщення датчиків.

Зовнішній вигляд датчика показано на рисунку 2.12.

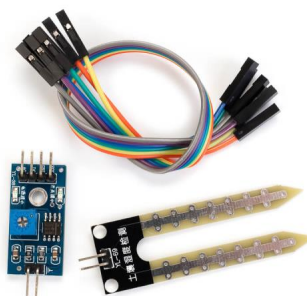


Рисунок 2.12 – датчик вологості ґрунту

Вихід датчика подає аналогове значення, яке передається в мікроконтролер для обробки та аналізу. Мікроконтролер, з свого боку, може зчитувати це аналогове значення за допомогою свого аналогового-цифрового перетворювача (ADC). Зчитане значення може бути подальше оброблене та використане для прийняття рішень в програмі, написаній для мікроконтролера. Технічні характеристики датчика наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики сенсора вологості ґрунту.

Напруга живлення	3,3 V \ 5 V
Споживання енергії	35 mA
Виводи	Цифровий та аналоговий
Розмір модуля	16x30 мм
Розмір щупа	20x60 мм
Вага	7,5 г

2.2.3 Вибір виконавчих механізмів

Розглянемо виконавчі механізми системи автоматизації. Вона складається з модуля реле і насоса з напругою живлення 12V.

Модуль реле використовується для того, щоб усунути недолік мікроконтролера, яким є його вихідний струм невеликої потужності. При вихідному струмі 40 mA неможливо підключити кілька приводів. Вихід один - комутація виконавчого механізму з блоком живлення через силовий транзистор з ізолюючим затвором або за допомогою реле. Оскільки вся система складається з різних модулів і не має власної друкованої плати, вибір припав на так звані «сімейні» релейні модулі. Він простий у використанні і може бути підключений до джерела живлення 12 В. Модуль введення має оптичну пару, тому його можна підключити до мікроконтролера. Основні характеристики наведені в таблиці. 2.8[38].

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики обраного реле

Характеристика	Значення
Напруга живлення	12V
Струм спрацювання реле	20mA
Максимальне навантаження при 220V	10A
Максимальна напруга навантаження AC	250V
Максимальна напруга навантаження DC	30V
Кількість каналів	8
Тип	Електромеханічне реле

Зовнішній вигляд модуля реле показано на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд модуля реле

Вибір насоса. Для постачання води з баку до рослин обрано мембранний насос з напругою живлення 12V. Він перекачує два літри води за хвилину і встановлений під нашим реле. Серед мінусів варто відзначити те, що з таким насосом наша система зможе забезпечити нормальний полив тільки для плодкових культур, таких як помідори чи огірки. Це дає можливість при необхідності замінити реле на більш потужне. Таблиця 2.9 [38] містить перелік властивостей.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики вибраного насоса

Напруга живлення	3V ... 12V
Гідравлічний тиск	0,15 бар
Розмір корпусу	44 мм
Розмір мотора	27 мм
Діаметри вхідної та вихідної трубок	4 мм

Насос даного типу при максимальній напрузі живлення може підіймати струмінь води на 1,5 метри та підтримувати тиск в 0.15 Бар у системі. В розробленій системі використовується вісім насосів даного типу.

Зовнішній вид насоса зображено на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Зовнішній вид насоса типу MI-360N

2.2.4 Блок живлення

Блок живлення забезпечує живлення електроенергією всі компоненти системи автоматизації поливу. Для живлення різних модифікацій потрібно буде використовувати блок живлення відповідної потужності. Для живлення розробленої системи використано блок живлення з характеристиками, наведеними у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Параметри вибраного блоку живлення

Характеристика	Значення
Напруга живлення	~220V
Тип	Імпульсний
Вихідна напруга	12V
Вихідний струм	16,6A

Розміри	19,9 * 9,8 * 4,2 см
Тип охолодження	Пасивне

Напруга живлення 12 В є безпечною для людини і зустрічається досить часто. Другою причиною вибору такої її величини є необхідність зменшення електричної ерозії контактів постійного струму. При більших напругах вона стає досить серйозною проблемою.

При постійному струмі перенесення матеріалу з одного контакту на інший виявляється більш інтенсивним, ніж при змінному струмі, оскільки напрям струму в електричному колі не змінюється. При невеликих значеннях струмів ерозія контактів обумовлена руйнуванням контактного переходу не в самому центрі, а наближено до одного з електродів. Частіше розрив контактного переходу спостерігається в позитивному електроді, який є анодом.

2.2.5 Вибір пристроїв індикації

Екран разом із енкодером виконує роль інтерфейсу між користувачем та системою. У випадку даної системи, LCD-дисплей з розміром 16x2 є достатньою опцією. Характеристики цього дисплея представлені у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Характеристики дисплея

Характеристика	Значення
Напруга живлення	5V
Робоча температура	0 ~ 50° С
Розміри	8 * 3,6 см
Колір підсвітки	Голуба
Колір символів	Білий
Розмір символа	4,35 * 2,95 мм
Формат	16 * 2

Розмір точки	0,5 * 0,5 мм
Інтерфейс	HD44780

Він обмінюється інформацією з мікроконтролером по шині I2C. Шина I2C (Inter-Integrated Circuit) є послідовною шиною даних для зв'язку інтегральних схем. Вона була розроблена фірмою Philips і використовується для з'єднання різних пристроїв, таких як датчики, екрани, модулі пам'яті, з мікроконтролером. Шина I2C є зручним інтерфейсом для обміну даними між пристроями, оскільки вона використовує лише дві лінії (SDA та SCL) для забезпечення зв'язку.

Модуль енкодера використовується для зміни налаштувань і взаємодії з системою. У нашому випадку, він обмінюється інформацією з мікроконтролером за допомогою шини I2C. Енкодер має резистори для правильної роботи, і кожен оберт ручки подає 20 фіксованих позицій. Крім того, на модулі є кнопка, яка активується при натисканні, що розширює можливості введення інформації з більш додатковим функціоналом.

2.4 Висновки до розділу

В даному розділі розглянуто узагальнену структурну схеми системи автоматизації розумної теплиці, показано роль і місце розроблюваної підсистеми автоматизації контролю і регулювання мікроклімату в тепличному господарстві, проведено порівняльний аналіз трьох структурних схем підсистеми автоматизованого поливу і на його основі вибрано схему підсистеми з необхідними показниками. Проведено огляд апаратних засобів для реалізації підсистеми поливу, і вибрано з них, які володіють заданими технічними характеристиками.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Обґрунтування вибору програмної платформи

У попередньому розділі в якості контролера системи автоматичного поливу було обрано дешевий модуль керування Arduino на базі мікроконтролера AVR Atmega 328, який можна програмувати за допомогою мови асемблера AVR або мови скетчу Arduino.

На сьогоднішній день існує значна кількість мов програмування, які використовуються для програмування різних мікропроцесорів, мікроконтролерів та персональних комп'ютерів. Кожен мікроконтролер відповідної фірми має свою власну мову програмування. Ці мови можна розділити на три основні рівні: машинний, монтажний та алгоритмічний високого рівня.

Алгоритмічні мови програмування перебувають на найвищому рівні. Ці мови, також відомі як проблемно-орієнтовані, є мовами вищого рівня і абстрагуються від конкретних машинних команд. Вони включають в себе більш складні оператори, порівняно з основними машинними інструкціями, спрощуючи та прискорюючи процес написання програм в порівнянні з асемблером.. Програми, написані на цих мовах, перекладаються в еквівалентні програми машинного коду. Транслятор перетворює кожен оператор в еквівалентну послідовність машинних команд. [39]

Програмування мікроконтролерів на алгоритмічних мовах високого рівня є зручнішим та простішим, ніж використання машинних кодів чи асемблеру. Важливо враховувати, що вибір програмного середовища значно залежить від конкретного контролера, на якому буде базуватися блок управління виконавчими пристроями.

У даному проекті, оскільки в якості контролера використовується Atmel ATMega 328P, рекомендовано використовувати офіційне програмне

середовище, яке забезпечує підтримку всіх необхідних модулів та дозволяє легко підключати додаткові бібліотеки.

З цих причин було обрано Arduino IDE 1.8.

3.2 Розробка алгоритму роботи системи управління поливом

При розробці алгоритму системи автоматичного поливу теплиці при визначенні рівня деталізації кроків алгоритму враховувалася наявність готових функцій на мові програмування середовища Arduino, що дозволило нам щоб таким чином працювати з алгоритмом у спосіб, який відтворює ці кроки, описані у формі блоку.

Однією з характерних рис скетчів Arduino є постійне повторення функцій циклу. Коли мікроконтролер увімкнено, він ініціалізує глобальні змінні та бібліотеки, які використовуються під час виконання основної функції. Далі контакти налаштовуються на зчитування або виведення даних (введення або виведення) і на підключений пристрій. Виконується робота з енергонезалежною пам'яттю. Також реалізоване скидання налаштувань. Функція `setup` викликається лише раз після запуску. Основна функція `loop` постійно виконує чотири підпрограми. Після цього активується головна функція, яка буде багаторазово виконувати чотири підпрограми. Перший розраховує поворот енкодера. Якщо підсвічування РК-дисплея ще не ввімкнено, викликається функція, відповідальна за його ввімкнення. В іншому випадку він визначає, куди і як повертається ручка кодера, і викликає відповідну функцію. `ChangeSet` використовується для простого обертання. Він виконує вибір параметрів, які потрібно змінити. Коли ручка кодера повертається під час натискання, викликається функція `changeSettings`. Він змінює ті самі налаштування.

Наступний викликаний блок називається `periodTick`. Він перевіряє, чи всі області відповідають умовам активації. Якщо програма дозволяє полив, на відповідний пін надходить сигнал. Як правило, він просто вмикає

механізм виконання. Також є функція його відключення. Вона спровокована подією, яка, в свою чергу, при виконанні конкретних умов, ініціює вимикання сигналу на відповідних виводах.

Остання та завершальна підпрограма - це функція перевірки таймера дисплея. Ця заключна підпрограма перевірки таймера дисплея виконується в умовах, коли підсвітка увімкнена, і настав час для її вимкнення. У такому випадку вона генерує відповідний сигнал і передає його по шині I2C. Це може включати у себе інструкції щодо вимкнення підсвітки дисплея або подібні дії для енергозбереження чи інших цілей.

Опис роботи програми представлений на рисунку 3.1.

3.3 Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення автоматизованої системи поливу втілено у вигляді одного програмного модулю, що реалізує вказаний вище алгоритм управління. Код написано мовою скетчів, а лістинг програми наведений у Додатку Б.

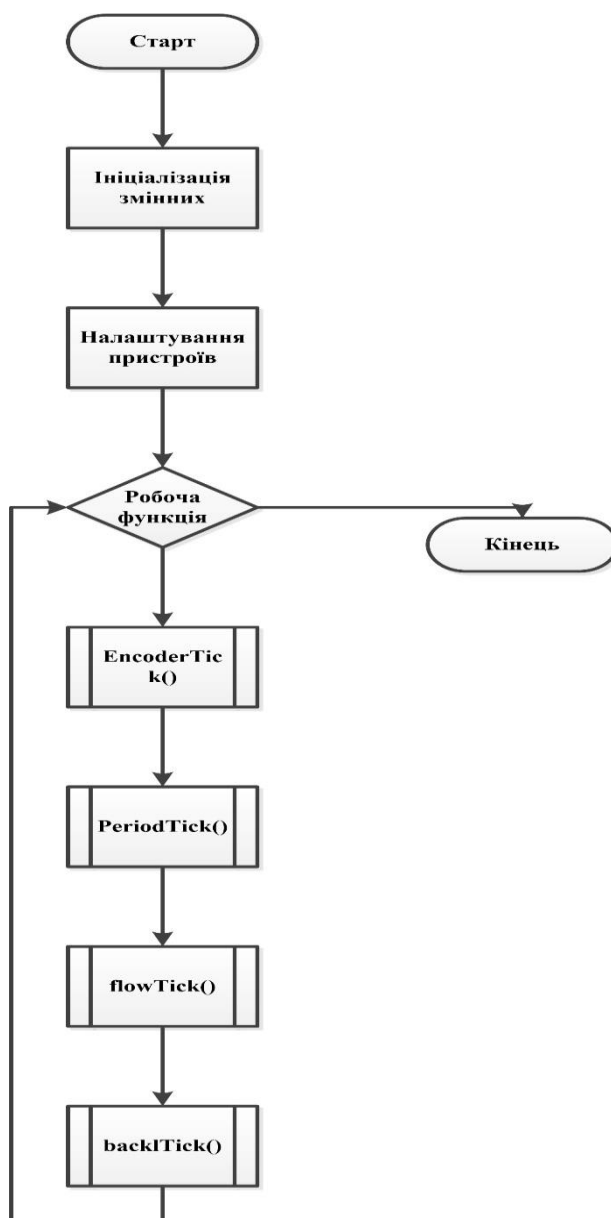
Важливо зауважити, що особливістю скетчів для Arduino є постійне викликання функції `loop`, що дозволяє системі постійно виконувати вказані інструкції та забезпечує неперервну роботу програми. Функція `loop()` у скетчах для Arduino представляє собою безперервний цикл, який викликається автоматично після ініціалізації мікроконтролера. У даному випадку вона викликає чотири підпрограми: `encoderTick()`, `periodTick()`, `flowTick()` та `backlTick()`. Кожна з цих підпрограм відповідає за виконання певних функцій у рамках алгоритму автоматизованої системи поливу.

```
void loop() {  
    encoderTick();  
    periodTick();  
    flowTick();
```

```
backITick();  
}
```

Далі в коді відбувається налаштування пінів для зчитування чи виводу даних, а також для підключених пристроїв. Це важливий етап, де визначаються параметри взаємодії з зовнішніми пристроями, такими як енкодер, реле, датчики тощо. Налаштування пінів визначають, які з них будуть використовуватися для введення (вхідні дані) та виведення (вихідні сигнали), що є критичним для правильної роботи системи поливу.

Рисунок 3.1 – Схема програми автоматизованого поливу



```

for (byte i = 0; i < PUMP_AMOUNT; i++) {
  pump_pins[i] = START_PIN + i;
  pinMode(START_PIN + i, OUTPUT);           // ініціалізація пінів
та вимкнення помп
  digitalWrite(START_PIN + i, !SWITCH_LEVEL);
  pump_state[i] = !SWITCH_LEVEL;
}

```

У цьому коді визначається кількість насосів (PUMP_AMOUNT), їхні піни та ініціалізується їхній стан.

Робота над енергонезалежною пам'яттю (EEPROM) триває. Також реалізовано скидання налаштувань. Функція налаштування, яка виконує все це, викликається лише після запуску та лише один раз. Після цього активується головна функція, яка буде багаторазово виконувати чотири підпрограми. Перший розраховує поворот енкодера. Якщо підсвічування РК-дисплея ще не ввімкнено, викликається функція, відповідальна за його ввімкнення. В іншому випадку він визначає, куди і як повертається ручка кодера, і викликає відповідну функцію.

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  for (byte i = 0; i < PUMP_AMOUNT; i++) {
    pump_pins[i] = START_PIN + i;
    pinMode(START_PIN + i, OUTPUT);           // ініціалізація пінів
та вимкнення помп
    digitalWrite(START_PIN + i, !SWITCH_LEVEL);
    pump_state[i] = !SWITCH_LEVEL;
  }
}

```

Функція відповідає за вибір налаштувань залежно від поточного значення `current_set`. Вона включає різні можливості для зміни налаштувань.

ChangeSet використовується при простому повороті. Вона виконує вибір налаштування для зміни.

```
void changeSet() {  
    switch (current_set) {  
        case 0: drawArrow(0, 0); update_EEPROM();  
        break;  
        case 1: drawArrow(7, 1);  
        break;  
        case 2: drawArrow(10, 1);  
        break;  
        case 3: drawArrow(13, 1);  
        break;  
        case 4: drawArrow(7, 1);  
        break;  
        case 5: drawArrow(10, 1);  
        break;  
        case 6: drawArrow(13, 1);  
        break;  
    }  
}
```

changeSettings - функція, яка викликається при повороті ручки енкодера в натиснутому стані. Змінює різні параметри, такі як час поливу, години, хвилини тощо.

```
void changeSettings(int increment) {  
    if (current_set == 0) {  
        current_pump += increment;  
    }  
}
```

```
    if (current_pump > PUMP_AMOUNT - 1) current_pump =  
PUMP_AMOUNT - 1;
```

```
    if (current_pump < 0) current_pump = 0;
```

```
    s_to_hms(period_time[current_pump]);
```

```
    drawLabels();
```

```
} else {
```

```
    if (current_set == 1 || current_set == 4) {
```

```
        thisH += increment;
```

```
    } else if (current_set == 2 || current_set == 5) {
```

```
        thisM += increment;
```

```
    } else if (current_set == 3 || current_set == 6) {
```

```
        thisS += increment;
```

```
    }
```

```
    if (thisS > 59) {
```

```
        thisS = 0;
```

```
        thisM++;
```

```
    }
```

```
    if (thisM > 59) {
```

```
        thisM = 0;
```

```
        thisH++;
```

```
    }
```

```
    if (thisS < 0) {
```

```
        if (thisM > 0) {
```

```
            thisS = 59;
```

```

    thisM--;
} else thisS = 0;
}
if (thisM < 0) {
    if (thisH > 0) {
        thisM = 59;
        thisH--;
    } else thisM = 0;
}
if (thisH < 0) thisH = 0;
if (current_set < 4) period_time[current_pump] = hms_to_s();
else pumping_time[current_pump] = hms_to_s();
}
}

```

Наступний викликаний блок називається `periodTick`. Він перевіряє, чи всі області відповідають умовам активації. Якщо програма дозволяє полив, на відповідний пін надходить сигнал. Як правило, він просто вмикає механізм виконання.

Також є функція його відключення. Спосіб виклику такий. Так само, коли виконуються певні умови, він вимикає сигнал на відповідному виводі.

Останньою підпрограмою є функція перевірки таймера відображення.

Якщо підсвічування включене і його потрібно вимкнути, воно посилає відповідний сигнал по шині I2C.

Деякі другорядні функції:

1. `s_to_hms` та `hms_to_s` використовуються для конвертації часу між різними форматами.
2. `drawArrow` відповідає за малювання стрілки, яка вибирає налаштування.
3. `update_EEPROM` використовується для запису оновлених даних у енергонезалежну пам'ять.
4. `Temperature` та `Humidity` відповідають за вимір температури повітря та вологості ґрунту відповідно.

Ці функції спільно створюють основну логіку автоматизованої системи поливу на мікроконтролері Arduino.

3.4 Результати тестування програм

Результати тестування програмного забезпечення представимо у вигляді інформації про виконання операцій зрошувального обладнання та відобразимо на відповідному моніторі розробленої системи. Після першого запуску система розподіляє піну по всіх пристроях і відображає номер насоса, період часу, протягом якого відбувалося зрошення, і тривалість зрошення (Малюнок 3.2).



Рисунок 3.1 – Вид на дисплеї при першому запуску системи.

Далі, щоб вибрати помпу та встановити для неї параметри, потрібно, перебуваючи в меню обраної помпи, спрямувати стрілку на відповідний

параметр – період (Prd) або час (t), що визначає тривалість поливу, тобто час, протягом якого працюватиме pompa. Після того як стрілка опиниться на потрібному параметрі, необхідно натискати на енкадер, щоб увійти в режим налаштування. Після цього обертання ручки енкадера вліво або вправо дозволяє встановити необхідне значення: вліво – зменшити, вправо – збільшити. Результати налаштувань відображаються на рисунку 3.3.

Як видно з зображення 3.3, обертання ручки енкадера вліво призводить до скорочення періоду. Максимально можливе значення періоду – одна година або 60 хвилин. За необхідності можна змінити одиниці часу перед прошиванням, замінивши хвилини на години для періоду (інтервал між поливами) та секунди на хвилини для тривалості поливу (часу, протягом якого pompa качає воду).



Рисунок 3.3 – Результат після налагодження періоду

Такий самий процес матиме місце із часом, протягом якого здійснюється полив. (рис 3.4).



Рисунок 3.4 – Налаштування часу поливу

Також доступна можливість індивідуального налаштування кожної помпи (насоса), яке відображено на малюнку 3.5.



Рисунок 3.5– Налаштування окремих насосів

В разі необхідності всі налаштування можна скинути, натиснувши кнопку енодера. Натискання кнопки призведе до перезавантаження контролера та скидання всіх налаштувань до заводських, як показано на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Вид дисплея після скидання налаштувань.

3.5 Інструкція з прошивки модуля Arduino

Для забезпечення готовності контролера до роботи, слід виконати такі етапи:

- 1) Запустивши скетч в Arduino ID вибрати в ній програма тор, контролер та мікросхему, що в нашому випадку відповідає USMasр, контролеру Arduino NANO та мікросхемі АТmega 328р, як показано на рис 3.6.
- 2) Натиснувши клавішу завантаження, завантажити скетч в плату Arduino. Після чого контролер буде працювати від блоку живлення.

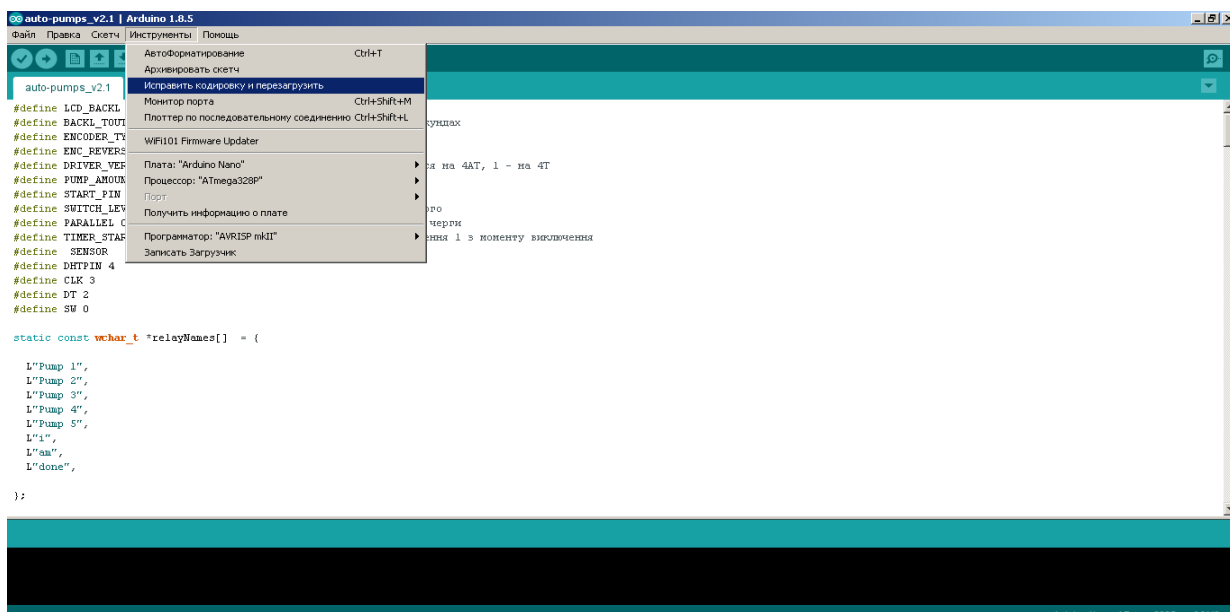


Рисунок 3.6 – Екран середовища Arduino з прикладом налаштувань для прошивки.

3.6 Висновки до розділу

В даному розділі з огляду на використання керуючого модуля Arduino Nano вибрано програмну платформу Arduino IDE 1.8 для розробки програмного забезпечення автоматизованої системи поливу, розроблено алгоритм управління підсистемою автоматизованого поливу, а також розроблено програму для його реалізації. розроблено інструкцію користувача програмного забезпечення. Результати проведеного машинного експерименту показали працездатність розробки.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота з розробки та дослідження «Автоматизації процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства » відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства» є оцінювання науково-технічного рівня та

рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 4.1 [Козловський, Лесько, Кавецький].

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту	Технічні та споживчі властивості продукту	Технічні та споживчі властивості продукту на	Технічні та споживчі властивості продукту	Технічні та споживчі властивості продукту
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					

8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовують
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	3	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	3	2

3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	2	3	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	2	2
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	31	34	33
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	32,7		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 4.3 [Козловський, Лесько, Кавецький].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів $СБ_c$, розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства» становить 32,7 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розраховуємо за формулою [Кавецький практикум 2016]:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (4.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним

шляхом і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (4.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (4.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі

отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектовані пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Кількість передумовлених режимів роботи	од.	4	8	2	0,2
Точність регулювання параметрів	%	85	95	1,12	0,3
Кількість регульованих параметрів клімату	од.	2	4	2	0,15
Споживана потужність блоку контролю	Вт	320	80	4	0,25
Зручність переналаштувань системи контролю	бал	4	8	2	0,1

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2 \cdot 0,2 + 1,12 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,1 = 2,24.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,24 рази.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату

тепличного господарства », під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» включається оплата основної заробітної плати завідувачам відділів, лабораторій, дільниць і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технікам, креслярам, копіювачам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та доп. Заробітна плата та інша оплата праці працівників, безпосередньо зайнятих виконанням окремих тем, розраховується як звичайна заробітна плата, відрядні розцінки, розцінки відповідно до діючої в організації системи оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 16340,00 \cdot 32 / 22 = 23767,27 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	16340,00	742,73	32	23767,27
Інженер-розробник АСУ	16200,00	736,36	32	23563,64
Консультант (агроном тепличного господарства)	15200,00	690,91	8	5527,27
Лаборант	6845,00	311,14	32	9956,36

Всього	62814,55
--------	----------

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства » розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) **[Козловський, Лесько, Кавецький]**;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,50 \cdot 1,35 / (22 \cdot 8) = 77,09 \text{ грн.}$$

$$Z_{p1} = 77,09 \cdot 8,00 = 616,70 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Розміщення обладнання	8,00	4	1,50	77,09	616,70
Інсталяція програмного забезпечення	5,10	5	1,70	87,37	445,57
Підготовка автоматизованого робочого місця проектувальника	4,20	2	1,10	56,53	237,43
Встановлення компонентів системи контролю мікроклімату теплиці	24,00	4	1,50	77,09	1850,11
Налаштування режимів роботи	5,20	3	1,35	69,38	360,77
Контроль процесу випробування та протікання експерименту	4,20	5	1,70	87,37	366,94
Всього					3877,53

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.7)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (62814,55 + 3877,53) \cdot 10 / 100\% = 6669,21 \text{ грн.}$$

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Розмір заробітної плати наукових співробітників і працівників обчислюється у розмірі 22% від суми основної та додаткової заробітної плати наукових співробітників і працівників, яка розраховується таким чином:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{одд}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.8)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (62814,55 + 3877,53 + 6669,21) \cdot 22 / 100\% = 16139,48 \text{ грн.}$$

4.3.3 Сировина та матеріали

У графу «Сировина» включаються витрати на придбання сировини, основних і допоміжних матеріалів, інструментів, пристосувань та інших методів роботи і проектів у сторонніх підприємств, установ і організацій для предметних досліджень. «Автоматизація процесів контролю та регулювання клімату за економічними параметрами теплиці».

Вартість матеріалу (M) розраховується за вартістю, розрахованою окремо для кожного виду матеріалу за такою формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej} \quad (4.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 2,0 \cdot 215,00 \cdot 1,02 - 0 \cdot 0 = 438,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний	215,00	2,0	0	0	438,60
Компакт-диски (CD)	12,00	4,0	0	0	48,96
Офісна тека	125,00	3,0	0	0	382,50

FIX-120					
Канцелярські товари (ручки, файли, бокси)	201,00	2,0	0	0	410,04
Тонер для принтера	850,00	0,1	0	0	86,70
Вода технічна, м3	15,00	0,2	0	0	3,06
Фум-стрічка, м	3,40	0,8	0	0	2,77
Наповнювач (імітатор ґрунту)	8,50	100,0	0	0	867,00
Труба ПНД-10 (d-15)	90,00	3,5	0	0	321,30
Труба вентиляційна ПП (d-120)	62,00	3,5	0	0	221,34
Плівка поліетиленова, м2	9,20	40,0	0	0	375,36
Термокабель, м	125,00	8,0	0	0	1020,00
Всього					4177,63

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Виходячи з номенклатури компонентів розраховуємо витрати (K_B) компонентів, які використовуються під час НДР за темою «Автоматизація процесів контролю та регулювання параметрів клімату в теплицях» за такою формулою:

$$K_B = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.10)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_e = 1 \cdot 320,00 \cdot 1,01 = 323,20 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
----------------------------	----------------	--------------------	-----------

Каркас моделі теплиці	1	320,00	323,20
Регулятор тиску	1	68,00	68,68
Вентилятор	2	350,00	707,00
Фільтр повітряний	2	15,00	30,30
Клапан електромагнітний	1	123,00	124,23
Розпилювач	4	42,00	169,68
Дисплей	1	1250,00	1262,50
Датчик вологості	2	45,00	90,90
Датчик температури	2	68,00	137,36
Мікроконтролер Arduino NANO	1	275,00	277,75
Комплект кабелів	2	126,00	254,52
Насос	1	654,00	660,54
Джерело живлення	1	322,00	325,22
Блок керування системи моніторингу	1	1890,00	1908,90
Лампи спектральні	2	88,00	177,76
Корпус	1	689,00	695,89
Плата електронних компонентів	1	240,00	242,40
Всього			7456,83

4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) техніки» включаються витрати на виготовлення та придбання спеціального обладнання, необхідного для проведення досліджень, а також витрати на його проектування, виготовлення, транспортування, монтаж і монтаж.

Балансова вартість спецтехніки розраховується так:

$$, \quad (4.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{пр.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$V_{спец} = 5820,00 \cdot 1 \cdot 1,01 = 5878,20 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Програматор цифровий	1	5820,00	5878,20
Метрологічний комплекс ОУQ-1230FA	1	14679,00	14825,79
Всього			20703,99

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» включаються витрати на розроблення та придбання спеціального програмного забезпечення та програмного забезпечення (програм, алгоритмів, баз даних), необхідних для проведення досліджень, а також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансова вартість програмного забезпечення розраховується за такою формулою:

$$V_{прог} = \sum_{i=1}^k C_{инрг} \cdot C_{прог.i} \cdot K_i, \quad (4.12)$$

де $C_{инрг}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{прог.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$V_{прог} = 4328,00 \cdot 1 \cdot 1,01 = 4371,28 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет MATLAB SIMULINK	1	4328,00	4371,28
Прикладне програмне	1	4692,00	4738,92

забезпечення моделювання процесів			
Arduino IDE 1.8	1	2899,00	2927,99
Всього			12038,19

4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{в}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (4.13)$$

де $Ц_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{\text{в}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{\text{обл}} = (46599,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 3883,25 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі ПК ASUS i5-DJK-0002415	46599,00	2	2	3883,25
Обладнання виводу інформації Лазерний принтер EPSON LaserJet Pro M102w c Wi-Fi	7599,00	4	2	316,63

(G3Q35A)				
Робоче місце інженера-дослідника спеціалізоване	7745,00	5	2	258,17
Офісна оргтехніка	7799,00	5	2	259,97
Приміщення лабораторії досліджень	645000,00	25	2	4300,00
ОС Windows 11	6380,00	2	2	531,67
Пакет Microsoft Office 2019	5864,00	2	2	488,67
Всього				10038,34

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{внi}}{\eta_i}, \quad (4.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

$K_{внi}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{внi} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,23 \cdot 240,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 414,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі ПК ASUS i5-DJK-0002415	0,23	240,0	414,00
Обладнання виводу інформації Лазерний	0,12	3,2	2,88

принтер EPSON LaserJet Pro M102w с Wi-Fi (G3Q35A)			
Робоче місце інженера-дослідника спеціалізоване	0,13	240,0	234,00
Офісна оргтехніка	0,72	1,4	7,56
Програматор цифровий	0,03	12,0	2,70
Вентилятор	0,02	65,0	9,75
Насос	0,10	65,0	48,75
Лампи спектральні	0,15	65,0	73,13
Метрологічний комплекс ОУQ-1230FA	0,30	65,0	146,25
Експериментальний блок системи управління	0,10	65,0	48,75
Всього			987,77

4.3.9 Службові відрядження

Стаття «Відрядження» для наукової роботи на тему «Автоматизація процесів контролю та регулювання параметрів тепличного клімату» охоплює витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за цивільно-правовими договорами. По суті, аспірантами є займаються дослідженнями, пов'язаними з випробуваннями машин і розробок обладнання, відрядженнями тощо, а також витрати на відрядження на наукові конференції, наради та конференції, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за пунктом "відрядження" розраховуються у розмірі 20...25% основної заробітної плати наукових працівників і працівників із розрахунку:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (62814,55 + 3877,53) \cdot 20 / 100\% = 13338,42 \text{ грн.}$$

4.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуються у розмірі 30...45% основної заробітної плати наукових працівників і робітників, яка розраховується таким чином:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 35\%$.

$$B_{cn} = (62814,55 + 3877,53) \cdot 35 / 100\% = 23342,23 \text{ грн.}$$

4.3.11 Інші витрати

Стаття «Інші витрати» включає витрати, які не відображені у визначених статтях витрат і безпосередньо відносяться до витрат на дослідження.

Витрати за «іншими витратами» розраховуються виходячи з 50...100% основної заробітної плати наукових працівників і працівників, розрахованої за такою формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.17)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 50\%$.

$$I_e = (62814,55 + 3877,53) \cdot 50 / 100\% = 33346,04 \text{ грн.}$$

4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» включаються: витрати, пов'язані з організаційним управлінням; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) і підвищення кваліфікації персоналу; витрати, пов'язані з наймом робочої сили; витрати на оплату банківських послуг; витрати, пов'язані з до виробництва Витрати,

пов'язані з розробкою, плата за наукову та технологічну інформацію, плата за рекламу тощо.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$, \quad (4.18)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (62814,55 + 3877,53) \cdot 100 / 100\% = 66692,08 \text{ грн.}$$

Вартість виконання науково-дослідної роботи за темою «Автоматизація процесів контролю та регулювання клімату тепличних господарств» розраховується як сума всіх попередніх статей витрат за такою формулою:

$$. \quad (4.19)$$

$$B_{заг} = 62814,55 + 3877,53 + 6669,21 + 16139,48 + 4177,63 + 7456,83 + 20703,99 + 12038,19 + 10038,34 + 987,77 + 13338,42 + 23342,23 + 33346,04 + 66692,08 = 281622,27 \text{ грн.}$$

Загальна вартість ЗВ для виконання науково-дослідної (науково-технічної) роботи та реєстрації її результатів розраховується так:

$$, \quad (4.20)$$

де α – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, приймемо $\alpha = 0,9$.

$$ЗВ = 281622,27 / 0,9 = 312913,63 \text{ грн.}$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В умовах ринку загальним позитивним результатом, який може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження тієї чи іншої технологічної розробки, є збільшення чистого прибутку потенційного інвестора.

Комерціалізація результатів досліджень за темою «Автоматизація процесів контролю та регулювання параметрів тепличного клімату» передбачається протягом 4 років після впровадження на ринок.

У цьому випадку майбутні економічні ефекти будуть формуватися на основі таких даних:

– збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	750	1500	1700	900

– кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, приймемо 14500 осіб;

C_0 – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, приймемо 2800,00 грн;

– зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, приймемо 460,80 грн.

Можливий приріст чистого прибутку потенційного інвестора на рік протягом чотирьох років, протягом яких очікуються позитивні результати від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічних розробок, розраховується за такою формулою [Козловський, Лесько, Кавицький]:

$$, \quad (4.21)$$

де ρ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\rho = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 35\%$;

τ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році $\tau = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (460,80 \cdot 14500,00 + 3260,80 \cdot 750) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2174190,31 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (460,80 \cdot 14500,00 + 3260,80 \cdot 2250) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3339323,06 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (460,80 \cdot 14500,00 + 3260,80 \cdot 3950) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 4659806,85 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (460,80 \cdot 14500,00 + 3260,80 \cdot 4850) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 5358886,50 \text{ грн.}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i}, \quad (4.22)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,28$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III &= 2174190,31/(1+0,28)^1 + 3339323,06/(1+0,28)^2 + 4659806,85/(1+0,28)^3 + \\ &+ 5358886,50/(1+0,28)^4 = 1698586,18 + 2038161,05 + 2221969,06 + 1996340,79 = \\ &= 7955057,08 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.23)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв} = 2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 312913,63 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 312913,63 = 625827,27 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = III - PV \quad (4.24)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 7955057,08 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 625827,27 грн.

$$E_{abc} = ПП - PV = 7955057,08 - 625827,27 = 7329229,81 \text{ грн.}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_e , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_e = T_{жс} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}] - 1, \quad (4.25)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 7329229,81 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 625827,27 грн;

$T_{жс}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, що включає час від початку її розробки до моменту отримання позитивних результатів від впровадження, становить 4 роки. Період охоплює всі етапи розробки, тестування, вдосконалення та впровадження в практичне застосування, а також час, необхідний для отримання позитивних ефектів від її використання чи реалізації на ринку.

$$E_e = T_{жс} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}] - 1 = (1 + 7329229,81 / 625827,27)^{1/4} = 0,89.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

:

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.26)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $=0,12$;

– показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,36.

$= 0,12+0,36 = 0,48 < 0,89$, отже мінімальна внутрішня дохідність нижча, ніж внутрішня економічна дохідність інвестицій , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства » доцільно.

Період окупності інвестицій які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$, \quad (4.27)$$

де E_e – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,89 = 1,13 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що показує на високу комерційну привабливість цієї розробки. такі показники можуть зацікавити зацікавленого інвестора та спонукати його фінансувати впровадження та виходити з цією розробкою на ринок.

Висновки до розділу

Згідно з проведеними дослідженнями, рівень комерційного потенціалу розробки, яка застосовується «Автоматизація процесів контролю і регулювання параметрів клімату теплового господарства», становить 32,7 бала. Це свідчить про високу комерційну значимість цих досліджень, рівень комерційного потенціалу розвитку перевищує середній показник.

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,24 рази.

Також час повернення інвестицій становить 1,13 роки, що менше за 3 роки, і це свідчить про те, що науково-технічна розробка є комерційно привабливою. Це може заохотити значного інвестора фінансувати впровадження цієї розробки та виведення її на ринок.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, були отримані такі результати.

В першому розділі визначено суть технічної проблеми, що виникла на сучасному етапі розробки систем автоматизації тепличних господарств, проведено аналіз характеристик теплиці як об'єкта автоматизації і встановлено вимоги до його ефективного функціонування. Розглянуто принцип дії існуючих систем автоматизації процесу контролю і регулювання клімату в тепличних господарствах. Виконано техніко економічне обґрунтування задачі, та визначено вимоги до розроблюваної системи автоматичного поливу:

В другому розділі розглянуто узагальнену структурну схеми системи автоматизації розумної теплиці, показано роль і місце розроблюваної підсистеми автоматизації контролю і регулювання мікроклімату в тепличному господарстві, проведено порівняльний аналіз трьох структурних схем підсистеми автоматизованого поливу і на його основі вибрано схему підсистеми з необхідними показниками. Проведено огляд апаратних засобів для реалізації підсистеми поливу, і вибрано з них, які володіють заданими технічними характеристиками.

В третьому розділі роботи з огляду на використання керуючого модуля Arduino Nano вибрано програмну платформу Arduino IDE 1.8 для розробки програмного забезпечення автоматизованої системи поливу, розроблено алгоритм управління підсистемою автоматизованого поливу, а також розроблено програму для його реалізації. розроблено інструкцію користувача програмного забезпечення. Результати проведеного машинного експерименту показали працездатність розробки.

В економічній частині роботи проведено розрахунки економічної ефективності від впровадження результатів виконаної технічної розробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту/ Гіль Л. С., Пашковський А. І., Суліма Л. Т. – Вінниця: Нова книга, 2008 – 368 с.
2. Польовий А.М. Основи агрометеорології: Конспект лекцій / Польовий А. М., Божко Л. Ю., Вольвач О. В.– Одеса: Вид-во «ТЭС», 2004.– 150 с.
3. Білогубова, О. М. Сучасне овочівництво закритого і відкритого ґрунту: навч. посібник для аграр. навч. закладів I-IV рівнів акредитації зі спец. 1310 «Агрономія» / О. М. Білогубова, А. М. Васільєв, Л. С. Гіль та інш. – Житомир : ПП «Рута», 2007. – 532 с.
4. Системи управління мікрокліматом теплиці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fito-system.ru/climate-systems>
5. Системи АСУ в тепличному господарстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://elektrocar.narod.ru/doc/4.pdf>
6. Системи автоматизації теплиць [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://automation.pro/model-projects/sistemy-avtomatizacii-teplic>
7. Автоматизація технологічних процесів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://studopedia.ru/3_68128_lektsiya-avtomatizatsiya-tehnologicheskikhprotsessov.html
8. Оснащення тепличних конструкцій [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://parnikiteplicy.ua/ustrojstvo/avtomatizaciya.html>
9. Світлова культура рослин в теплицях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.greenhouses.ru/Svetokultura>
10. Технологічний комплекс для вирощування салату і зелених культур методом гідропоніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://schetelig.ua/equipment-and-technology/salatnye-linii/salatnye-linii/>
12. Автоматичне регулювання споживання теплової енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.aiss33.ua/other_fotos/auto_regulate.pdf/ 1](http://www.aiss33.ua/other_fotos/auto_regulate.pdf/)

13. Системи електричного досвічування в теплицях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.greenhouses.ru/Sistemy-dosvechivaniya>
14. Приліпка О. В. Інноваційний розвиток ефективного функціонування підприємств закритого ґрунту: теорія, методологія, практика. монографія. [Текст] –К. : ПП Р.К. Майстер-принт, 2008. –336 с.
15. Курдюмов Н., Малишевський К. Розумна теплиця, Видавництво: Владіс, 2007.-19 с.
- 16 Jiaqiang Y. An Intelligent Greenhouse Control System / Y.Jiaqiang, J.Yulong, G. Jian // *Telkomnika*. – 2013. – Т. 11, № 8. – С. 4627–4632.
17. Віхрова Л.Г. Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці / Л.Г. Віхрова, Т.О. Прокопенко // *Machinery in agricultural production, industry machine building, automation*. – 2016. – № 29. – С. 168–172.
18. Сучасні теплиці і парники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mexalib.com/read/486014>
19. Державні будівельні норми України. Будинки і споруди. Теплиці та парники : ДБН В.2.2-2-95 / Державний комітет України у справах містобудування і архітектури. – Київ, 1995. – 15 с.
20. 3. Ключко Ю.І. Розробка інтелектуальної системи керування освітленням “розумного будинку” / Ю.І. Ключко, Б.М. Злотенко // *Технології та дизайн*. – 2015. – № 2. – С. 36-42.
21. Автоматизація процесів управління мікрокліматом тепличного блоку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.2d3d.ru/2d-galereia/automatika/465-avtomatizaciya-processov-upravleniyamikroklimatom-teplichnogobloka.html>
22. Автоматизація теплиць, квіткових господарств і оранжерей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://poltraf.ua/publications/otrasli_promyshlennosti/avtomatizatsiya_teplic_ozherey/ 60 БР.44.03.04.139.2017

23. Katkov, A.Ju., Polzunov, I.V. and Petrjanin, D.L. (2014), «Problemy postroeniya sistem upravleniya mikroklimatom teplic», *Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah*, No. 17, pp. 460–463.

24. Сучасна теплиця: автоматизована система [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://vseoteplicah.ru/instrumenty/avtomatizaciya-teplicy-svoimirukami.html>.

25. Денисов С.Ю. Устройство для автоматического полива растений на платформе Arduino / С.Ю. Денисов, Е.Е. Симаков // Юный ученый. – 2017. – №3. – С. 40-45.

26. Petin, V.A. (2014), “Proyekty s ispol'zovaniyem kontrollera Arduino” [Projects using the Arduino controller], BHVPetersburg, Sankt-Petersburg, 400 p

27. Massimo B. Getting Started with Arduino, 2nd Edition / B. Massimo. – MakerMedia, 2011. – 130 p.

28. Jones D. Arduino: Simple and Effective Strate giesto Learn Arduino Programming / D. Jones. – Amazon Digital Services LLC, 2017. – 81 p.

29. Leong K.C. Arduino Web-Control system for Broiler house / K.C. Leong. – Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2014. – 70 p.

30. Oxer J. PracticalArduino: Cool Projects for Open Source Hardware. / J. Oxer, H. Blemings. – Apress, 2009. – 445 p.

31. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Науково-навчальне видання. В 3 томах. Том 1/ Вуйцин В.В., Гонти З.Ю., Григор'єв В.В., Калита В.М., Мельник О.М. За редакцією З.Ю. Гонти, – Львів: Ліга-Прес, 2002. – 475с.

32. Лубко Д.В. Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11 та їх порівняльна характеристика / Д.В. Лубко, Ю.О. Литвин // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2017. – №32 (1254). – С. 62-67. - <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.32.10>.

33. Mathew J. Relative humidity sensor based on an agarose-infiltrated photonic crystal fiber interferometer / J. Mathew, Y. Semenova, G. Farrell // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. – 2012. – Vol. 18. – 52 p.

34. Бакало О.О. Дослідження автоматизованого контролю вологості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в теплиці / О.О. Бакало, Ю.М. Пилипенко // Технології та дизайн. – 2018. – № 3. – С. 1-9.

35. Haas J. Soil moisture modelling using TWI and satellite imagery in the Stockholm region / J. Haas. – Stockholm: The TRITA-GIT, 2010. – 103 p.

36. Venugopalan T. Long-period grating-based humidity sensor for potential structural health monitoring / T. Venugopalan, T. Sun // Grattan Sensors and Actuators A: Physical, 2008. – Vol. 148, No. 1. – P. 57-62

37. Створення мікроелектронних датчиків нового покоління для інтелектуальних систем / [Я.І.Лепіх, Ю.О.Гордієнко, С.В.Дзядевичта, А.О.Дружинін, В.О.Романов]. –Одеса: Астропринт, 2010. –289 с.

38. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Виконання електричних схем згідно ЄСКД: Довідник. - М.: Видавництво стандартів, 2012.- 325с.

39. Биков М.М. Мікропроцесорні засоби систем управління. Лабораторний практикум для студентів спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / М.М. Биков, Т.В. Гришук, В.В. Ковтун. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 125 с.

40. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

41. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.

42. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

ДОДАТКИ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарства»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ КСУ, ФІТА
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

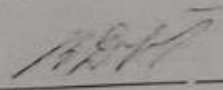
Оригінальність 89,9% Схожість 11,1%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

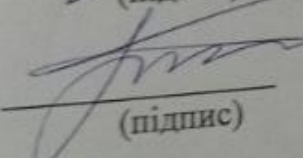
Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

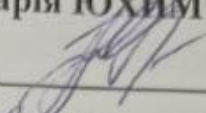
Особа, відповідальна за перевірку  Володимир ДУБОВОЙ
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Руслан ДАНИЛЕНКО
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Микола БИКОВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

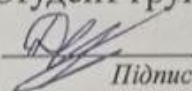
ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. зав. кафедри КСУ
д.т.н., проф. Марія ЮХИМЧУК


«06» лютого 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
«Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату
тепличного господарства»

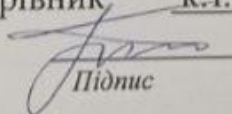
08.33.МКР.001.00.000 ТЗ

Студент групи 2 АКІТ-22 м


Підпис

Руслан ДАНИЛЕНКО
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., проф. каф. КСУ


Підпис

Микола БИКОВ
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Вінниця 2023

1. Назва та галузь застосування

1.1. Назва - Автоматизація процесу контролю і регулювання параметрів клімату тепличного господарств.

1.2. Галузь застосування – системи управління і автоматики, інформаційні технології.

2. Підстава для проведення розробки.

Тема магістерської дипломної роботи затверджена наказом по ВНТУ № 247 від “ 28 ” 09 2023 р.

3. Мета та призначення розробки.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності виробництва овочевих культур в тепличних господарствах за рахунок розробки для них автоматизованої системи поливу.

4. Вихідні дані для проведення розробки.

Магістерська кваліфікаційна робота виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

1. Биков М.М. Мікропроцесорні засоби систем управління. Лабораторний практикум для студентів спеціальності 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології / М.М. Биков, Т.В. Гришук, В.В. Ковтун. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 125 с.
2. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту/ Гіль Л. С., Пашковський А. І., Суліма Л. Т. – Вінниця: Нова книга, 2008 – 368 с.
3. Салахова А. А. Arduino. Повний навчальний курс. Від гри до інженерного проекту // Салахова А. А. – Біном. Лабораторія знань – ISBN 978-5-00101-250-4
4. Польовий А.М. Основи агрометеорології: Конспект лекцій./ Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В.– Одеса: Вид-во «ТЭС», 2004. - 150 с.

5. Вимоги до розробки.

5.1. Перелік головних функцій:

- зчитування даних з датчиків;
- обробка інформації про параметри мікроклімату теплиці;
- програмне регулювання процесом графіку поливу рослин.

5.2. Основні технічні вимоги до розробки.

5.2.1. Вимоги до програмної платформи:

- WINDOWS 7\8;
- Arduino IDE.

5.2.2. Умови експлуатації системи:

- робота на стандартних ПЕОМ в приміщеннях зі стандартними умовами;
- можливість цілодобового функціонування системи;
- текст програмного забезпечення системи є цілком закритим.

6. Економічні показники

До економічних показників входять:

- термін окупності не більше - років;
- розмір капіталовкладень не більше - грн.;
- економічний ефект не менше _ грн.;
- рентабельність не менше __ %;
- інші економічні переваги у порівнянні з аналогами.

7. Стадії та етапи розробки.

7.1 Пояснювальна записка:

- | | | |
|---|--|----------------|
| 1 | Аналіз об'єкта автоматизації і техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки | 02.10.2023 р. |
| 2 | Постановка задачі і розробка технічного завдання | 04.10. 2023 р. |
| 3 | Розробка структури системи автоматизації і вибір технічних і програмних засобів | 20.10. 2023 р. |
| 4 | Розробка програми реалізації моделі і машинний експеримент | 15.11. 2023 р. |
| 5 | Підготовка економічної частини | 22.11. 2023 р. |
| 6 | Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації | 30.11. 2023 р. |
| 7 | Апробація результатів дослідження | 2.12.2023 р. |
| 8 | Публікації | 09.12.2023 р. |
| 9 | Захист МКР | 19.12. 2023 р. |

7.2 Графічні матеріали:

- | | | |
|---|---|---------------|
| 9 | Графічні матеріали: | |
| | Схема алгоритму управління | 01.11.2023 р. |
| | Схема взаємодії програм | 01.11.2023 р. |
| | Схема автоматизації структурна | 03.11.2023 р. |
| | Схема електрична функціональна | 03.11.2023 р. |
| | Зовнішній вигляд системи управління | 06.11.2023р. |
| | Модуль управління системою автоматичного поливу | 10.11.2023 р. |

8. Порядок контролю і приймання.

- 8.1. Хід виконання магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником роботи, консультантами з економічної частини. Рубіжний контроль провести до «10» грудня 2023 р
- 8.2. Атестація проекту здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи провести до «12» грудня 2023 р.
- 8.3. Підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи приймається на засіданні ДЕК. Захист магістерської кваліфікаційної роботи провести «19» грудня 2023 р.

Додаток В

Лістинг програми автоматизації поливу

```
#define LCD_BACKL 1 // автовідключення дисплея 1 - дозволено
#define BACKL_TOUT 60UL // таймаут відключення дисплея в
секундах
#define ENCODER_TYPE 0 // тип енкодера
#define ENC_REVERSE 0 // 1 - реверс енкодера, 0 - немає
#define DRIVER_VERSION 1 // 0 - маркування драйвера закінчується
на 4AT, 1 - на 4T
#define PUMP_AMOUNT 8 // кількість pomp, підключених через реле
#define START_PIN 5 // підключені з піна
#define SWITCH_LEVEL LOW // реле: 1 - високого рівня 0 - низкого
#define PARALLEL 0 // 1 - паралельний полив, 0 - полив в порядку
черги
#define TIMER_START 0 // 0 - рахуємо період з моменту включення
1 з моменту виключення
#define SENSOR A7
#define DHTPIN 4
#define CLK 3
#define DT 2
#define SW 0

static const wchar_t *relayNames[] = {

    L"Pump 1",
    L"Pump 2",
    L"Pump 3",
    L"Pump 4",
    L"Pump 5",
```

```
L"i",
L"am",
L"done",

};

#include "DHT.h"
#include "GyverEncoder.h"
#include "EEPROMex.h"
#include "EEPROMVar.h"
#include "LCD_1602_RUS.h"

#if (DRIVER_VERSION)
LCD_1602_RUS lcd(0x27, 16, 2);
#else // Вибір адреси дисплея по шині I2C
LCD_1602_RUS lcd(0x3f, 16, 2);
#endif
DHT dht(DHTPIN, DHT22);

uint32_t pump_timers[PUMP_AMOUNT] ;
uint32_t pumping_time[PUMP_AMOUNT] ;
uint32_t period_time[PUMP_AMOUNT];
boolean pump_state[PUMP_AMOUNT];
byte pump_pins[PUMP_AMOUNT];

int8_t current_set;
int8_t current_pump;
boolean now_pumping;
```

```

int8_t thisM=1;
int8_t thisH, thisS;
long thisPeriod;
float t;

boolean backlState = true;
uint32_t backlTimer;

Encoder enc1(CLK, DT, SW);
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  for (byte i = 0; i < PUMP_AMOUNT; i++) {
    pump_pins[i] = START_PIN + i;
    pinMode(START_PIN + i, OUTPUT); //
    ініціалізація пінів та вимкнення помп
    digitalWrite(START_PIN + i, !SWITCH_LEVEL);
    pump_state[i] = !SWITCH_LEVEL;
  }

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();

  enc1.setType(ENCODER_TYPE);
  if (ENC_REVERSE) enc1.setDirection(REVERSE);

```



```

if (!digitalRead(SW)) {           // якщо натиснутий енкодер скинути
налаштування
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Reset settings");
    for (byte i = 0; i < 500; i++) {
        EEPROM.writeLong(i, 0);
    }
}
while (!digitalRead(SW));
lcd.clear();                      // очищуємо дисплей після відпускання кнопки
енкодера

```

```

if (EEPROM.read(1023) != 5) {
    EEPROM.writeByte(1023, 5);           //Перший запуск

```

```

    for (byte i = 0; i < 500; i += 4) {
        EEPROM.writeLong(i, 0);
    }
}

```

```

for (byte i = 0; i < PUMP_AMOUNT; i++) {
    period_time[i] = EEPROM.readLong(8 * i);
    pumping_time[i] = EEPROM.readLong(8 * i + 4);
}

```

```

drawLabels();
changeSet();
}

```

```

void loop() {

```

```

encoderTick();
periodTick();
flowTick();
backlTick();
}

void backlTick() {
  if (LCD_BACKL && backlState){
    if (millis() - backlTimer >= BACKL_TOUT * 1000) {
      backlState = false;
      lcd.noBacklight();
      Serial.println("Back light is off");
    }
  }
}

void backlOn() {
  backlState = true;
  backlTimer = millis();
  lcd.backlight();
  Serial.println("Back light is on");
}

void periodTick() {
  for (byte i = 0; i < PUMP_AMOUNT; i++) {
    if (period_time[i] > 0 && millis() - pump_timers[i] >= period_time[i] *
1000 && (pump_state[i] != SWITCH_LEVEL) && !(now_pumping *
!PARALLEL) && Humidity () && Temperature ())
    {

```

```
pump_state[i] = SWITCH_LEVEL;
digitalWrite(pump_pins[i], SWITCH_LEVEL);
pump_timers[i] = millis();
now_pumping = true;
Serial.print("pump # ");
Serial.print(i);
Serial.println(" started");
}
}
}

void flowTick() {
  for (byte i = 0; i < PUMP_AMOUNT; i++) {
    if (pumping_time[i] > 0 && millis() - pump_timers[i] >=
pumping_time[i] * 1000 && (pump_state[i] == SWITCH_LEVEL) )
    {
      pump_state[i] = !SWITCH_LEVEL;
      digitalWrite(pump_pins[i], !SWITCH_LEVEL);
      now_pumping = false;
      Serial.print("pump # ");
      Serial.print(i);
      Serial.println(" stopped");
    }
  }
}

void encoderTick() {
  enc1.tick();
}
```

```

if (enc1.isTurn()) {
    if (backlState) {
        backlTimer = millis();
        if (enc1.isRight()) {
            if (++current_set >= 7) current_set = 6;
        } else if (enc1.isLeft()) {
            if (--current_set < 0) current_set = 0;
        }

        if (enc1.isRightH())
            changeSettings(1);
        else if (enc1.isLeftH())
            changeSettings(-1);

        changeSet();
    } else {
        backlOn();
    }
}
}

```

```

void changeSettings(int increment) {
    if (current_set == 0) {
        current_pump += increment;
        if (current_pump > PUMP_AMOUNT - 1) current_pump =
PUMP_AMOUNT - 1;
        if (current_pump < 0) current_pump = 0;
        s_to_hms(period_time[current_pump]);
        drawLabels();
    }
}

```

```
} else {  
    if (current_set == 1 || current_set == 4) {  
        thisH += increment;  
    } else if (current_set == 2 || current_set == 5) {  
        thisM += increment;  
    } else if (current_set == 3 || current_set == 6) {  
        thisS += increment;  
    }  
    if (thisS > 59) {  
        thisS = 0;  
        thisM++;  
    }  
    if (thisM > 59) {  
        thisM = 0;  
        thisH++;  
    }  
    if (thisS < 0) {  
        if (thisM > 0) {  
            thisS = 59;  
            thisM--;  
        } else thisS = 0;  
    }  
    if (thisM < 0) {  
        if (thisH > 0) {  
            thisM = 59;  
            thisH--;  
        } else thisM = 0;  
    }  
    if (thisH < 0) thisH = 0;  
    if (current_set < 4) period_time[current_pump] = hms_to_s();
```

```
    else pumping_time[current_pump] = hms_to_s();  
  }  
}
```

```
void drawLabels() {  
  lcd.setCursor(1, 0);  
  lcd.print("      ");  
  lcd.setCursor(1, 0);  
  lcd.print(relayNames[current_pump]);  
}
```

```
void changeSet() {  
  switch (current_set) {  
    case 0: drawArrow(0, 0); update_EEPROM();  
    break;  
    case 1: drawArrow(7, 1);  
    break;  
    case 2: drawArrow(10, 1);  
    break;  
    case 3: drawArrow(13, 1);  
    break;  
    case 4: drawArrow(7, 1);  
    break;  
    case 5: drawArrow(10, 1);  
    break;  
    case 6: drawArrow(13, 1);  
    break;  
  }  
  lcd.setCursor(0, 1);
```

```
if (current_set < 4) {
    lcd.print(L"PAUSE ");
    s_to_hms(period_time[current_pump]);
}
else {
    lcd.print(L"WORK ");
    s_to_hms(pumping_time[current_pump]);
}
lcd.setCursor(8, 1);
if (thisH < 10) lcd.print(0);
lcd.print(thisH);
lcd.setCursor(11, 1);
if (thisM < 10) lcd.print(0);
lcd.print(thisM);
lcd.setCursor(14, 1);
if (thisS < 10) lcd.print(0);
lcd.print(thisS);
}
```

```
void s_to_hms(uint32_t period) {
    thisH = floor((long)period / 3600);
    thisM = floor((period - (long)thisH * 3600) / 60);
    thisS = period - (long)thisH * 3600 - thisM * 60;
}
```

```
uint32_t hms_to_s() {
    return ((long)thisH * 3600 + thisM * 60 + thisS);
}
```

```

// отрисовка стрелки и двоеточий
void drawArrow(byte col, byte row) {
  lcd.setCursor(0, 0); lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(7, 1); lcd.print(" "); // пропуски і пробіли на постійних
місцяї
  lcd.setCursor(10, 1); lcd.print(":");
  lcd.setCursor(13, 1); lcd.print(":");
  lcd.setCursor(col, row); lcd.write(126); // Стрілка
}

```

```

void update_EEPROM() {
  Serial.println("eeprom is writing");
  EEPROM.updateLong(8 * current_pump, period_time[current_pump]);
  EEPROM.updateLong(8 * current_pump + 4,
pumping_time[current_pump]);
}

```

```

boolean Humidity(){

  uint16_t sensor = analogRead(SENSOR);
  Serial.print("Humidity is ");
  Serial.println (sensor);
  if (sensor > 400)
    return true;
  else
    return false;
}

```



```
boolean Temperature (){  
  dht.begin();  
  t = dht.readTemperature();  
  Serial.print("Temperature is ");  
  Serial.println(t);  
  if (t < 7 )  
    return false;  
  else  
    return true;  
}
```

Додаток Г
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ І РЕГУЛЮВАННЯ
ПАРАМЕТРІВ КЛІМАТУ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

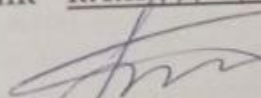
Студент групи

2 АКІТ-22м


Підпис

Руслан ДАНИЛЕНКО
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доцент, проф. кафедри КСУ


Підпис

Микола БИКОВ
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

СХЕМА СТРУКТУРНА ІЄРАРХІЧНА АСУТП

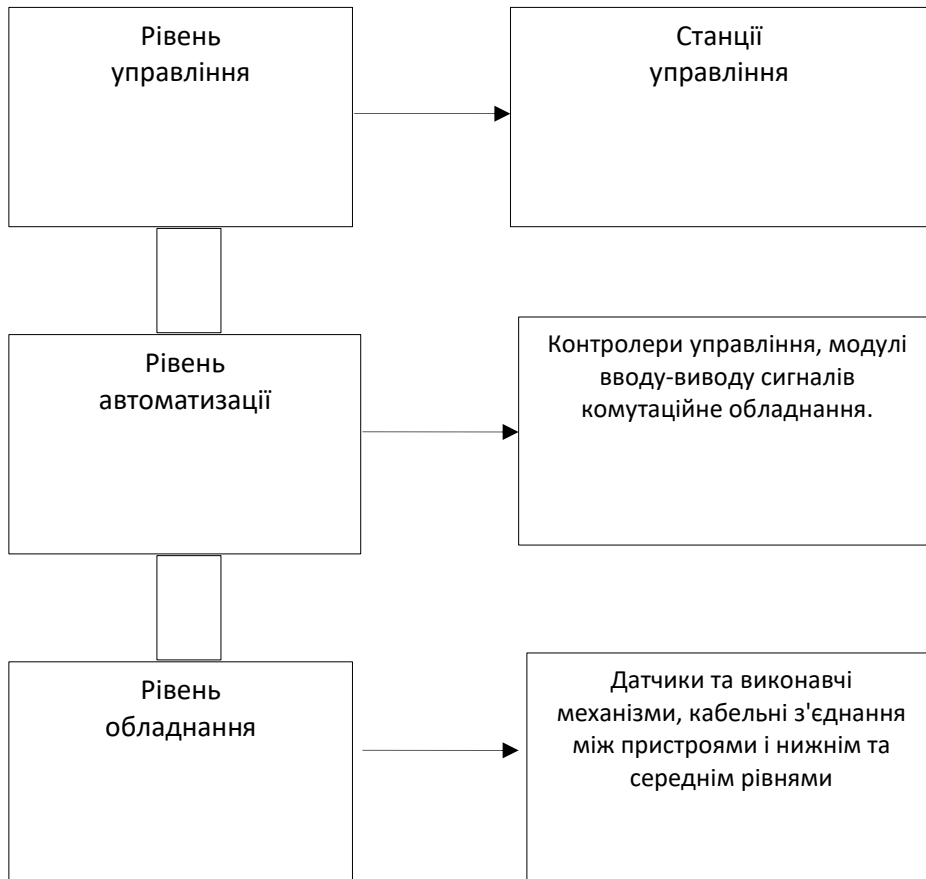


СХЕМА СТРУКТУРНА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОЛИВУ

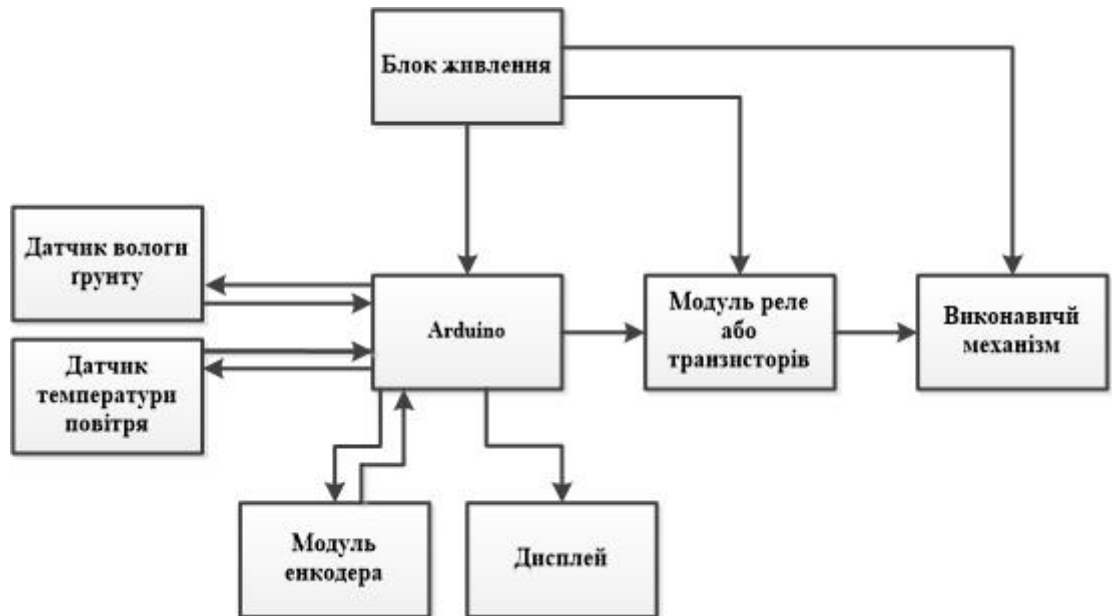
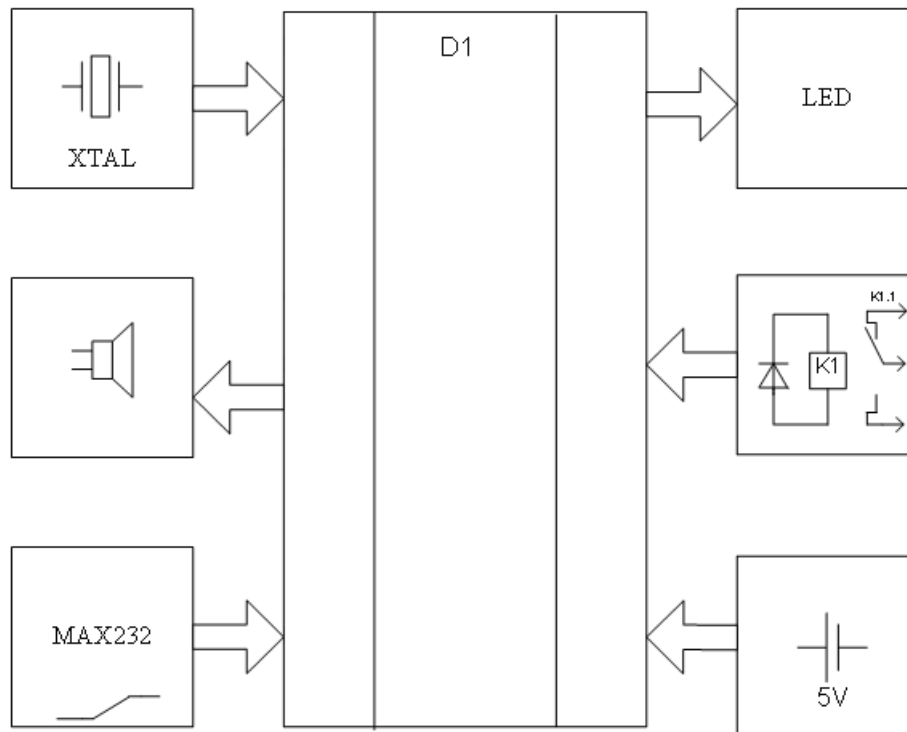
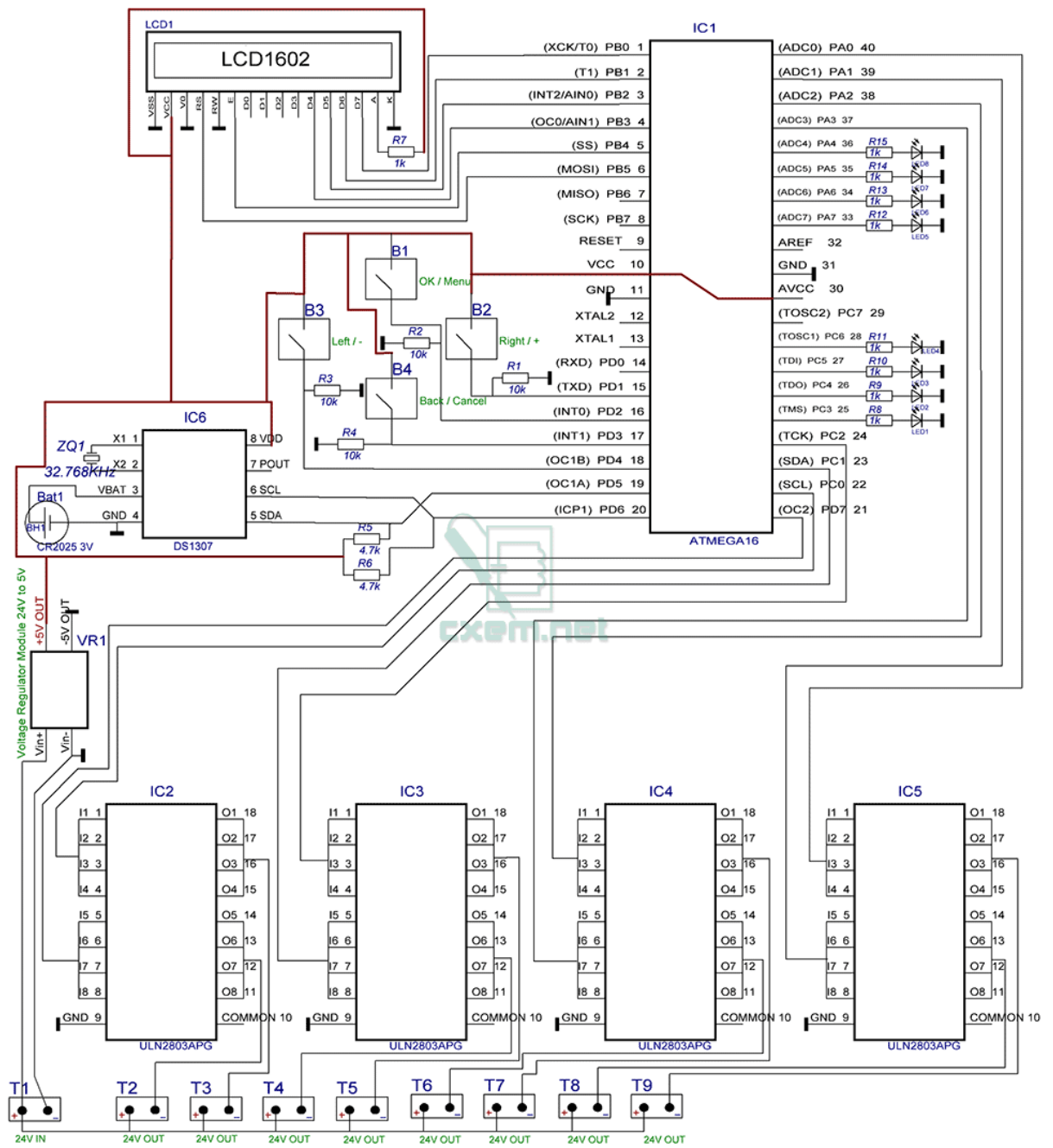


СХЕМА ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМИ

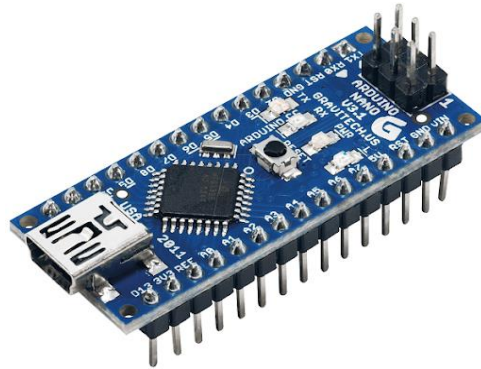


Модуль Arduino на МК
Atmega328P

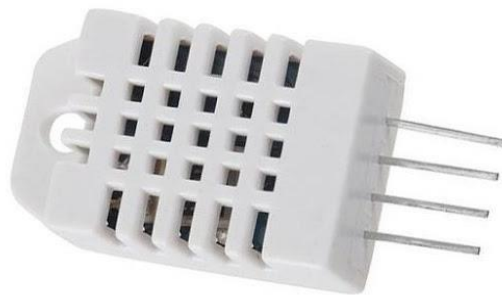
СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОЛИВУ



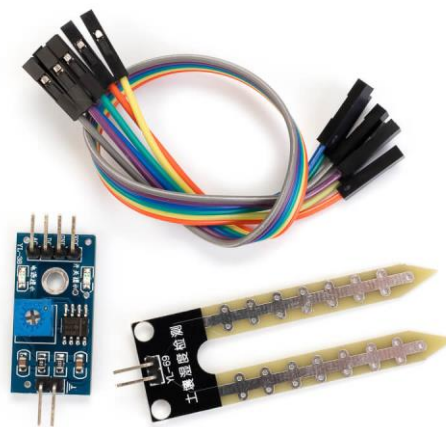
ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ



Модуль керування Arduino NANO



Датчик температури DHT12



Датчик вологості ґрунту

СХЕМА АЛГОРИТМУ ГОЛОВНОЇ ПРОГРАМИ

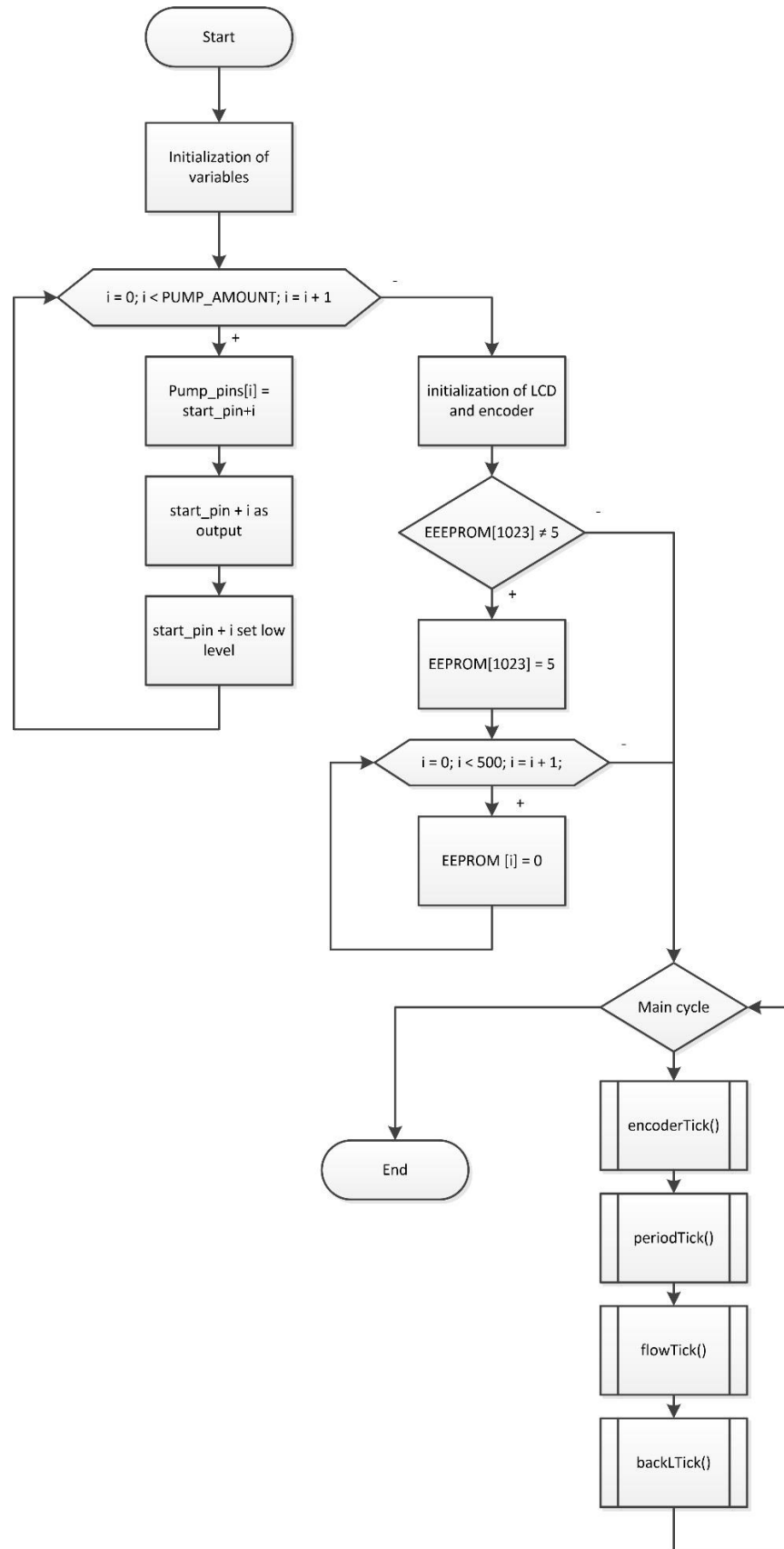


СХЕМА ФУНКЦІЇ CHANGESSET

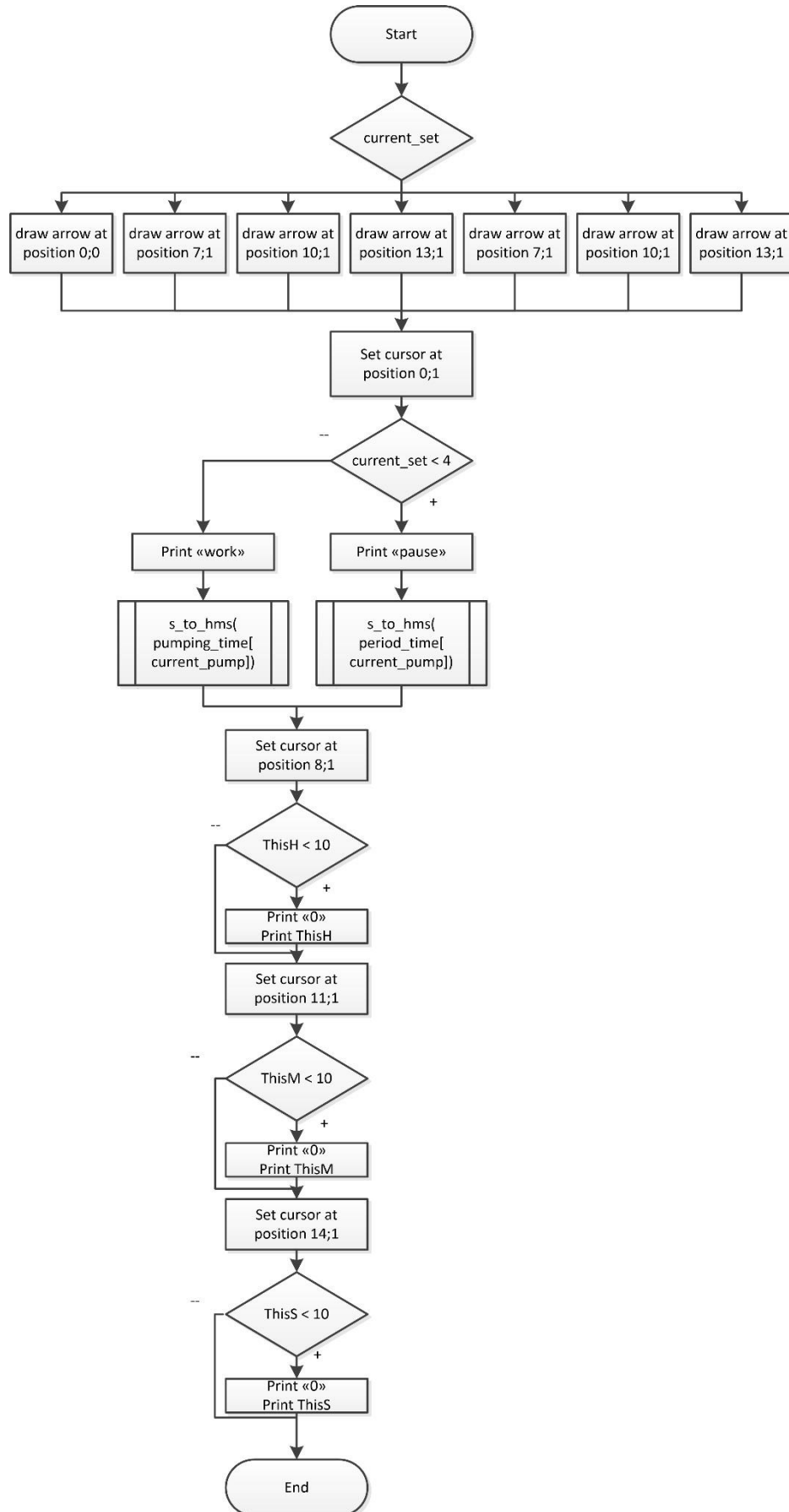


СХЕМА ПІДПРОГРАМИ ЗМІНИ НАЛАШТУВАНЬ

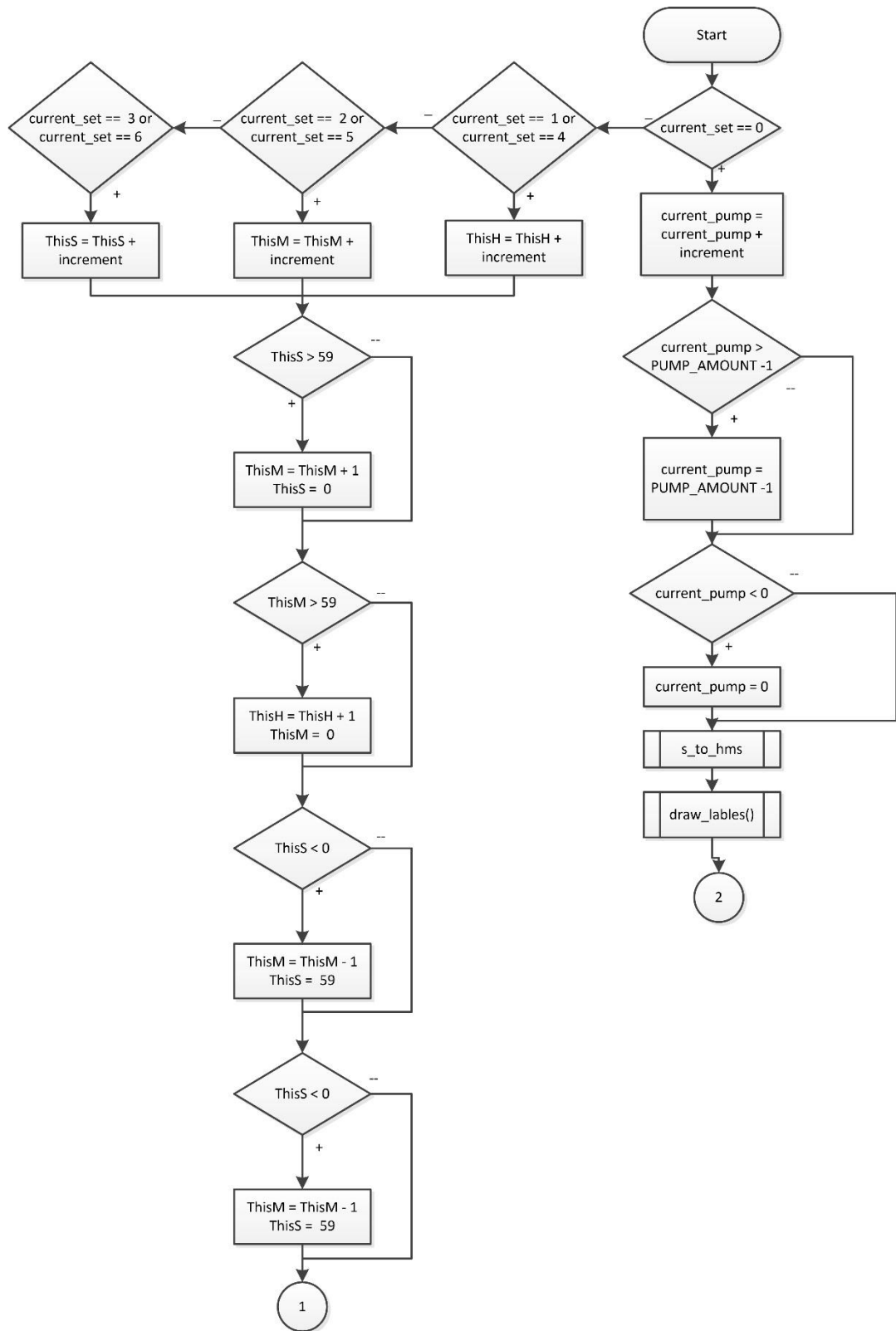
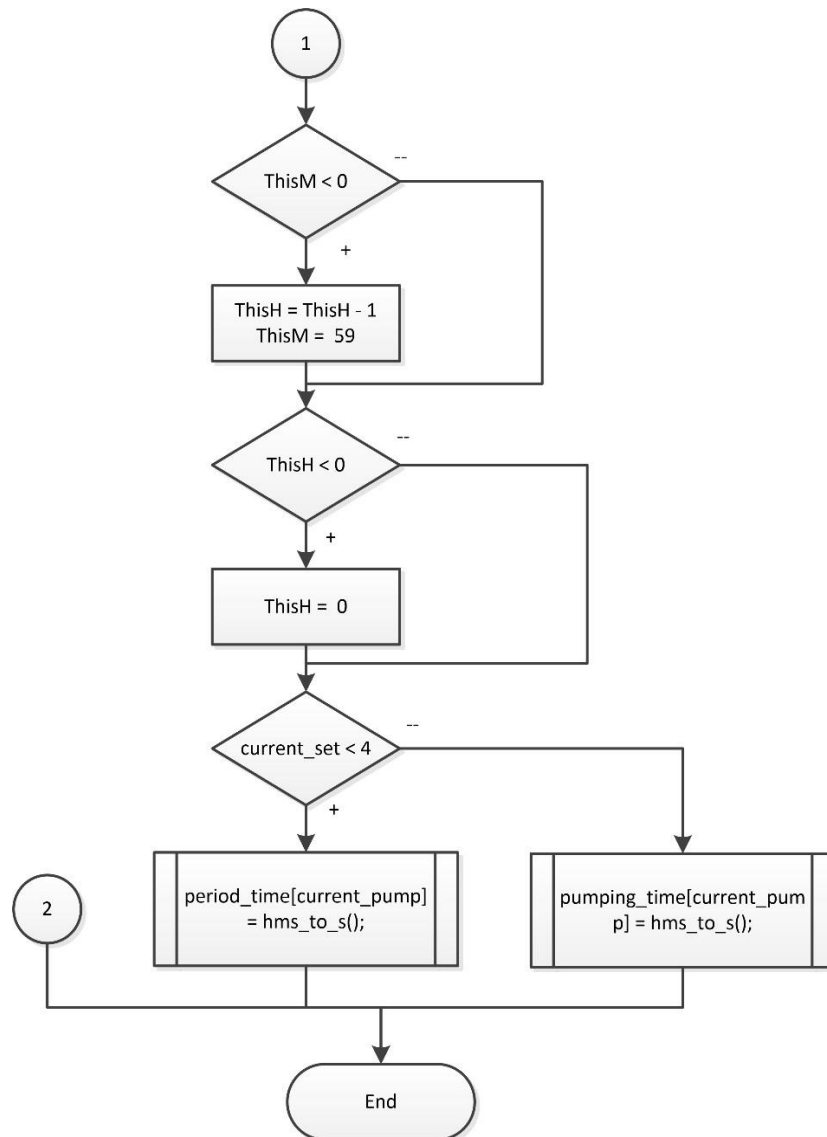


СХЕМА ПІДПРОГРАМИ ЗМІНИ НАЛАШТУВАНЬ

(продовження)



МОДУЛЬ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ АВТОМАТИЧНОГО ПОЛИВУ

