

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ**  
**ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“ Проектування автоматизованої системи керування  
мікрокліматом теплиці ”**

Виконав: ст. гр. Акт-41

Спеціальності 151 – „Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології”

(шифр і назва)

Гриньків Олег Ігорович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Луб П.М.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доц. Бабич М.І.

(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
Спеціальність 151 – „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Гриньків Олег Ігорович

1. Тема роботи: «Проектування автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці»

Керівник роботи Луб Павло Миронович, к.т.н., доцент.  
Затверджені наказом університету 27.11.2023 року №641/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 17.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Кліматичні умови регіону розташування об'єкту проектування; 2. Типи теплиць та екологічні методи вирощування рослин 3. Система автоматичного керування мікрокліматом. 4. Розробка принципової електричної схеми керування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз тепличних систем вирощування рослин

2. Технологічні показники та системи автоматизованого керування теплицею

3. Проектування автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Розрахунок постійних витрат на використання основних фондів

Висновки та пропозиції.

Список використаних джерел.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу : \_\_\_\_\_

1. Тема, автор, керівник; 2. Завдання кваліфікаційної роботи та аналіз стану галузі; 3. Аналіз типів теплиць та екологічних методів вирощування; 4. Схема автоматичного керування мікрокліматом; 5. Функціональна схема автоматизації мікроклімату; 6. Проектування автоматизованої системи; 7. Підбір мікроконтролера та елементів для автоматизації; 8. Розробка програмного забезпечення автоматизованого контролю мікроклімату; 9. Витрати на створення системи.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	Луб П.М., доцент кафедри інформаційних технологій		
4	Городецький І.М., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		

7. Дата видачі завдання 27.11.2023 р.

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу та означення головних завдань роботи	27.11.2023 – 01.01.2024	
2	Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків	01.01.2024 – 01.02.2024	
3.	Виконання третього розділу, розрахунків та розробка листів	01.02.2024 – 01.03.2024	
4.	Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	01.03.2024 – 01.04.2024	
5.	Написання розділу ТЕО	01-30.05.2024	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації	01.05.2024 – 01.06.2024	
7.	Завершення роботи в цілому	01.06.2024 – 14.06.2024	

Студент \_\_\_\_\_ Гриньків О.І.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Луб П.М.  
(підпис)

УДК 628.95:681.5.06

Проектування автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці.  
Гриньків О.І. Кафедра ІТ. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 54 с. текст. част., 27 рис., 4 табл., 10 слайдів, 20 джерел.

В кваліфікаційній роботі проаналізовано умови, що потрібно забезпечити в теплиці. Наведено сучасний стан тепличних господарств України. Описано типи теплиць та екологічні методи вирощування рослин.

Описано систему автоматичного керування мікрокліматом. Розроблено функціональну схему автоматизації мікроклімату теплиці, та функціонально-структурну схему системи автоматизованого керування.

Розроблено принципову електричну схему керування. Виконано компонування елементів конструкції панелі програмованого логічного контролера, підбірано мікроконтролер та елементи для автоматизації мікроклімату теплиці. Розроблено програмне забезпечення автоматизації контролю мікроклімату теплиці.

Запропоновано заходи щодо охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, а також охорони довкілля.

Виконано техніко-економічне оцінення розробок у кваліфікаційній роботі.

**Ключові слова:** мікроклімат, теплиця, управління, система автоматичного керування, логічний програмований контролер, програмне забезпечення.

**Key words:** microclimate, greenhouse, control, automatic control system, logic programmable controller, software.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	7
1. АНАЛІЗ ТЕПЛИЧНИХ СИСТЕМ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН.....	8
1.1. Аналіз умов що потрібно забезпечити в теплиці.....	8
1.2. Сучасний стан тепличних господарств України.....	10
1.3. Типи теплиць та екологічні методи вирощування рослин.....	12
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕПЛИЦЕЮ.....	17
2.1. Система автоматичного керування мікрокліматом.....	17
2.2. Розробка функціональної схеми автоматизації мікроклімату теплиці.....	19
2.3. Функціонально-структурна схема системи автоматизованого керування .....	21
3. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ.....	24
3.1. Розробка принципової електричної схеми керування.....	24
3.2. Компонування елементів конструкції панелі програмованого логічного контролера .....	26
3.3. Підбір мікроконтролера та елементів для автоматизації мікроклімату теплиці.....	30
3.4. Розробка програмного забезпечення автоматизації контролю мікроклімату теплиці.....	37
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	42
4.1. Структурно-функціональний аналіз та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій.....	42
4.2. Розрахунок складного заземлювача.....	44
4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	46

5. РОЗРАХУНОК ПОСТІЙНИХ ВИТРАТ НА ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ФОНДІВ.....	47
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	51
ДОДАТКИ.....	53

## ПЕРЕДМОВА

Проектування автоматизованих систем та їх застосування у виробництві звільняє людину від постійного контролю та управління механізмами. В автоматизованому процесі виробництва роль людини зводиться до наладки, регулювання, обслуговування засобів автоматизації, спостереження та координацією. Якщо автоматизація полегшує фізичну працю людини, то вона має полегшити так само і розумову працю. Водночас, експлуатація засобів автоматизації вимагає від обслуговуючого персоналу високого рівня інженерної та професійної підготовки.

За рівнем автоматизації технологічні процеси виробництва тепличної продукції займають одне із провідних місць порівняно з іншими народними галузями. Теплоенергетичні установки які використовують у теплицях характеризуються безперервністю процесів. Водночас необхідно дотримуватися балансу за якого вироблення теплової і електричної енергії у будь-який момент часу повинне відповідати його споживанню.

Автоматизація виробничих процесів у теплиці дає значні переваги: 1) зменшення чисельності робочого персоналу й підвищення продуктивності праці; 2) зміна видів робіт для обслуговуючого персоналу; 3) збільшення точності режимів роботи, що відповідають біологічним процесам рослин; 4) підвищення безпеки праці і надійності роботи устаткування; 5) збільшення економічності роботи спецустановок.

**Мета роботи** – підвищити ефективність аеропонічної теплиці завдяки розробці і застосуванню автоматизованої системи контролю мікроклімату.

### **Завдання кваліфікаційної роботи:**

- проаналізувати типи теплиць та систем керування мікрокліматом;
- описати технологічні показники та систему автоматизованого керування;
- запроєктувати автоматизовану систему керування мікрокліматом теплиці.

**Ключові слова:** теплиця, автоматизація, системи керування, мікроклімат, програмне забезпечення, сенсори, контроль параметрів, ефективність вирощування.

## 1. АНАЛІЗ ТЕПЛИЧНИХ СИСТЕМ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

### 1.1. Аналіз умов що потрібно забезпечити в теплиці

Теплиця дає можливість отримувати урожай швидше, ніж на відкритому ґрунті, та не залежати від зміни погоди, не всі господарі поспішають їх встановлювати [1, 8, 11]. Отримання хорошого врожаю в теплиці – це можливість, а не гарантія, адже теплиці та парники потребують постійного та ретельного догляду. Ці конструкції мають низку недоліків, які можуть для садівника переважити все потенційні переваги.

**1. Пряма залежність врожайності від догляду.** Теплиця – це закрита система для вирощування рослин, у якій постачання всіх ресурсів – світла, води, повітря, поживних речовин – відбувається лише за допомогою господарів. Навіть кілька пропусків у догляді можуть позбавити врожаю.

**2. Постійна ретельна робота з ґрунтом.** Відновлювати родючість, підтримувати текстуру, оздоровлювати землю потрібно так само, як і на городі. Але об'єм землі у теплиці обмежений, її ресурси швидко вичерпуються, а природні процеси повністю виключені. Землю доведеться часто міняти: навіть при ідеальному догляді – мінімум кожні 5 років. Щороку вручну доведеться забезпечувати якісну культивуацію, внесення і рівномірне розподілення зрілої органіки, постійну підтримку активних мікроорганізмів завдяки біопрепаратам.

**3. Складність сівозміни.** Правила нормального чергування та вирощування здорового врожаю овочів передбачає сівозміну з паузою, як мінімум, у три роки між рослинами, що представляють одне сімейство. У теплиці така сівозміна неможлива, і її переважно будують для конкретних культур – наприклад, огірків чи помідорів, тому з кожним садовим сезоном збільшуються ризики ураження хворобами, специфічними для цих рослин і їх родичів.

**4. Складне сусідство через обмежену площу.** Більшість типових тепличних овочів взагалі не сумісні. Наприклад, огірки та помідори вимагають різної вологості і температур. Водночас змішування різних видів пасльонових у



одній теплиці в рази підвищує шанс появи шкідників та хвороб. Навіть сусідство з квітами чи ягодами все одно проблемне, бо так кількість потенційних хвороб лише зростає.

**5. Безперебійне забезпечення водою.** Якщо рослини на відкритих грядках поливають лише у періоди посухи, коли дощів недостатньо, то в теплиці забезпечувати рослини вологою потрібно постійно самотужки. Навіть якщо ви обладнали водопровідну систему, витрати води на регулярний полив рослин у теплиці будуть величезними. А якщо автополиву немає, то перенесення води у великій кількості стане чималим фізичним навантаженням.

**6. Підвищена потреба в добривах.** Ресурси ґрунту в теплиці обмежені: їх ніколи не вистачає на весь період вегетації і плодоношення, а якщо не вносити достатньо органіки, потреба в підживленнях виникає вже з самого початку. У теплиці добрива вносять значно частіше, ніж на відкритих грядках – зазвичай мінімум 3-4 рази, а часто і кожні 2-3 тижні.

**7. Забезпечення вентиляції.** Якщо не використовується теплиця із «повним клімат-контролем» та автоматичною системою провітрювання, то реагувати на будь-які зміни температури та сигнали рослин доведеться самотійно. Теплиця захищає рослини, але без провітрювання швидко перетворюється на токсичне середовище.

**8. Постійна профілактика та боротьба з шкідниками і хворобами.** Неможливість дотримуватися сівозміни і правил сумісності, підвищена вологість створюють дуже сприятливі умови для хвороб і плісняви. Без регулярних профілактичних обробок проблем не уникнути. Теплиці дезінфікують та обробляють після завершення сезону та навесні, перед наступним, якщо минулого року рослини хворіли – ще частіше. Крім того, потрібно дбати ще й про оздоровлення ґрунту.

**9. Ідеальний порядок.** Гігієна та ідеальні санітарні умови у теплиці – гарантія того, що у вирощуванні рослин не буде проблем. Бруд, сміття, пил, в тому числі у робочій зоні можуть призвести до поширення шкідників і хвороб.

**10. Постійний ремонт.** Щороку, а краще декілька разів на рік у теплиці потрібно перевіряти всі конструкції, особливо рухомі механізми, з'єднання, основні матеріали (плівку, скло, полікарбонат). Маленькі сколи, тріщини, іржа, корозія в режимі підвищеної вологості вже за рік можуть обернутися потребою в великому ремонті.

## **1.2. Сучасний стан тепличних господарств України**

На сьогодні український ринок тепличних овочів представлений двома потужними високотехнологічними комбінатами площею близько 70 тис. га, а саме: Уманський тепличний комбінат та ПрАТ «Комбінат «Тепличний» у місті Бровари.

Оскільки цілорічне виробництво свіжих овочів тільки формується, попит значно перевищує пропозицію. Так, вітчизняні теплиці здатні задовільнити попит лише на 10-20% [14].

У той же час наша країна експортує тепличні овочі на зовнішні ринки. Головним споживачем є Білорусь, однак за останні два роки її частка в структурі імпорту скоротилась із 77% до 56,8%. Проте зросла частка Польщі з 1,6% до 3,5%, Естонії — з 3% до 8,6% та Молдови — з 0,6 до 2%.

За оцінками аналітиків, частка овочів закритого ґрунту минулого року не перевищила 6% усієї овочевої продукції України. На внутрішньому ринку відчутно посилюється конкуренція між продуктами місцевого виробництва і легальним та нелегальним імпортом. У наших супермаркетах завезена продукція лежить поруч із місцевою або ж навіть замість неї.



Рисунок 1.1 – Цілорічне виробництво свіжих овочів у теплицях [13, 15]

Варто зазначити, що виробництвом закритого ґрунту займається безліч невеликих господарств, які не звітують про свої досягнення, тож дізнатись реальний збір урожаю тепличних овочів досить складно.

Національному виробнику все складніше адаптуватися до ринкової ситуації з метою збереження власного виробництва.

Так, щоби зменшити витрати на енергоносії, тепличникам довелось дещо скоригувати свої плани на 2022 рік. Строки посадки відтермінували на 2-2,5 тижні в порівнянні з попереднім роком. Тож урожай буде пізніше, ціни — нижчі. Основними складовими бізнесу є виготовлення продукції і подальша вдала реалізація. Важливим питанням на цей час лишається цінова політика поточного сезону, яка залежить від багатьох чинників, у тому числі і від купівельної спроможності населення.

Проте попри низку негативних факторів українські тепличники не відстають від зарубіжних колег.

Негативні фактори, що гальмують розвиток тепличного бізнесу [13, 15]:

- військові дії на сході України та анексія Криму, що призвели до зменшення виробничих площ приблизно на 35-40%;
- знецінення гривні;
- зниження купівельної спроможності серед населення;
- зростання сірого імпорту;
- законодавчі акти, що відібрали не лише у тепличників, а й у всього сільського господарства пільгу у 20%, яка була спрямована виключно на розвиток

матеріально-технічної бази. До того ж це була єдина некорумпована фінансова підтримка з боку держави;

- високі банківські ставки, труднощі в отриманні кредиту.

**Перспективи розвитку тепличного бізнесу в Україні.** Основними тенденціями тепличного виробництва в Україні є збільшення тепличних площ, підняття урожайності, будівництво новітніх комплексів із круглорічним вирощенням.

Динамічному розвитку тепличного бізнесу перешкоджає його висока капіталоємність, особливо на початковому етапі. Щоб збудувати новий тепличний комплекс на новому місці (овочева виробництво), потрібно вкласти приблизно 350-400 євро на 1 м<sup>2</sup>. За нинішніх цін на енергоносії, добрива та інші необхідні складові строк окупності становить приблизно 10-12 років.

При цьому важливо врахувати, що старі теплиці надто енерговитратні. Основним фактором виживання підприємств галузі є зниження використання енергоносіїв на кілограм вирощеної продукції. Слід розглядати альтернативну енергетику, до прикладу, біогаз, вугілля, сонячну енергію.

### **1.3. Типи теплиць та екологічні методи вирощування рослин**

У сучасному сільському господарстві теплиці є незамінним інструментом для вирощування рослин. Їх використовують для збільшення врожайності, збереження рослин від негативних погодних умов та продовольчої безпеки. Теплиці можуть бути різних типів, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

Незалежно від типу теплиці, їх використання допомагає зберегти рослини від шкідників та захворювань, сприяє ранньому початку вегетації та збільшенню врожайності. Однак, вибір типу теплиці повинен залежати від конкретних умов та потреб господарства, а також враховувати їх переваги та недоліки .

Таблиця 1.1 – Типи теплиць та їх переваги і недоліки [15, 17, 18]

Тип теплиці	Переваги	Недоліки
Розкрита теплиця	Низька вартість, легкий доступ до рослин, природне освітлення	Вразливість до негативних погодних умов, обмежений термін використання
Плівкова теплиця	Низька вартість, швидкий монтаж, можливість регулювання температури та вологості	Менша міцність, потреба в частому заміні плівки
Скляна теплиця	Довговічність, висока міцність, естетичний вигляд	Висока вартість, схильність до перегрівання, складний монтаж

#### Теплиці з полікарбонату. Плюси:

- Полікарбонат добре пропускає світло, що сприяє нормальному росту рослин.
- Висока теплоізоляція дозволяє підтримувати потрібну температуру всередині теплиці впродовж усього року.
- Полікарбонат має високу міцність і стійкість до впливу зовнішніх факторів, таких як опади, сильний вітер і ультрафіолетове випромінювання.
- Теплиці з полікарбонату можуть мати різні форми і розміри, що дозволяє вибирати оптимальну модель для конкретних потреб господарства.

#### Мінуси:

- Висока ціна на теплиці з полікарбонату порівняно з іншими матеріалами.
- Полікарбонат може мати обмежений термін служби через вплив ультрафіолету.
- Важкість монтажу теплиці з полікарбонату через особливості матеріалу.

**Теплиці зі скла** є одним з найпопулярніших типів теплиць, які використовуються для вирощування рослин у закритому просторі. *Основні переваги теплиць зі скла:*

- Скло забезпечує хорошу проникність світла, що дозволяє рослинам отримувати достатню кількість сонячного світла для фотосинтезу.

- Скло має довгий термін служби та не піддається зношуванню від погодних умов.

- Скло добре перекриває теплицю, що дозволяє зберігати тепло в середині та захищати рослини від холодних температур.

Однак, теплиці зі скла також *мають свої недоліки*:

- Скло може бути досить важким та складним для установки, що вимагає додаткових зусиль та витрат.

- Скло може легко розбитися під дією сильних вітрів або граду, що призводить до необхідності ремонту або заміни.

- Скло може спричиняти перегрів теплиці влітку, що вимагає додаткових заходів для регулювання температури.

**Теплиці з плівки** є одним з найпоширеніших. Основні *переваги теплиць з плівки*:

- Вартість. Такі теплиці є найбільш доступними за ціною. Вони значно дешевші у порівнянні з іншими типами теплиць.

- Легкість монтажу. Теплиці з плівки можна встановити самостійно без залучення фахівців. Вони складаються з легких конструкцій, що спрощує процес монтажу.

- Добре пропускають світло. Плівка, з якої виготовлені такі теплиці, має високу прозорість, що дозволяє достатньо світла потрапляти до рослин.

Однак, теплиці з плівки мають і свої *недоліки*:

- Недостатня міцність. В порівнянні з іншими типами теплиць, плівка менш міцна і швидше зношується. Вона може пошкодитись від вітру, граду або гострого предмета.

- Недостатня теплоізоляція. У порівнянні з іншими матеріалами, плівка менш ефективно утримує тепло. Це може призвести до перегріву або замерзання рослин в теплиці.

- Обмежена тривалість експлуатації. Плівка має обмежений термін служби і потребує періодичної заміни. Вона може втратити свою прозорість, зіпсуватись або розірватись через вплив негативних факторів.

Сьогодні є два екологічних методи вирощування рослин, які допомагають отримувати екологічно чисту продукцію — аеропоніка та гідропоніка [17, 18].

**Аеропоніка** — це процес вирощування рослин у повітряному середовищі без використання ґрунту і субстратів, при якому поживні речовини доставляються до коріння у вигляді аерозолю. Даний метод є найпрогресивнішим і найбезпечнішим у світі.

**Гідропоніка** — це метод вирощування, при якому рослина вкорінюється в тонкому шарі органічного субстрату (торф, мох і т.п.), укладеного на сітчасту основу, опущену в піддон з живильним розчином.



Рисунок 1.2 – Екологічні методи вирощування рослин в теплицях

Крім високоінноваційної виробничої системи, аеропонне вирощування дає змогу використовувати непридатні або несприятливі для сільськогосподарського виробництва райони, займатися обробкою в районах, де складні кліматичні умови, і подолати проблему зменшення родючості ґрунтів. За аеропонної технології йде велика економія води, добрив, мінімізуються ризики втрати врожаю. Вона дає змогу займатися вирощуванням продукції цілий рік. Аеропонне вирощування знижує потребу в пестицидах та обробці паразитів, захищає навколишнє середовище та виробляє ідеальні натуральні продукти.

Переваги та інноваційність аеропоніки [15, 17, 18]:

- висока продуктивність посадкової площі;



- екологічність виробленої зелені та пряних трав;
- максимально точний контроль усіх процесів зростання;
- енергозберігаюча та водозберігаюча технологія вирощування;
- невисока матеріаломісткість методу, немає потреби у ґрунті чи субстраті;
- значне скорочення термінів вегетації зелені та трав;
- зручність та простота в обслуговуванні шляхом повної автоматизації.

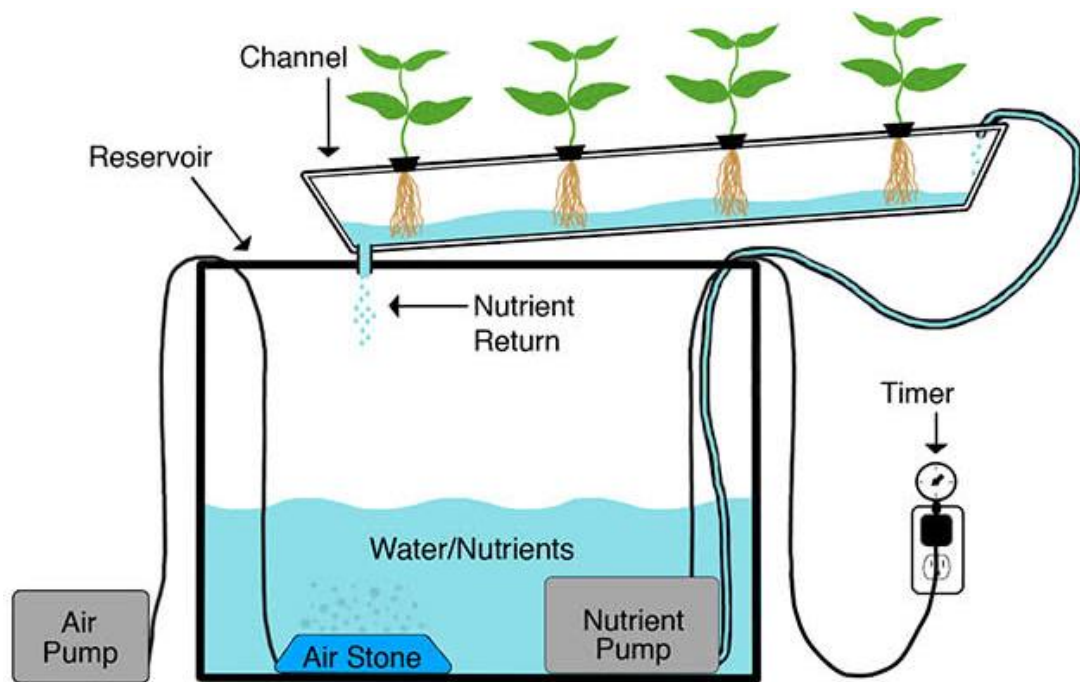


Рисунок 1.3 – Схема вирощування методом гідропоніки

Сьогодні автоматизація теплиць вважається необхідністю для забезпечення багатого і якісного урожаю. Застосування автоматизованих систем створення мікроклімату в теплицях дозволяє спростити процес догляду за рослинами. Аграрій може будь-звідки контролювати всі процеси, що відбуваються в аеропонічних теплицях. Пристрої забезпечують потрібною дозою добрив і кількістю поливу на день. Система кожену годину робить аналіз води (рівень рН) і агрохімічний аналіз. Двічі на добу коригує ці процеси. Для аеропоніки та гідропоніки — це першочергово. Є графіки поливів, температур. Все можна прослідкувати й порівнювати показники за минулі роки тощо.



## 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕПЛИЦЕЮ

### 2.1. Система автоматичного керування мікрокліматом

Система автоматичного керування мікрокліматом – це інструмент, який використовується для управління та максимізації врожайності сільськогосподарських культур або інших параметрів якості шляхом підтримки оптимальних умов для кожної культури [12]. У цьому сенсі необхідні передові і високоефективні системи автоматичного управління, що дозволяють отримувати максимальну врожайність при мінімальних витратах і адаптуватися до мінливих кліматичних умов, особливо мікроклімату всередині теплиці "аeropоніка". Були зроблені численні доповіді про сучасні технології вирощування рослин в контрольованих умовах на безпідставній культурі aeropоніки. Теорії, що лежать в основі управління кліматом, зазвичай поділяються на два типи: класичні та сучасні. При класичному підході до складних біосистем, таким як тваринницькі приміщення і теплиці, не завжди досягаються бажані умови, наприклад, температура і відносна вологість. Інші недоліки класичного підходу полягають в тому, що він пов'язаний з високою невизначеністю і споживанням енергії.

Вимірювання параметрів мікроклімату були температура, відносна вологість і інтенсивність штучного освітлення. Температура повітря вимірювалася в двох точках: у верхній зоні у листя рослини і в кореневій зоні біля коріння. Відносна вологість вимірюється в двох точках в одному і тому ж положенні датчиками температури за допомогою DHT11 з точністю 3,5%. Нарешті, інтенсивність світла всередині камери вимірювалася на ближніх листках за допомогою фотодіода типу OPT101. Всі вимірювання з усіх датчиків виконуються одночасно, і всі дані передаються на мікроконтролер (ATmega2560) для прийняття найкращих рішень з використанням вбудованої системи управління, розробленої з використанням програмного забезпечення BASCOM-AVR.

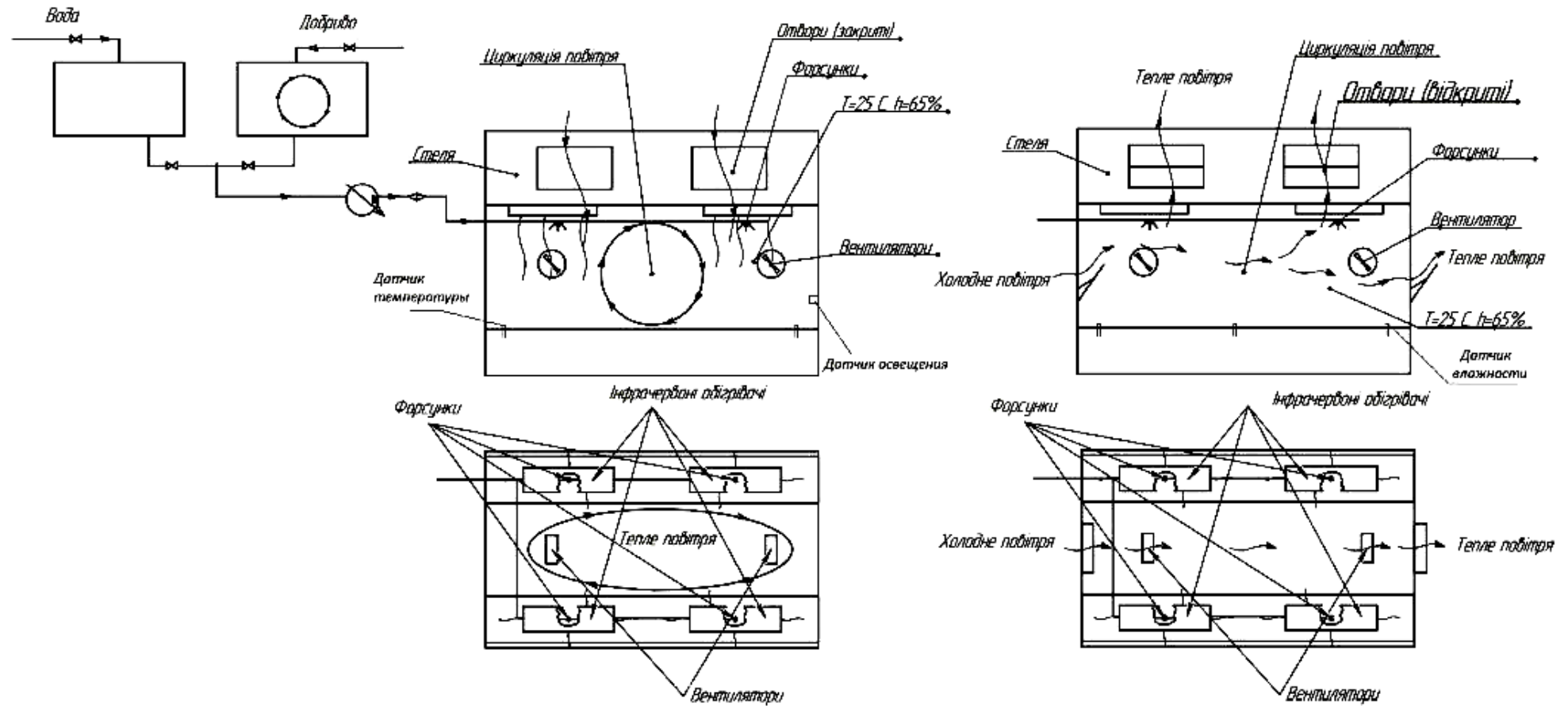


Рисунок 2.1 – Схема інформаційно матеріальних потоків

Всі дані також передавалися мікроконтролером на комп'ютер з програмним забезпеченням користувача інтерфейсу, розробленим в програмному забезпеченні Delphi 7.

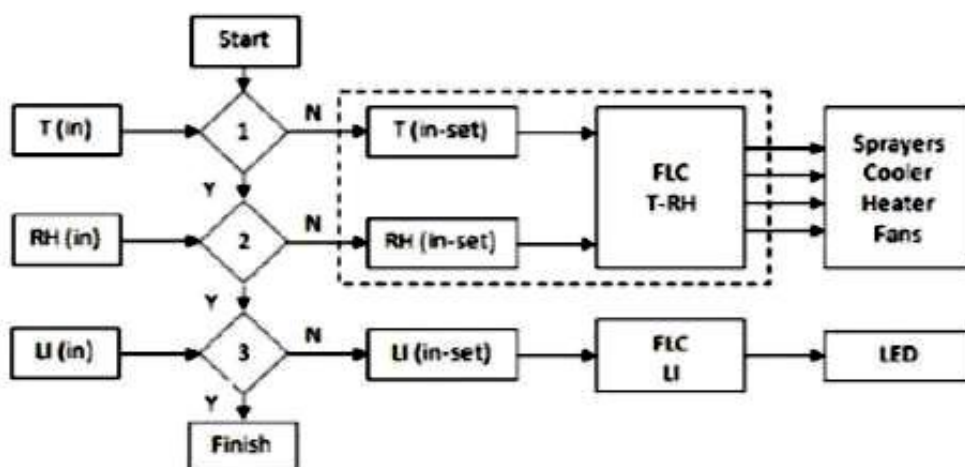


Рисунок 2.2 – Принципова схема управління мікрокліматом в теплиці

Після цього за допомогою вбудованої системи управління було передано кожному виконавчому механізму для підтримки найкращих умов в камері аеропоніки з використанням методу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [12].

## 2.2. Розробка функціональної схеми автоматизації мікроклімату теплиці

Регулювання мікрокліматом в аеропонній теплиці здійснюється за наступними каналами: температура в нижній частині теплиці та верхній, вологість в нижній частині теплиці та верхній. Всі данні з сприймаючих елементів надходять на мікроконтролер СВ-4000, якій в свою чергу оброблює інформацію та видає необхідний сигнал управління на певний виконавчий механізм [8].

Функціонально-технологічна схема системи автоматичного регулювання мікроклімату теплиці включає в себе комплекс технологічних елементів, які спрямовані на автоматизацію та контроль параметрів середовища з метою

оптимального забезпечення умов для росту рослин. Основними компонентами такої системи можуть бути:

**Сенсори і датчики:** Вимірюють параметри мікроклімату, такі як температура повітря, вологість, рівень освітленості, рівень CO<sub>2</sub> тощо.

**Контролери і пристрої збору даних:** Отримують і аналізують дані від сенсорів, приймають рішення щодо керування системою.

**Актuatorи і виконавчі механізми:** Виконують команди контролера для регулювання параметрів, наприклад, включення/вимкнення систем вентиляції, поливу, опалення, освітлення тощо.

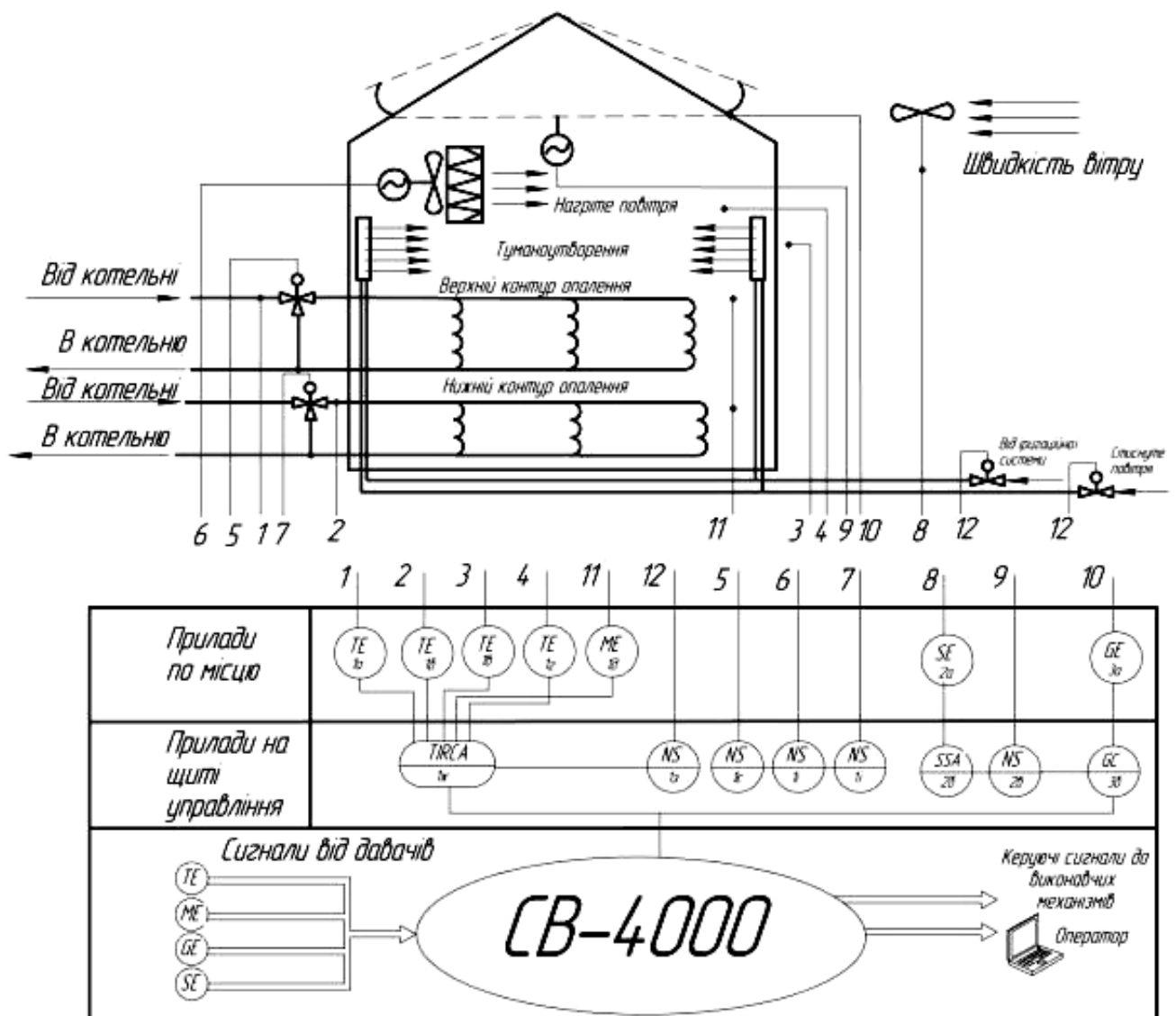


Рисунок 2.3 – Функціонально-технологічна схема системи автоматичного регулювання мікрокліматом в аеропонній теплиці

**Керуюче програмне забезпечення:** Забезпечує інтеграцію всіх компонентів системи, збір і обробку даних, прийняття рішень на основі аналітики мікроклімату, а також моніторинг та віддалене керування через мережу.

**База даних:** Зберігає дані про параметри мікроклімату для подальшого аналізу, відображення історії змін та відслідковування трендів.

**Інтерфейс користувача:** Забезпечує взаємодію з оператором або адміністратором системи, відображення поточних станів параметрів мікроклімату, налаштування параметрів регулювання та отримання звітності.

Ця схема ілюструє взаємодію між різними компонентами системи, спрямованої на підтримку оптимальних умов для росту рослин у теплицях шляхом автоматизації та контролю мікроклімату.

### 2.3. Функціонально-структурна схема системи автоматизованого керування

На функціональній схемі системи автоматизованого керування (САК) елементи позначаються у вигляді прямокутників та скорочено пишуть назву елемента, зв'язки між елементами показані лініями, а напрямки стрілками.

На схемі САК зображені такі елементи:

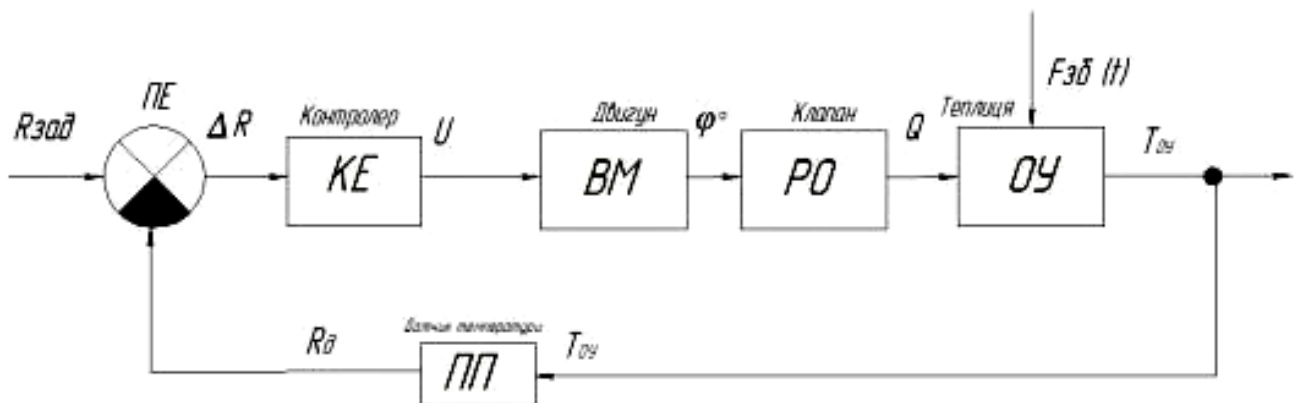


Рисунок 2.4 – Функціонально-структурна схема САК для каналу регулювання температури: KE – Керуючий елемент; PO – Регулюючий орган; BM – Виконавчий механізм; OU – Об’єкт управління; ПП – Первинний

перетворювач;  $R_{зад}$  – задане значення температури;  $R_{оу}$  – температура повітря в теплиці;  $T_{вим}$  – значення температури що вимірюється;  $U$  – напруга керування;  $F_{зб}$  – збурююча дія на ОУ

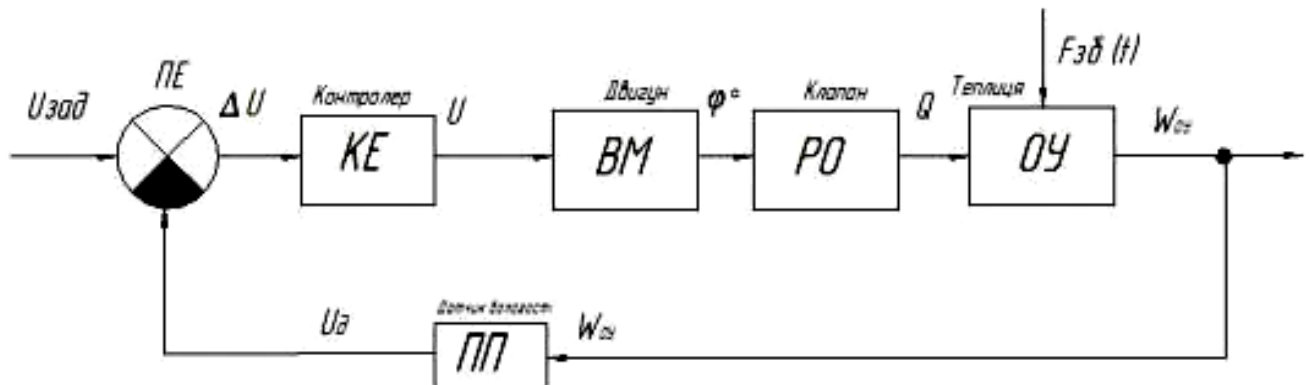


Рисунок 2.5 – Функціонально-структурна схема САК для каналу регулювання вологості:  $U_{зад}$  – задане значення вологості;  $U_{оу}$  – вологість в теплиці;  $\varphi$  – значення вологи що вимірюється

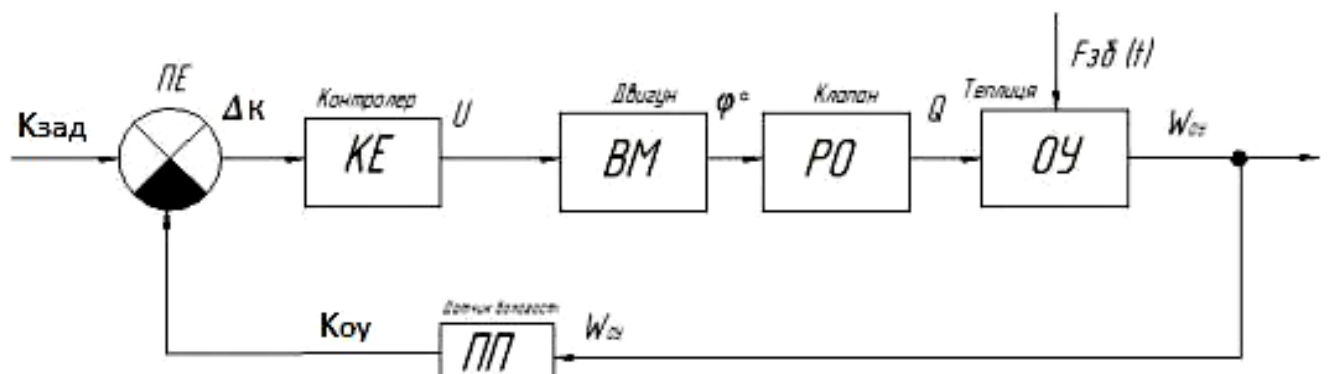


Рисунок 2.6 – Функціонально-структурна схема САК для каналу регулювання світла

За допомогою MathLab була побудована поведінка перехідних процесів та був одержаний час перехідного процесу регулювання температури  $t_p = 360$ с, а відносне пере регулювання вийшло:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{22 - 20}{20} \cdot 100\% = 10\%,$$

де  $y(\infty)$  – стале значення;  $y_{\max}$  – максимальне відхилення від сталого значення;

А час перехідного процесу вологості  $t_p = 40$ с, а відносне пере регулювання вийшло:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{83 - 75}{75} \cdot 100\% = 10,7\%,$$

Для температури і вологості статична похибка відсутня, а пере регулювання не виходить за межі 15%, що задовольняє поставлені умови.

### 3. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ

#### 3.1. Розробка принципової електричної схеми керування

Принципова електрична схема – це проектний документ, який визначає весь склад електричних елементів та зв'язків між ними та надає принцип роботи системи.

Електричні схеми показують фактичні точки підключення проводів до компонентів і клем контролера. Вони показують відносне розташування компонентів. Їх можна використовувати в якості напрямних при підключенні контролера.

На рисунку 3.1 показана типова схема підключення трифазного магнітного стартера двигуна.

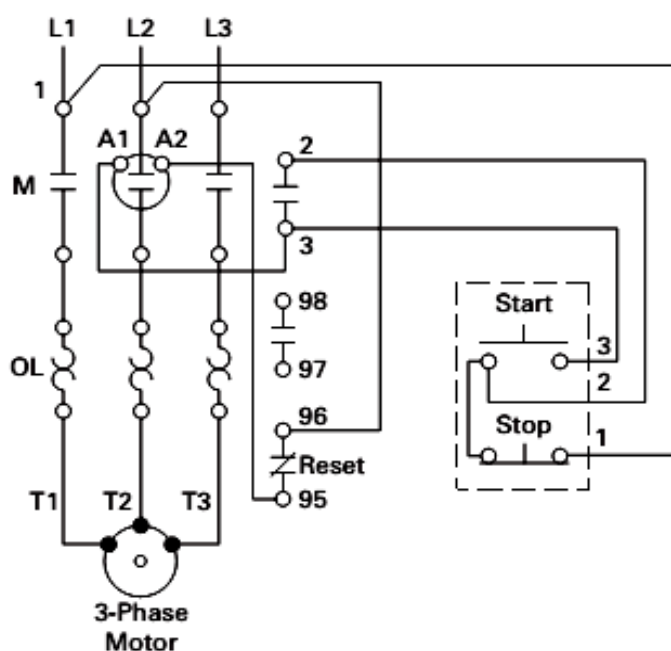


Рисунок 3.1 – Типова схема підключення трифазного магнітного стартера двигуна

Лінійні діаграми, також звані "схематичними" або "елементарними" діаграмами, показують схеми, які формують основну роботу контролера. Вони не



вказують на фізичні відносини різних компонентів в контролері. Вони є ідеальним засобом для усунення неполадок в ланцюзі [2].

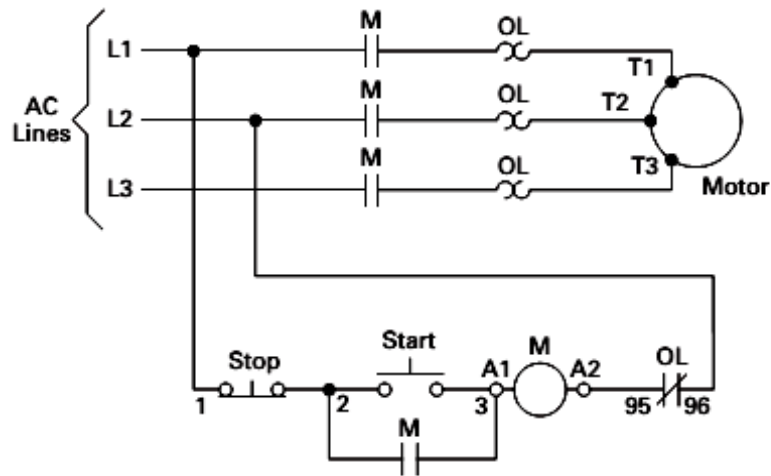


Рисунок 3.2 – Типова лінійна, або принципова схема

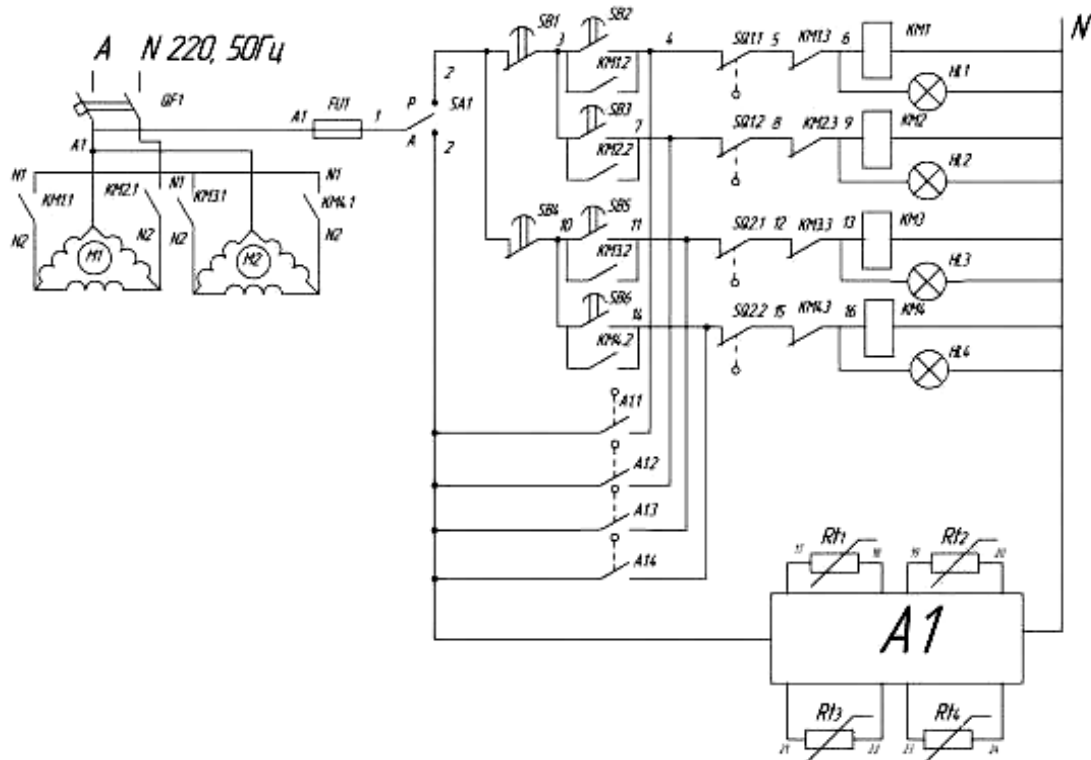


Рисунок 3.3 – Принципова електрична схема

Є схеми які працюють в ручному та автоматичному режимі [8, 11]. Представлена схема за допомогою перемикача SA1 може працювати в ручному та автоматичному режимі.

Кнопки SB2 та SB3 – відповідають за повертання заслінки опалення, а SB5 та SB6 – за кутом нахилу фрамуг. Якщо заслінка досягла свого максимального положення то спрацьовують вимикачі SQ1 та SQ2. Кнопки SB1 та SB4 – забезпечують ручну зупинку.

В автоматичному режимі схемою керує регулятор A1 [12].

### **3.2. Компонування елементів конструкції панелі програмованого логічного контролера**

Інженери рідко створюють свої власні конструкції панелей програмованого логічного контролера (ПЛК) [16, 19]. Наприклад, як тільки електричні конструкції будуть завершені, вони повинні бути побудовані електриком.



Рисунок 3.4 – Базова конструкція електричної панелі ПЛК

Система управління панеллю ПЛК зазвичай використовує живлення змінного і постійного струму при різних рівнях напруги. Шафи управління часто поставляються з однофазним змінним струмом 220/440/550 В, або двофазним змінним струмом 220/440 В, або трифазним змінним струмом 330/550 В.

Ця потужність повинна бути знижена до більш низького рівня напруги для елементів управління і Джерел живлення постійного струму. 110 В змінного струму поширене в Північній Америці, а 220 В змінного струму поширене в Європі та країнах Співдружності. Також часто шафа управління подає більш високу напругу на інше обладнання, наприклад на двигуни.

Приклад схеми підключення контролера двигуна показаний на рис. 3.5 .

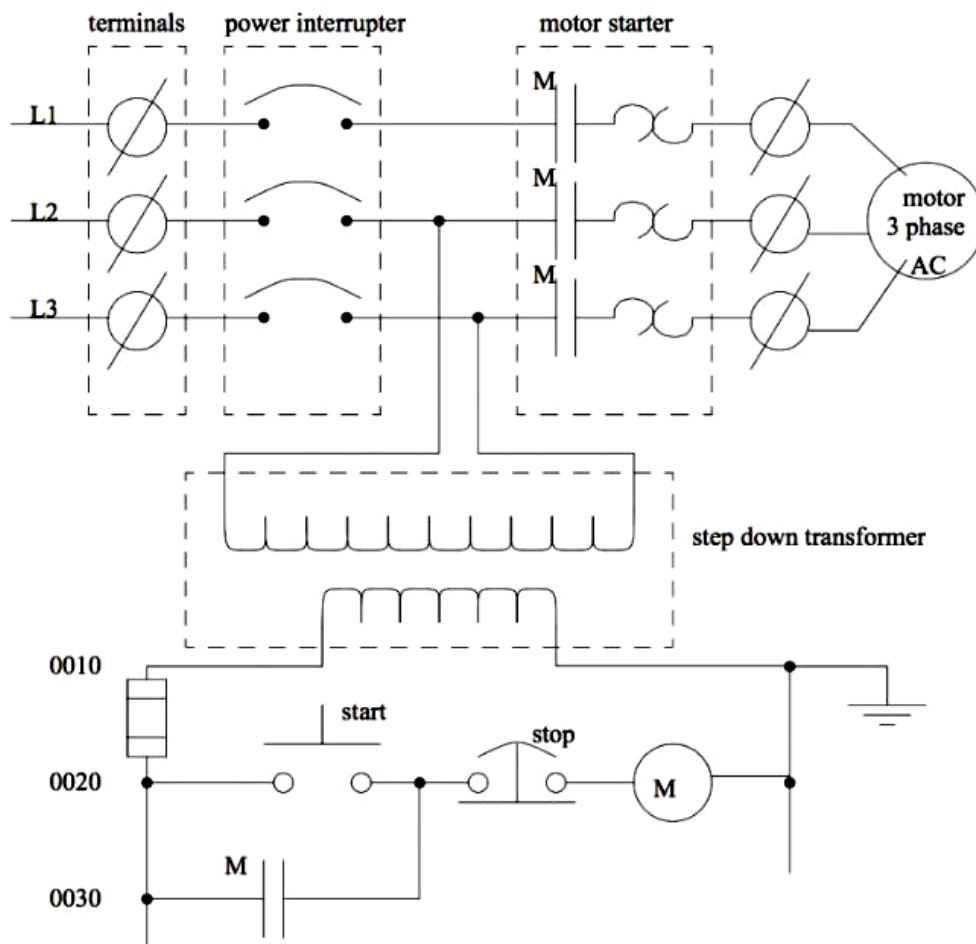


Рисунок 3.5 – Схема контролера двигуна

Пунктирні лінії вказують на один придбаний компонент. Ця система використовує 3-фазний джерело змінного струму (L1, L2 і L3), підключений до клем. Потім три фази підключаються до переривника живлення. Потім всі три

фази подаються на стартер двигуна, який містить три контакти, М і три реле теплового перевантаження (вимикачі).

Контакти, М, будуть управлятися котушкою, М. Вихід стартера двигуна надходить на трифазний двигун змінного струму. Живлення подається шляхом підключення понижуючого трансформатора до керуючої електроніки шляхом підключення до фаз L2 і L3. Нижча напруга потім використовується для подачі живлення на ліві і праві рейки нижче. Нейтральна рейка також заземлена.

Логіка складається з двох кнопок:

- Перша кнопка запуску зазвичай відкрита, так що в разі збою двигун не може бути запущений.

- Друга кнопка зупинки зазвичай закрита, так що в разі збою проводу або з'єднання система безпечно зупиняється.

**Примітка:** Напруга понижуючого трансформатора підключається між фазами L2 і L3. Це збільшить ефективну напругу на 50% від величини напруги на одній фазі.

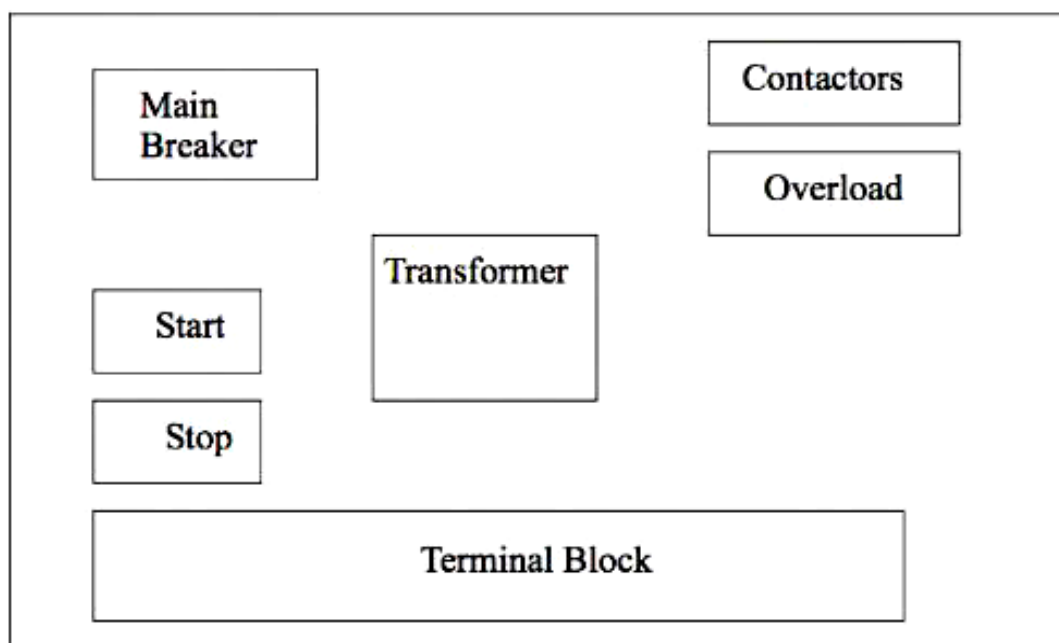


Рисунок 3.6 – Компоновка шафи управління

На діаграмі також показана нумерація проводів в пристрої. Це необхідно для промислових систем управління, які можуть містити сотні або тисячі

проводів. Ці схеми нумерації часто специфічні для кожного об'єкта, але є інструменти, які допоможуть зробити мітки проводів, які з'являться в шафі кінцевого контролю.

Після завершення електричного проектування, розробляється схема шафи управління, як показано на рис. 3.6. Необхідно враховувати фізичні розміри пристроїв, і необхідний достатній простір для прокладки проводів між компонентами.

Потім він буде підключений до контактів і реле перевантаження, з яких складається стартер двигуна. Дві фази також підключені до трансформатора живлення. Кнопки запуску і зупинки знаходяться зліва від коробки (зазвичай вони монтується в іншому місці, і буде потрібно окреме креслення макета).

Остаточний макет шафи може виглядати так, як показано на рис. 3.7.

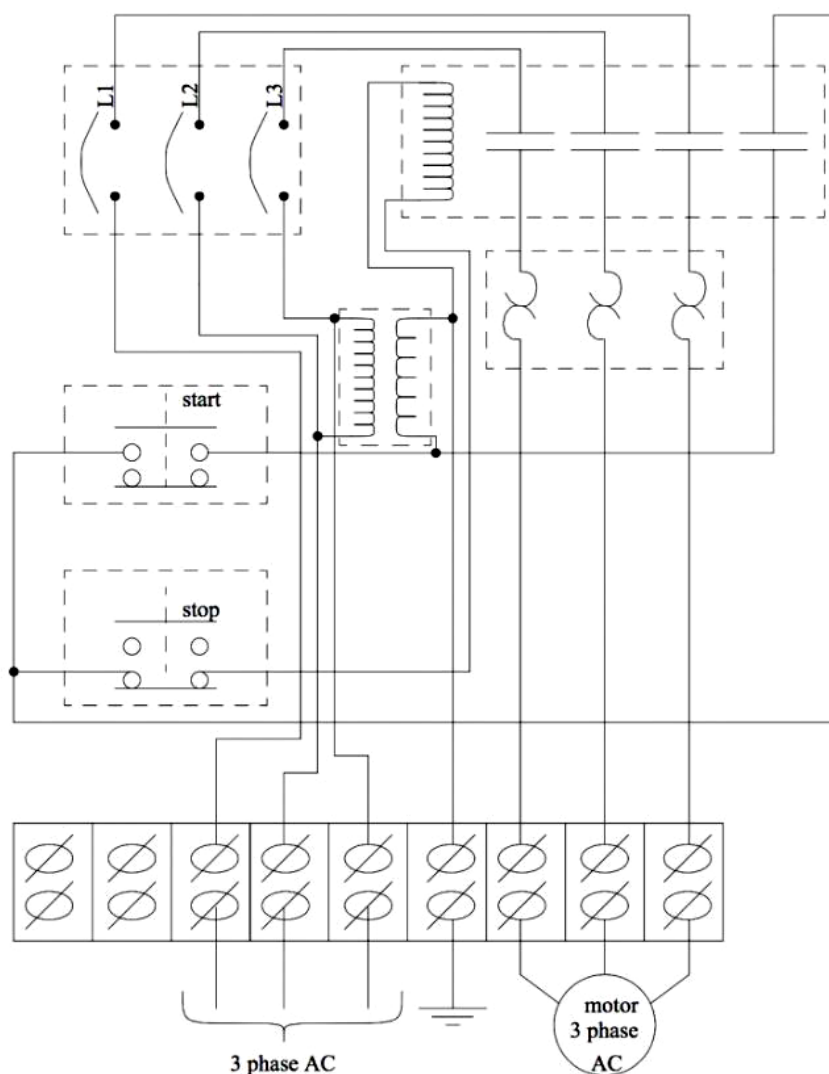


Рисунок 3.7 – Остаточний вигляд панелі ПЛК

На рис. 3.8 нижче показана принципова схема системи управління двигуном на базі ПЛК, аналогічна попередньому прикладу управління двигуном. На цьому малюнку показаний E-stop, підключений для відключення живлення до всіх пристроїв в ланцюзі, включаючи ПЛК.

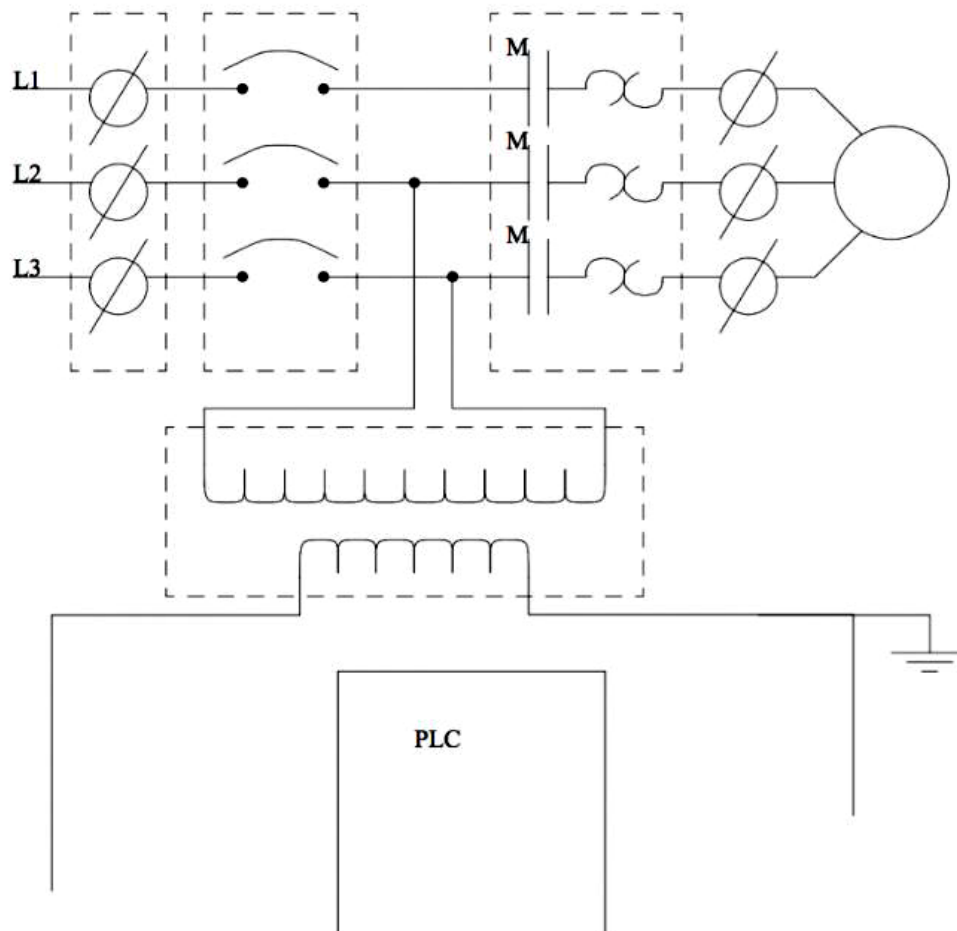


Рисунок 3.8 – Електрична схема з ПЛК

Всі найважливіші функції безпеки повинні бути запрограмовані таким чином [14, 16].

### 3.3. Підбір мікроконтролера та елементів для автоматизації мікроклімату теплиці

Ми вибрали плату мікроконтролера Arduino Mega 2560 для управління датчиками і двигунами/вентиляторами, встановленими всередині теплиці. Arduino



Меха 2560 заснований на чіпі АТмега2560. Він складається з 54 цифрових контактів вводу-виводу, 14 з яких можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів. Він також має 16 аналогових контактів для входів, 4 UART (апаратні послідовні порти) і кварцовий генератор 16 МГц, які необхідні для підтримки мікроконтролера [17].

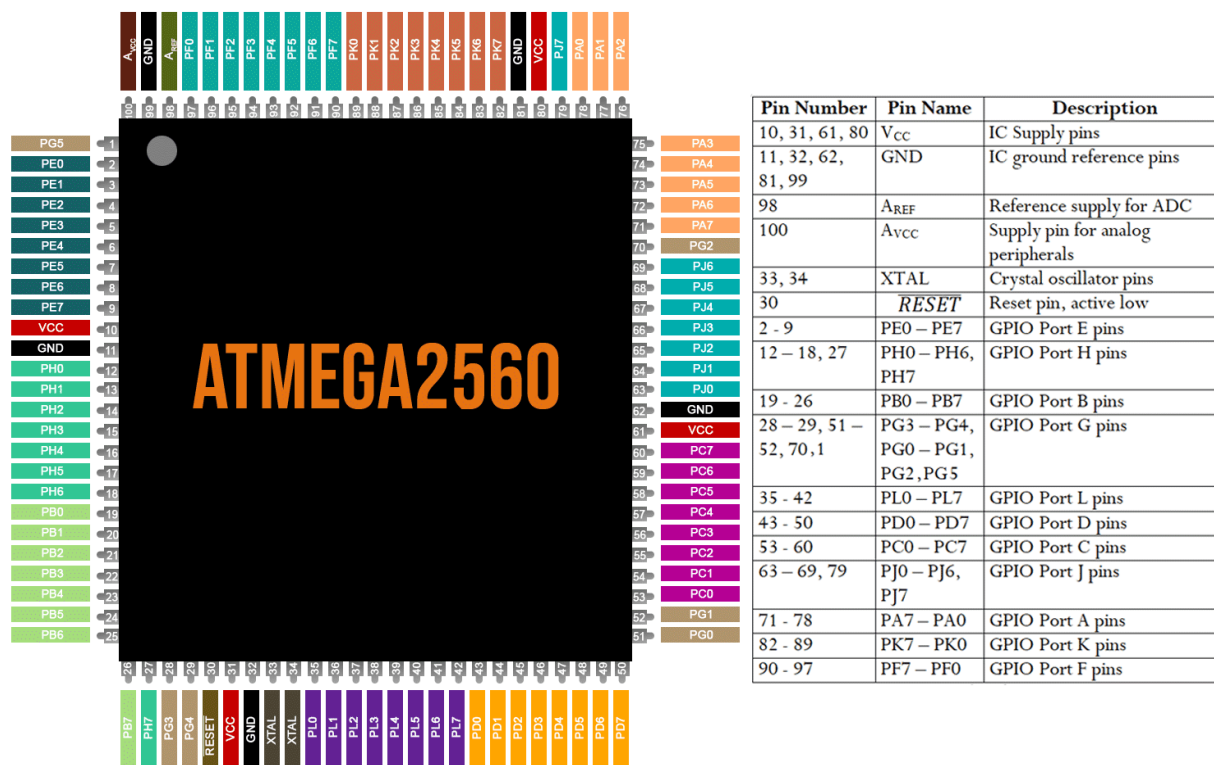


Рисунок 3.9 - Чіп АТмега2560

На заключному етапі реалізації ми використовували 21 цифровий вивід і 7 аналогових виводів для сполучення всіх необхідних датчиків і пристроїв з мікроконтролером Arduino.

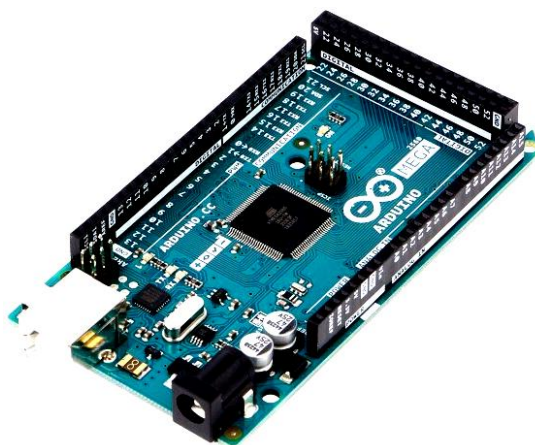


Рисунок 3.10 – Мікроконтролер Arduino Mega 2560





Це дасть нам відмінний шанс поліпшити і масштабувати систему в майбутньому.

Для цифрового датчика температури та вологості DHT11 ми використовували два датчики DHT11.

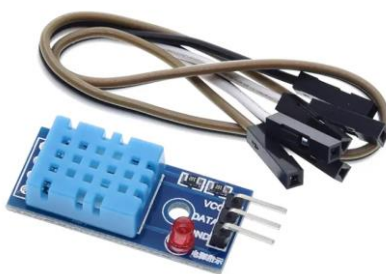


Рисунок 3.12 – Цифровий датчик температури та вологості DHT11

Перший з них стосувався вимірювань всередині теплиці, а другий – вимірювань поза теплиці. Ми розглянули навколишнє середовище, тому що існує значний вплив на внутрішню вологість і температуру зовнішньої вологості і температури. Внутрішній DHT11 з'єднаний з мікроконтролером Arduino через цифровий вихід 2. Зовнішній DHT11 з'єднаний з мікроконтролером Arduino через цифровий вихід 12, як показано на рис. 3.13.

Датчик DHT11 оснащений каліброваним цифровим сигнальним виходом. Цей датчик використовує ексклюзивну технологію збору цифрового сигналу і технологію вимірювання температури і вологості. Таким чином, він забезпечує високу надійність і відмінну довгострокову стабільність. Ґрунтуючись на отриманих вимірах з датчика DHT11, наша платформа буде керувати вентиляторами охолодження і вентиляторами туманостворювача всередині теплиці.

Для аналогового датчика рН ми використовували два датчики рН для вимірювання рН води в резервуарі для води і перед подачею в тепличні лінії. Завдання нашої системи полягає в тому, щоб стабілізувати рівень рН на рівні 7 протягом дуже короткого часу в залежності від кількості необхідної води.

Датчик рН резервуара для води підключений до мікроконтролера Arduino на виводі А6, а датчик рН теплиці підключений до мікроконтролера Arduino на

виводі А5, як показано на рис. 3.11.



Рисунок 3.13 – Аналоговий датчик рН для Arduino

Слід зазначити, що вимірювання проводяться в режимі реального часу. Ґрунтуючись на вимірах, отриманих з аналогового датчика рН, наша платформа буде керувати електричними клапанами для стабілізації рівня рН води.

Датчик газу CO2 MQ135 є ідеальним датчиком якості повітря, тому ми використовували один блок всередині теплиці для вивчення якості повітря.



Рисунок 3.14 – Датчик газу CO2 MQ135

Підключено MQ135 до мікроконтролера Arduino через цифровий вихід 13.

Цей датчик не показаний на схематичній імітаційній моделі, оскільки його бібліотека не була знайдена для симулятора Proteus. Дійсно, спеціально вибрали цей датчик, тому що він відображає свій вихід у вигляді аналогової напруги 0-5 В або у вигляді цифрового виходу. У нашій системі ми прийняли формат цифрового виводу, оскільки його чутливість можна змінювати за допомогою потенціометра. Він оснащений широким спектром виявлення з надзвичайно високою продуктивністю. На основі вимірювань, отриманих з датчика MQ135, наша платформа буде керувати вентиляторами.



Рисунок 3.15 – Датчик світла

Два LDRS взаємодіють з мікроконтролером Arduino через контакти A3 і A4. На основі вимірювань, отриманих за допомогою внутрішнього датчика LDR, наша платформа буде керувати двигунами затінення в теплиці.

ESP8226 – це високо інтегрований модуль Wi-Fi, ми підключили його до мікроконтролера Arduino через два цифрових контакта (20 і 21).

ESP8226 оснащений автономними мережевими можливостями Wi-Fi. Цей модуль має високошвидкісний кеш, який допомагає підвищити продуктивність системи, а також оптимізувати пам'ять.

Це оптимальне рішення для економії енергії, оскільки його вихід VDDA приймає аналогову потужність 2,5 V:3.6 V. крім того, він швидко перемикається між режимом пробудження і режимом сну для ефективного енергозбереження. У нашій платформі ESP8226 відповідає за підключення до Інтернету. Як тільки інформація збирається з наших датчиків, вона відправляється на ESP8226 у вигляді рядкового типу даних. Потім цей рядок відправляється на наш приватний канал на платформі ThingSpeak.

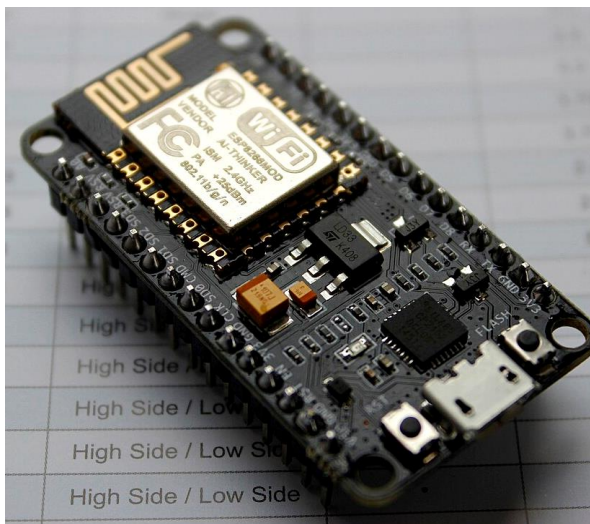


Рисунок 3.16 – ESP8226 високо інтегрований модуль Wi-Fi

16x2 символний LCD дисплей – він нам потрібен для отримання видимого зображення. Він має можливість відобразити 16 символів в рядку в двох таких рядках.

Він взаємодіє з мікроконтролером Arduino через шість цифрових контактів (10, 11, 50, 51, 52, і 53). Він використовується в нашій платформі для відображення деякої базової інформації, такої як запуск системи, запуск датчиків, фіксація певного параметра, відправка даних в хмару і так далі.



Рисунок 3.17 – 16x2 символний LCD дисплей

Реле G5CE-14-DC5 ідеально підходить для комутації живлення в побутових приладах, або для виходів промислових пристроїв.



Рисунок 3.18 – Реле G5CE-14-DC5

У нашій системі ми використовували вісім реле G5CE-14-DC5. Кожне реле пов'язане з виходом для конкретного датчика і підключено до відповідних двигунів/вентиляторів всередині теплиці [1, 2].

### **3.4. Розробка програмного забезпечення автоматизації контролю мікроклімату теплиці**

Перед розробкою програмного забезпечення нашої системи розглянули, що нам потрібно від системи. Система повинна:

- Відображати інформацію про стан системи в режимі реального часу кожен раз, наприклад, "Запуск системи", "Запуск датчиків", "Фіксація певного показника (рН, вологість, температура і т. д.)", "відправка даних в хмару" і т. д.

- Система має можливість попереджати користувача, якщо виникли будь-які проблеми зі справністю.

- Система має достатню гнучкість для розширення за рахунок додавання більшої кількості вимірювань.



Ми ретельно стежили за формальним життєвим циклом системи, щоб отримати ефективну розробку програмного забезпечення, задовольняючи наступним основним вимогам.

Вимоги: відповідно до наших експериментів в режимі реального часу ми визначили необхідну інформацію, яку необхідно зібрати в теплиці, а також бажані результати за допомогою програмного забезпечення [2].

Основне системне програмне забезпечення розбито на керовані блоки. Системне програмне забезпечення представлено шістьма основними блоками.

```
void loop() {
  // The main code that will run repeatedly
  // Capturing the current time
  CurrentTime = millis();

  // Checking whether a specific sensor needs setup
  if (Serial.available() != NULL) {
    // Call the SetupSensors building block (function)
    SetupSensor();
  }
  // Verify that it's the time for the new data collection
  if (CurrentTime - LastCollectTime >= CollectInterval) {
    // Assign the current time to the LastCollectTime variable
    LastCollectTime = CurrentTime;
    // Call the DataCollect building block (function)
    DataCollect();
    // Send the collected readings to the serial monitor
    SendToSerial();
    // Upload the collected measures to ThingSpeak
    SubmitToCloud();
    // Monitor the measured parameters and verify them with the predefined thresholds
    Monitoring();
  }

  // Verify that the LCD show interval has been wasted before printing new information on the LCD
  if (CurrentTime - LastCollectTime >= LCDShowInterval) {
    LastCollectTime = CurrentTime;
    sendToLCD();
  }
}
```

Детальний опис програмних керованих блоків нашої автоматизованої системи виглядає наступним чином:

- **SetupSensors ()**: цей блок дуже важливий для зв'язку з більшістю системних датчиків з різних питань, таких як скидання, ручні показання та калібрування. Для цієї мети ми використовували функцію SetupSensors (), де кожен датчик у нашій системі ідентифікується унікальним ідентифікатором. Як

тільки користувач передає ідентифікатор датчиків, що підлягають налаштуванню для функції `SetupSensors ()`, створюється нова функція `getCommand ()`, яка отримує команди користувача і відправляє їх датчику для подальшої настройки.

- **DataCollect ()**: у кожному інтервалі збору даних функція `DataCollect ()` збирає всі вимірювання та показання з дев'яти датчиків, що використовуються в нашій платформі. Слід зазначити, що кожен датчик використовує свою власну бібліотеку для виконання свого завдання на основі своєї власної функціональності.

- **SendToSerial ()**: ця функція відповідає за друк вимірювань в реальному часі, отриманих від кожного датчика в платформі на нашому послідовному терміналі.

- **SubmitToCloud ()**: як тільки дані були зібрані за допомогою функції `DataCollect ()`, ця функція збирає всі дані в змінній типу `string` з ім'ям "CollectedData" і відправляє їх в ESP8226. Як тільки ESP8226 отримує цю змінну рядка, він надсилає зібрані дані в ThingSpeak. Слід зазначити, що цей процес виконується один раз в кожному інтервалі збору даних.

- **Monitoring ()**: ця функція контролює виміряні параметри. Він також керує двигунами / вентиляторами системи на основі заданих порогових значень для кожного параметра. Крім того, ця функція підтримує освітлення певного параметра включеним, регулюючи його значення в межах нормального і прийнятого рівнів. Наприклад, якщо температура в теплиці стала вище  $26^{\circ}\text{C}$ , то загориться сигнальна лампочка температури і включаться вентилятори охолодження, щоб повернути температуру в теплиці на  $24^{\circ}\text{C}$ . Потім охолоджуючі вентилятори і сигнальна лампа температури перестануть працювати, коли температура в теплиці стане  $24^{\circ}\text{C}$ . слід зазначити, що стан моніторингу системи зазвичай відображається на нашому послідовному моніторі і LCD-дисплеї.

- **SendToLCD ()**: одним з наших основних завдань є відстеження актуальної інформації про всі параметри системи. Таким чином, ця функція використовується для прокручування інформації на LCD-дисплеї кожні п'ять секунд. Варто відзначити, що інформація, яка буде відображатися на LCD-

дисплеї, - це тільки тривожні ситуації, такі як фіксація рН, фіксація температури, фіксація вологості і так далі [12].

Системне програмне забезпечення для Arduino включає кілька основних компонентів, які дозволяють розробляти, компілювати та завантажувати програми на мікроконтролери Arduino. Ось основні компоненти системного програмного забезпечення для Arduino:

### **Arduino IDE (Integrated Development Environment):**

- Це основний інструмент для написання, компілювання і завантаження програм на плату Arduino.
- Arduino IDE підтримує мову програмування, засновану на C/C++.
- Вона має вбудовані бібліотеки, які спрощують роботу з апаратними компонентами, такими як сенсори, двигуни та інші периферійні пристрої.

### **Arduino Core:**

- Набір бібліотек і драйверів, які забезпечують взаємодію між програмним забезпеченням і апаратними засобами платформи Arduino.
- Core містить реалізації стандартних функцій, таких як `digitalWrite()`, `analogRead()`, `Serial.print()`, і багато інших.

### **Arduino Bootloader:**

- Маленька програма, попередньо завантажена на мікроконтролери Arduino.
- Bootloader відповідає за отримання нових програм з Arduino IDE через USB-інтерфейс і запис їх у пам'ять мікроконтролера.
- Завдяки наявності bootloader'a користувачі можуть завантажувати нові програми на плату без використання спеціального програматора.

### **Бібліотеки Arduino:**

- Набір додаткових бібліотек, які розширюють функціональність основного Arduino Core.



- Ці бібліотеки дозволяють легко працювати з широким спектром датчиків, модулів зв'язку, дисплеїв, і інших компонентів.
- Бібліотеки можуть бути встановлені і керовані через Arduino Library Manager в Arduino IDE.

### **Arduino CLI (Command Line Interface):**

- Інструмент командного рядка для взаємодії з Arduino платами і скетчами.
- Дозволяє виконувати ті ж завдання, що і Arduino IDE, але з використанням командного рядка, що зручно для автоматизації процесів або інтеграції з іншими інструментами.

Разом ці компоненти складають системне програмне забезпечення для Arduino, забезпечуючи зручний і ефективний процес розробки, компіляції і завантаження програм на платформи Arduino.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Структурно-функціональний аналіз та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій**

У зображеннях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події, що утворюють конкретну аварійну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм та катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління ОП виробництва, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому аналізу й терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій. Деякі небезпечні ситуації в табл. 4.1.

Працівники, що обслуговують електрообладнання вениляційної системи, зобов'язані знати Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів відповідно до займаної посади або роботи, як вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки [3, 4, 5, 7].

Працівники, що порушили вимоги Правил безпечної експлуатації електроустановок, усуваються від роботи і несуть відповідальність (дисциплінарну, адміністративну, кримінальну) згідно з чинним законодавством. Такі працівники не допускаються до робіт в електроустановках без позачергової перевірки знань вимог правил безпечної експлуатації електроустановок.

Забороняється допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Працівнику, який пройшов перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок, видається посвідчення встановленої форми, яке він зобов'язаний мати при собі під час роботи.

Таблиця 4.1. Аналіз процесів формування та виникнення травмонезбезпечних і аварійних ситуацій [7]

Вид робіт	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Використання механічної вентиляції	Оператор не перевіряв обладнання НУ	Пошкоджений трубопровід мережі НД1 Закупорений трубопровід шланга НД2	Відмова вентиляційної системи (двигуна) НС	Аварія	Розвісити плакати, провести інструктажі із експлуатації обладнання системи
Модель процесу:					
<pre> graph LR   NU[НУ] --&gt; ND[НД]   ND --&gt; NS[НС]   NS --&gt; A[А]   ND1[НД1] -.-&gt; ND_NS   ND2[НД2] -.-&gt; ND_NS   subgraph ND_NS [ ]     ND --&gt; NS   end </pre>					
Використання електронних пристроїв регулювання	Пошкоджена ізоляція провідників з'єднання НУ	Пробій на корпус НД1 Коротке замикання НД2	Ураження людини електричним струмом НС1 Виведення обладнання із ладу НС2	Травма Аварія	Заміна провідників, установа захисного обладнання (запобіжників, захист від ураження людини струмом) тощо
Модель процесу:					
<pre> graph LR   NU[НУ] --&gt; NS1[НС1]   NS1 --&gt; NS2[НС2]   NS2 --&gt; TA[Т,А]   ND1[НД1] -.-&gt; NS1_NS2   ND2[НД2] -.-&gt; NS1_NS2   subgraph NS1_NS2 [ ]     NS1 --&gt; NS2   end </pre>					

## 4.2. Розрахунок складного заземлювача

Основним параметром, що характеризує заземлюючий пристрій, є його опір розтіканню струму, який залежить від опору землі. Опір розтіканню штучних заземлювачів залежить від ґрунту, в якому вони прокладені, їх довжини, глибини закладання, форми і ступеню прилягання заземлювача до землі.

Опір розтіканню кожного із заземлювачів можна визначити за формулами. Заземлювач розміщений біля поверхні ґрунту [3, 4]:

$$R_0 = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}, \quad (4.1)$$

$$R_0 = 0,366 \frac{0.9 \cdot 10^4}{20} \cdot \lg \cdot \frac{4 \cdot 250}{40} = 183 \text{ Ом.}$$

де  $R_0$  - опір розтіканню одиничного трубчастого заземлювача, Ом;  $\rho$  — питомий опір ґрунту, Ом×см;  $l$  – довжина труби, см;  $d$  — діаметр труби, см.

Опір розтіканню струму для трубчастого стержня, забитого на певну глибину від поверхні ґрунту, визначають за формулою:

$$R_0 = 0.366 \frac{\rho}{l} \left[ \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h+l}{4h-1} \right], \quad (4.2)$$

$$R_0 = 0,366 \frac{0.9 \cdot 10^4}{250} \left[ \lg \frac{2 \cdot 250}{40} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 125 + 250}{4 \cdot 125 - 250} \right] = 21,4 \text{ Ом}$$

де  $h$  — відстань від поверхні землі до середини заземлювача, см.

Опір розтіканню заземлювача, виготовленого з металевої штаби, визначають за формулою:

$$R_w = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bh} \quad (4.3)$$

$$R_\phi = 0,366 \frac{0.9 \cdot 10^4}{250} \lg \frac{2 \cdot 250^2}{125 \cdot 4} = 302,9 \text{ Ом.}$$

де  $l$  — довжина штаби, см;  $b$  — ширина штаби, см;  $h$  — глибина закладання заземлювача, см.

Складний заземлювач складається з певної кількості електродів і однієї штаби. Необхідну кількість вертикально розміщених заземлювачів (стержнів) визначають за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_\delta \eta_c} \quad (4.4)$$

$$n = \frac{21,4}{0,44 \cdot 4} = 12,1 \approx 12i \text{ шт.}$$

де  $R_\delta$  — допустимий опір заземлювача проектного об'єкта або об'єкта, для якого проектується заземлення, Ом;  $\eta_c$  — коефіцієнт використання заземлювачів.

Відповідно розрахунковий опір заземлювача, що має  $n$  стержнів без штаби, визначають за формулою:

$$R_{cp} = \frac{R_0}{n \eta_c} \quad (4.5)$$

$$R_{cp} = \frac{21,4}{0,44 \cdot 12} = 4,1 \text{ Ом.}$$

Опір розтіканню штаби з урахуванням коефіцієнта використання штаби тіш визначають за формулою:

$$R_{\phi \delta} = \frac{R_\phi}{\eta_\phi} \quad (4.6)$$

$$R_{up} = \frac{302,9}{0,2} = 1514,5 \text{ Ом.}$$

Опір складного заземлювача з урахуванням опору розтіканню трубчастих заземлювачів і штаби визначають за формулою:

$$R_{c3} = \frac{R_{cp} R_{\phi \delta}}{R_{cp} + R_{\phi \delta}} \quad (4.7)$$

$$R_{c3} = \frac{4,1 \cdot 1514,5}{4,1 + 1514,5} = \frac{6209,4}{1518,6} = 4 \text{ Ом.}$$

Після визначення опору складного заземлювача його порівнюють з опором, регламентованим вимогами спеціальних правил. Регламентований опір для заземлення становить 4 Ом. Що відповідає нашому розрахунку.

### 4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави. Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

**Інженерний захист** проводиться з метою виконання вимог ІТЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше.

**Медичний захист** проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

**Біологічний захист** включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

**Радіаційний і хімічний захист** включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

## 5. РОЗРАХУНОК ПОСТІЙНИХ ВИТРАТ НА ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ФОНДІВ

Витрати на оплату праці з урахуванням відпусток та перерахунків визначають формулою:

$$Z_{on} = [(T \cdot 5,2 \cdot m_1 \cdot t_1) + (T \cdot 3,8 \cdot m_2 \cdot t_2)] \cdot 1,9 \quad (5.1)$$

де  $T$  – число днів роботи теплиці; 3,2; 2,8 – годинні тарифні ставки оператора і працівника в годину;  $m_1$ ,  $m_2$  – число операторів і працівників; в проектованій теплиці безпосередньо (не включаючи прибирання, посадку і доставку добрив) працює 2 людини; 1,9 – коефіцієнт, що враховує нарахування.

Фонд місячної оплати праці для оператора обладнання теплиці та помічника:

$$Z_{on.np} = [(240 \cdot 5,2 \cdot 2 \cdot 8) + (240 \cdot 3,8 \cdot 1 \cdot 8)] \cdot 1,9 = 51801,6 \text{ грн/міс.}$$

Амортизаційні відрахування теплиці складаються з амортизаційних відрахувань будівлі, машин, обладнання:

$$A = \frac{B \cdot K_a}{100} \quad (5.2)$$

де  $B$  – балансова вартість основних фондів, грн.;  $K_a$  – коефіцієнт щорічних амортизаційних відрахувань, %.

Відповідно до (5.2) необхідно розрахувати балансову вартість основних фондів. Основні капіталовкладення теплиці складаються із капіталовкладень на спорудження, елементи конструкції та обладнання:

$$K = Cб + B, \quad (5.3)$$

де  $Cб$  – вартість спорудження і елементи конструкції, грн.;  $B$  – балансова вартість обладнання, грн.

З урахуванням транспортування та монтажу визначаємо балансову вартість споруд і будівель за формулою:

$$Cб = Vб \cdot K_v, \quad (5.4)$$

де  $Vб$  – об'єм приміщення базової теплиці,  $Vб = 2160 \text{ м}^3$ ;  $K_v$  – вартість  $1 \text{ м}^3$  приміщення теплиці,  $K_v = 150 \text{ грн.}$

Для проектованої теплиці:

$$C_b = 2160 \cdot 150 = 324\,000 \text{ грн.}$$

Балансову вартість обладнання теплиці визначаємо за формулою:

$$B = K \cdot C, \quad (5.5)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування і монтаж обладнання,  $K = 1,2$ ;  $C$  – ціна обладнання теплиці,  $C = 92\,500$  грн.

$$B = 1,2 \cdot 92\,500 = 111\,000 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення для проектованої теплиці:

$$K_n = C_{np.} + B. \quad (5.6)$$

$$K_n = 324\,000 + 111\,000 = 435\,000 \text{ грн.}$$

Отже, відрахування на амортизацію споруд:

$$A_c = \frac{435000 \cdot 4}{100} = 17400 \text{ грн./рік.}$$

Відрахування на амортизацію обладнання:

$$A_o = \frac{111000 \cdot 3}{100} = 3330 \text{ грн./рік.}$$

Відрахування на поточний ремонт споруд становить 3% від первісної вартості:

$$Z_p = \frac{324000 \cdot 3}{100} = 9720 \text{ грн./рік.}$$

Витрати на електроенергію розраховуються за формулою:

$$Z_e = 240 \cdot N \cdot 7,1 \quad (5.7)$$

де  $N$  – добові витрати на електроенергію, кВтгод; 3,6 – ціна електроенергії для підприємств, грн/кВтгод; 240 – кількість днів роботи теплиці.

$$Z_e = 240 \cdot 68,5 \cdot 3,6 = 49\,320 \text{ грн.}$$

Загальна сума експлуатаційних витрат складе:

$$Z_{екс} = Z_{он.п} + Z_a + Z_p + Z_e, \quad (5.8)$$

$$Z_{екс.} = 51801,6 \cdot 12 + 17400 + 9720 + 49\,320 = 698\,059 \text{ грн./рік.}$$

Відповідно, загальні місячні експлуатаційні витрати –  
 $698\,059 / 12 = 58\,172$  грн/міс.



## ВИСНОВКИ

Цілорічне виробництво свіжих овочів призводить до того, що попит значно перевищує пропозицію. Так, вітчизняні теплиці здатні задовільнити попит лише на 10-20%. У той же час наша країна експортує тепличні овочі на зовнішні ринки. Головним споживачем є Білорусь, однак за останні два роки її частка в структурі імпорту скоротилась із 77% до 56,8%. Проте зросла частка Польщі з 1,6% до 3,5%, Естонії — з 3% до 8,6% та Молдови — з 0,6 до 2%.

Теплиця дає можливість отримувати урожай швидше, ніж на відкритому ґрунті, та не залежати від зміни погоди, не всі господарі поспішають їх встановлювати. Отримання хорошого врожаю в теплиці – це можливість, а не гарантія, адже теплиці та парники потребують постійного та ретельного догляду. Ці конструкції мають низку недоліків, які можуть для садівника переважити все потенційні переваги.

Динамічному розвитку тепличного бізнесу перешкоджає його висока капіталоємність, особливо на початковому етапі. Щоб збудувати новий тепличний комплекс на новому місці (овочеве виробництво), потрібно вкласти приблизно 350-400 євро на 1 м<sup>2</sup>. За нинішніх цін на енергоносії, добрива та інші необхідні складові строк окупності становить приблизно 10-12 років.

У сучасному сільському господарстві теплиці є незамінним інструментом для вирощування рослин. їх використовують для збільшення врожайності, збереження рослин від негативних погодних умов та продовольчої безпеки. Теплиці можуть бути різних типів, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

Незалежно від типу теплиці, їх використання допомагає зберегти рослини від шкідників та захворювань, сприяє ранньому початку вегетації та збільшенню врожайності. Однак, вибір типу теплиці повинен залежати від конкретних умов та потреб господарства, а також враховувати їх переваги та недоліки.

Отже виходячи з виконаної роботи, запропоновано функціональну та структурну схему системи автоматизації в аеропонній теплиці. Побудовано контур регулятора температури, контур регулятора вентиляторів, контур

регулятора освітлення, схему інформаційно-матеріальних потоків та функціональну схему. Як результат ця САК має достатньо вискі показники та рівень автоматизації за відносно невеликих капіталовкладень.

Системне програмне забезпечення для Arduino включає кілька основних компонентів, які дозволяють розробляти, компілювати та завантажувати програми на мікроконтролери Arduino. Основні компоненти системного програмного забезпечення для Arduino: 1) Arduino IDE (Integrated Development Environment); 2) Arduino Core; 3) Arduino Bootloader; 4) Бібліотеки Arduino; 5) Arduino CLI (Command Line Interface).

Загальні місячні експлуатаційні витрати на утримання основних фондів теплиці 58 172 грн/міс.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація процесів управління мікрокліматом тепличного блоку. URL: <https://www.2d3d.ru/2d-galereia/automatika/465-avtomatizaciya-processov-upravleniyamikroklimatom-teplichnogo-bloka.html>
2. Автоматичне регулювання споживання теплової енергії. URL: [http://www.aiss33.ua/other\\_fotos/auto\\_regulate.pdf/](http://www.aiss33.ua/other_fotos/auto_regulate.pdf/)
3. Гряник Г.М. Охорона праці / [Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. та ін.]. К. : Урожай, 2010. 273 с.
4. Довідник нормативних документів у сфері охорони праці, пожежної безпеки, гігієни праці та соціального страхування від нещасних випадків. К.: Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України, 2009. 244 с.
5. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. [5-е вид.]. Львів : Афіша, 2010. 350 с.
6. Кокорін О.Я. Установки кондиціонування повітря. Основи розрахунку і проектування. К.: Машинобудування, 2018. 264 с.
7. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві / Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев В.І. К. : Урожай, 2013. 270 с.
8. Оснащення тепличних конструкцій. URL: <http://parnikiteplicy.ua/ustrojstvo/avtomatizaciya.html>
9. Світлова культура рослин в теплицях. URL: <http://www.greenhouses.ru/Svetokultura>
10. Системи автоматизації теплиць. URL: <http://automation.pro/model-projects/sistemy-avtomatizacii-teplic>
11. Системи електричного досвічування в теплицях. URL: <http://www.greenhouses.ru/Sistemy-dosvechivanija>
12. Системи АСУ в тепличному господарстві. URL: <http://elektrocar.narod.ru/doc/4.pdf>

13. Системи управління мікрокліматом теплиці. URL: <http://www.fito-system.ru/climate-systems>
14. Сучасна теплиця: автоматизована система. URL: <http://vseoteplicah.ru/instrumenty/avtomatizaciya-teplicy-svoimi-rukami.html>.
15. Сучасні теплиці і парники. URL: <http://mexalib.com/read/486014>
16. Функціонально-технологічна схема системи автоматичного регулювання мікрокліматом. 2019. URL: <http://ukrefs.com.ua/92832-Avtomaticeskoe-upravlenie-mikroklimatom-teplicypo-neskol-kim-parametram-s-pomosh-yu-ustanovki-ORM-1.html>
17. Aeroponic Greenhouse as an Autonomous System Using Intelligent Space for Agriculture Robotics. 2017. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-05582-4\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-05582-4_7)
18. Automatic microclimate control system in an aeroponic greenhouse. 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/337976447\\_A\\_fuzzy\\_microclimate\\_controller\\_for\\_small\\_indoor\\_aeroponics\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/337976447_A_fuzzy_microclimate_controller_for_small_indoor_aeroponics_systems)
19. Monitoring and Control Systems in Agriculture Using Intelligent Sensor Techniques: A Review of the Aeroponic System. 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/329799465\\_Monitoring\\_and\\_Control\\_Systems\\_in\\_Agriculture\\_Using\\_Intelligent\\_Sensor\\_Techniques\\_A\\_Review\\_of\\_the\\_Aeroponic\\_System](https://www.researchgate.net/publication/329799465_Monitoring_and_Control_Systems_in_Agriculture_Using_Intelligent_Sensor_Techniques_A_Review_of_the_Aeroponic_System)
20. Methodology for selecting systems for greenhouses. 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/307559668\\_METHODODOLOGY\\_FOR\\_SELECTING\\_AND\\_APPLYING\\_PHOTOVOLTAIC\\_SYSTEMS\\_FOR\\_GREENHOUSES](https://www.researchgate.net/publication/307559668_METHODODOLOGY_FOR_SELECTING_AND_APPLYING_PHOTOVOLTAIC_SYSTEMS_FOR_GREENHOUSES)

# ДОДАТКИ

## Додаток А.

## Промислова шафа управління



Рисунок А.1 – Шафа управління з проводами та кнопками на передній панелі ПЛК