

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра електричної інженерії

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «**РОЗРОБКА СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ В
ТЕПЛИЧНИХ ГОСПОДАРСТВАХ ЗА УМОВИ
ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**»

Виконав: студент VI курсу, групи ЕЕм-61,
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шшико Володимир Олександрович

(прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Тернопіль – 2019 рік

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
 Кафедра електричної інженерії
 Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр
 Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»
 Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 електричної інженерії
д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

“ ___ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шшико Володимиру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка системи мікроклімату в тепличних господарствах за умови використання сонячної енергії»

керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23 серпня 2019р. № 4/7-731

2. Строк подання студентом роботи - грудень 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: Виконати порівняльну характеристику існуючих систем підтримки мікроклімату, вказати їх переваги та недоліки. Виконати розрахунок енергетичного балансу теплиці. Розробити функціональну схему управління обладнанням мікроклімату теплиці. Розробити схему автоматизованої системи автополиву та програмне забезпечення її функціонування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Проектно-конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

8. Екологія

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставлені задачі та шляхи їх розв'язку

2. Розрахункова схема енергетичного балансу теплиці

3. Функціональна схема управління обладнанням мікроклімату теплиці

4. Електрична схема управління вентиляцією та калориферною системою

5. Блок-схема логіки роботи системи поливу

6. Логічна схема автоматизованої системи автополиву

7. Загальні висновки до дипломної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Обґрунтування економічної ефективності	Мельник Л.М., к.е.н. доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О.Я., к.т.н. доцент		
	Стручок В.С., ст. вих.		
Екологія	Зварич Н.М., к.т.н. доцент		

7. Дата видачі завдання - вересень 2019 року _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина		
2	Науково-дослідна частина		
3	Технологічна частина		
4	Проектно-конструкторська частина		
5	Спеціальна частина		
6	Обґрунтування економічної ефективності		
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
8	Екологія		
9	Оформлення пояснювальної записки		
10	Оформлення графічної частини		

Студент

(підпис)

Шинько В. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Оробчук Б. Я.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шишко В.О. Розробка системи мікроклімату в тепличних господарствах за умови використання сонячної енергії, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2019

Стор. - 129; рис. - 26; табл. - 19; плакатів - 7; джерел – 35; додатків -2.

В дипломній роботі виконано розробку системи мікроклімату для тепличного господарства з використанням сонячної енергії.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи електроустаткування для систем підтримки мікроклімату в теплицях за рахунок впровадження енерго-ефективного електрообладнання, що дозволяє збільшити вихід продукції при зниженні витрат на паливно-енергетичні ресурси.

В роботі запропоновано технологію забезпечення мікроклімату, виконано розрахунок теплового балансу теплиці з впровадженням в технологічний процес геліоустановки. Виконано розробку електричної схеми і системи автоматичного управління вентиляцією теплиці, розроблено автоматизовану систему поливу на базі логічного програмованого контролера та прикладне програмне забезпечення автоматизованої системи поливу для персонального комп'ютера.

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

ANNOTATION

Shyshko V. Microclimate system development in greenhouses with the usage of solar energy. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group EEM-61. – Ternopil: TNTU, 2019

Page – 129; Illustrations – 26; Tables – 19; Blueprints – 7; Sources – 35; Applications – 2.

In the diploma paper is devoted to the development of a microclimate system for a greenhouse using solar energy.

The purpose of the work is to increase the efficiency of electrical equipment for microclimate support systems in greenhouses due to the introduction of energy efficient electrical equipment, which allows to increase production output while reducing the cost of fuel and energy resources.

In the work the technology of providing of microclimate is offered, the calculation of the heat balance of the greenhouse with the introduction into the technological process of solar installation is performed. Development of electrical scheme and system of automatic control of ventilation of the greenhouse, automated irrigation system based on logic programmable controller and application software of automated irrigation system for personal computer.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Аналіз існуючих систем автоматизації теплиць	16
1.2 Огляд систем поливу і дозації добрив	23
1.3 Огляд систем вимірювання параметрів дренажу	23
1.4 Аналіз сучасних систем управління мікрокліматом.....	26
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	30
2.1 Теплофізичний розрахунок теплиці	30
2.2 Розрахункова схема теплообміну і фізико-математична модель формування енергетичного режиму в теплиці.....	31
2.3 Визначення теплових потоків втрат	33
2.4 Розрахунок теплових втрат і теплової потужності обладнання	38
2.5 Фізико-математична модель енергетичного режиму в теплиці	40
2.6 Рівняння теплових балансів	41
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	47
3.1 Загальні відомості про господарство	47
3.2 Клімат, рельєф, економічні показники	48
3.3 Виробничі ресурсів, сільськогосподарські машини та електрична частина.....	50
3.4 Тепличне господарство ПАП «Агропродсервіс».....	53
3.5 Технологія забезпечення мікроклімату.....	54
4 ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	60
4.1 Розрахунок розробленого проекту теплиці	60
4.2 Модернізація системи електрифікації теплиць.....	67
4.3 Розрахунок теплового балансу геліоустановки теплиці	68
4.4 Розрахунок тягового електромагніту	70
4.5 Розрахунок пружини електромагніту.....	73

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	77
5.1 Розрахунок системи вентиляції	77
5.2 Розробка електричної схеми і системи автоматичного управління вентиляцією теплиці	79
5.3 Розрахунок системи поливу	84
5.4 Розробка автоматизованої системи поливу	87
5.5 Розробка програми для персонального комп'ютера	93
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	97
6.1 Економічне обґрунтування проекту	97
6.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	99
6.3 Розрахунок заробітної плати і амортизаційних відрахувань.....	99
6.4 Розрахунок експлуатаційних витрат та економічного ефекту	101
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ...	105
7.1 Стан охорони праці на об'єкті проектування та заходи щодо попередження травматизму.....	105
7.2 Розрахунок контурного заземлення теплиці	107
7.3 Безпека життєдіяльності при електрифікації сільськогосподарських об'єктів	110
8 ЕКОЛОГІЯ	114
8.1 Вплив тепличних господарств на навколишнє середовище.....	114
8.2 Природоохоронні заходи при будівництві теплиць	114
8.3 Способи захисту навколишнього середовища при роботі теплиць	117
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	119
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	120
ДОДАТКИ.....	123
Додаток А.....	124
Додаток Б.....	128

ВСТУП

Актуальність теми. Найважливішим завданням сільськогосподарського виробництва є рівномірне цілорічне забезпечення населення свіжими овочами. Для вирішення зазначеного завдання близько 25% усіх вироблених овочів повинні вирощуватися в утепленому ґрунті, парниках і теплицях. Вирощування багатьох сільськогосподарських культур можна вести в захищеному ґрунті, який оснащений устаткуванням, що забезпечує створення мікроклімату, а також створює сприятливі умови для росту рослин не залежно від стану зовнішнього середовища.

Захищений ґрунт ділиться на утеплений ґрунт, парники і теплиці.

Теплиці - вид споруд, призначений в першу чергу для вирощування розсади овочевих культур, саджанців та іншого і завдяки своїй високій технічній оснащеності, дозволяють вирощувати овочі цілий рік, у всіх кліматичних зонах України. В даний час найбільш доцільно застосовувати ті тепличні приміщення, які є найменш енерговитратними спорудами.

Серед технологічних процесів, що проводяться в теплицях, особливу важливість мають процеси автоматичного контролю і підтримки параметрів мікроклімату теплиць. Одними з найважливіших параметрів, що визначають швидкість розвитку рослин, є вологість і температура повітря всередині теплиці.

Особливо актуальним є зниження енерговитрат, тому що вони займають значний відсоток в собівартості овочевої продукції в теплицях. Аналіз наукових публікацій, звітів тепличних комбінатів, а також власні дослідження показали, що енерговитрати на виробництво овочів в тепличних господарствах становлять близько 40%. Тому проблемою ведення тепличного господарства зазвичай є не виправдано великі витрати на традиційні енергоресурси.

При цьому доцільним є електричний обігрів в тепличних господарствах, що має низку суттєвих переваг перед іншими традиційними видами обігріву. Великим резервом подальшого підвищення економічної ефективності в цьому

виробництві в сучасних умовах може служити і широке використання і нетрадиційних екологічно чистих джерел енергії - енергії сонця, вітру, глибинного тепла землі.

Аналіз спеціальної літератури показав, що виробництво овочів в захищеному ґрунті не завжди може бути прибутковим з погляду впливу різних чинників як економічного, технологічного, так і природного характеру. Тому зниження витрат на паливно-енергетичні ресурси в собівартості продукції захищеного ґрунту є актуальним.

У той же час питання дослідження і розробки систем автоматичного контролю параметрів мікроклімату, здатних працювати в умовах інформаційної невизначеності теплиць, вивчені слабо. Тому розробка інтелектуальної системи контролю вологості і температури повітря в теплиці є актуальною темою.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності роботи електроустаткування для систем підтримки мікроклімату в теплицях за рахунок впровадження енергоефективного електрообладнання, що дозволяє збільшити вихід продукції при зниженні витрат на паливно-енергетичні ресурси.

Для досягнення мети поставлені та вирішені такі завдання:

- проведено аналітичний огляд науково-літературних джерел за тематикою досліджуваного об'єкту, надано порівняльну характеристику існуючих систем підтримки мікроклімату, вказано їх переваги та недоліки;

- розроблено розрахункову схему енергетичного балансу теплиці з технічним обігрівом для нічного часу з зонним укриттям, виведено рівняння теплового балансу для робочих зон;

- розроблено функціональну схему управління обладнанням мікрокліматом теплиці;

- вибрано геліокотел для створення умов мікроклімату теплиці, розроблено електричну схему управління вентиляцією та калориферною системою;

- розроблено блок-схему логіки роботи системи поливу та вибрано програмований логічний контролер для її реалізації;

- розроблено логічну схему автоматизованої системи автоматичного поливу;
- розроблено програмне забезпечення для керування автополивом в теплиці.

Об'єктом дослідження є теплиці як об'єкт автоматизації та удосконалення систем автоматичного керування мікрокліматом.

Предмет дослідження – процеси опалення, зволоження, вентиляції та освітлення, котрі підтримують ідеальний мікроклімат для рослин у теплиці.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено математичну фізико-математичну модель енергетичного режиму в теплиці, яка дозволяє оперативно управляти роботою встановленого електроустаткування для підтримки необхідних параметрів мікроклімату;
- розроблено алгоритм роботи програмованого логічного контролера, що дозволяє підвищити ефективність роботи системи автополиву та знизити споживання енергії.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Результати роботи вносять науковий вклад в розвиток сільськогосподарських та приватних теплиць. Розробки даної системи автоматизованого керування мікрокліматом, автоматизованої системи автополиву та отримані результати із застосуванням розробленого програмного забезпечення можуть бути використані у наукових дослідженнях подібної тематики.

Результати дипломної роботи можуть бути використані в ряді господарств України при проектуванні системи управління мікрокліматом в тепличних господарствах, що дозволить забезпечити підвищення ефективності роботи існуючого електрообладнання.

Апробація результатів магістерської роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 р. (Тернопіль, 2019 р.)

Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Розробка системи забезпечення мікроклімату в теплиці». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – Т. 3, С. 73-74.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (35 найменувань), 2 додатків.

Загальний обсяг текстової частини: 129 сторінок, 19 таблиць, 26 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз існуючих систем автоматизації теплиць

Системи крапельного поливу. Крапельний полив за малооб'ємною технологією для овочевих, квіткових і розсадних комплексів, зрошення з поворотним розчином. На сьогоднішній день жоден новий тепличний комбінат не обходиться без системи крапельного поливу. Це основа основ, що дозволяє подавати під рослини строго дозовану кількість добрив і води в потрібний час в потрібній пропорції. Сучасне крапельне зрошення передбачає установку цілого комплексу інженерних систем і мереж, що забезпечують в автоматичному режимі рослини необхідної підгодівлю. Все технологічне обладнання працює під управлінням однієї комп'ютерної програми, за допомогою якої легко можна проводити контроль процесів поливу в реальному часі, а також переглядати архівні дані і вносити коригування [3].

Система крапельного поливу складається з декількох складових:

- приготування води (фільтрація, нагрівання, стабілізація бікарбонатів);
- приготування розчину (розчинний вузол - мозок і серце системи крапельного поливу);
- магістральний трубопровід і крапельна мережу (роздача живильного розчину рослинам);
- також до системи крапельного поливу можна віднести наступні складові:
 - система повторного використання дренажу (подача використаного розчину назад в полив);
 - приготування маточних розчинів (розчинення сухих добрив у воді).

Приготування води для поливу і зрошення. Сучасна технологія передбачає високі вимоги до якості поливальної води. У ній має міститися певна кількість мікро- і макроелементів, а також існують вимоги до рівня pH і чистоті води. Додатковим фактором є те, що вода повинна надходити до рослини витриманою температурою. Багатоступінчасті вузли фільтрації поливальної води, що складаються з піщано-гравійних і дискових фільтрів, очищають воду від механічних

частинок до 130 мікрон. Також фільтри допомагають позбутися від органічних сполук, часто потрапляють у воду з відкритих водойм. Вузол забезпечений електронікою, яка в міру забруднення фільтра здійснює його автоматичну промивку. Фільтрація води в системах крапельного поливу отримала дуже широке поширення. Вона необхідна при підготовці води до поливу, для запобігання засмічення крапельниць, а також для забезпечення безперебійної та тривалої роботи інженерного обладнання. Крім цього, фільтрація використовується в системах з рециркуляцією дренажного розчину. Як відомо, дренаж перед повторним використанням повинен бути продезінфікований, але будь-яка дезінфікуюча установка, незалежно від типу, вимагає попередньої фільтрації від вмісту в дренажі суспензій [4].

Піщано-гравійні фільтри (будь-якої продуктивності) очищають воду від домішок і суспензій, з якими не можуть впоратися сітчасті або пластинчасті фільтри. Пристрій виконаний на нержавіючій рамі, як незалежний модуль і легко інтегрується, як в існуючі системи, так і в нові проекти. Для зручності використання промивка фільтра здійснюється в автоматичному режимі. Додаткове очищення води забезпечує фільтр тонкого очищення (130 мікрон). Надійні і практичні пластинчасті фільтри забезпечують механічну очистку розчинів від фракцій понад 130 мкм. Фільтруючі елементи легко промиваються і мають практично необмежений термін служби. Пристрій може поставлятися, як з насосом, який виконує функцію подачі води з накопичувальної ємності в розчинний вузол, так і без нього. На рис. 1.1 показано зовнішній вигляд вузла фільтрації поливального розчину.

Вузли стабілізації рН (підкислення). Найпоширеніша проблема на тепличних підприємствах - це високий рівень бікарбонатів у воді. Їх основний негативний ефект полягає в тому що вони нейтралізують міститься в поливальному розчині кислоту і ускладнюють тим самим засвоюваність поживних елементів коренем рослини [5].



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд вузла фільтрації поливального розчину

Для цього існує спеціально автоматизований пристрій, що дозволяє нейтралізувати бікарбонати на етапі підготовки води до поливу розсади. На рис. 1.2 показано зовнішній вигляд вузла стабілізації [5].



Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд вузла стабілізації рН

Практично кожен агроном стикався з проблемою зміни pH в процесі поливу, з ситуацією, коли розчинний вузол готує розчин відповідно до завдання кислотності, а під крапельницю приходить розчин з рівнем pH вище заданого на 0,5-1,0. Така проблема виникає через із-за вмісту у воді бікарбонатів. Їх негативний ефект полягає в нейтралізації кислоти під час руху по трубах, від чого й виникає зміна pH з-під крапельниці.

Однією з вітчизняних розробок є спеціальний пристрій, призначений для попередньої стабілізації pH . Завдання цього пристрою полягає в зменшенні кількості бікарбонатів за рахунок подачі в воду кислоти. Відмінність від розчинного вузла полягає в тому, що пристрій встановлюється до бака запасу води. Таким чином, в баку запасу води починаються процеси іонообміну і бікарбонати, нейтралізуючи додану кислоту, зменшуються в кількості. І в той момент, коли вузол починає качати воду з бака, вона вже є придатною для поливу, і зміна pH в ній відбуватися не буде. Стабілізатор pH обладнаний контролером, який повністю стежить за процесом. Подвійний контроль pH знижує ймовірність помилки. Широка функціональність контролера вітчизняної розробки дозволила закласти в програму можливість управляти фільтрацією з автоматичною промивкою, а також процесом приготування гарячої води за заданим графіком. Це перетворює стабілізатор pH в повністю закінчений пристрій, який може виконувати весь цикл підготовки води до поливу, і дозволяє інтегруватися як в існуючі системи крапельного поливу, так і в нові.

Вузли підігріву води. Для того, щоб рослини нормально розвивалися, розчин, що подається на полив, повинен бути певної температури. Для контролю та управління процесом води можна використовувати спеціально розроблені вузли підігріву, які включають в себе швидкісний теплообмінник, регулюючу арматуру і автоматику управління. За налаштуваннями агронома вузол автоматично підтримує температуру води на встановленому рівні. Вимоги до температури води для поливу варіюються від 18 до 25 градусів, в залежності від вирощуваної культури і фази росту рослин. А джерелом поливної води найчастіше є свердловини, що мають температуру 3-7 градусів вище нуля. Тому в системах автоматичного поливу практично завжди використовуються системи підігріву води.

Іноді нагрівання води для поливу здійснюється централізовано для всього підприємства, але така схема має ряд недоліків. По-перше, для різних культур потрібна різна температура води. По-друге, в системах з рециркуляцією дренажу, що використовують термічний дезінфектор, очищений дренаж може мати температуру близько 27-30 градусів і, відповідно, при змішуванні з водою, змінює її температуру.

Функціональні можливості дозволяють агроному-технологу задати індивідуальну температуру для кожної зрошуваної культури, навіть якщо вони поливаються через один розчинний вузол. Управління температурою здійснюється за допомогою триходового змішувального клапана і може здійснюватися як від розчинного вузла, так і автономно. Додатковою перевагою є наявність засувки на стороні тепломагістралі, яка закривається при закінченні споживання води. Це дозволяє уникнути "температурних пробок" всередині теплообмінника.

Інтеграція даного вузла в загальну технологічну схему дозволяє використовувати його як для підігріву поливальної води, так і для води для технологічних потреб (заповнення баків з матковими розчинами, резервного поливу та ін.) На рис. 1.3 показано зовнішній вигляд вузла нагріву води [5].



Рисунок 1.3 - Зовнішній вигляд вузла нагріву води

Приготування поживного розчину для крапельного поливу. Основний процес крапельного поливу відбувається саме тут - в розчинному вузлі. Розчинний вузол призначений для приготування живильного розчину заданої концентрації (ЄС) і з оптимальним значенням pH , шляхом змішування з водою двох або більше маткових розчинів і кислоти. Якісне і безперервне змішання води з матковими розчинами і кислотою відбувається в регульованих інжекційних змішувачах. Комп'ютер контролює параметри живильного розчину і підтримує їх на заданому рівні. Управління поливом проводиться за програмою, що задається агрономом. Це дає можливість гнучко програмувати кількість води і мінеральних добрив, що виходять з розчинного вузла, дозволяючи оптимально організувати збалансоване харчування рослин. Даний вузол має власний контролер. Продуктивність одного розчинного вузла для краплинного зрошення - до 6 Га. Сучасний розчинний вузол, або як його називають «міксер», дозволяє планувати полив для 30 різних зон, які можуть об'єднувати до 64 клапанів, для кожної зони є можливість задати індивідуальний рецепт. Режим зрошення може автоматично коригуватися за інтенсивністю і накопиченої сонячної радіації, за вологістю субстрату, за відсотком дренажу, що приходить з теплиці. Крім того, міксер щодня обчислює усереднені характеристики розчину, його обсяг і час поливу через кожен клапан і зберігає ці дані протягом півроку для контролю і аналізу.

1.2 Огляд систем поливу і дозації добрив

Розчинні вузли для овочевих і квіткових культур. Даний апарат призначений для автоматизованого приготування живильного розчину, планування і проведення крапельного поливу в тепличному виробництві. На рис. 1.4 показано зовнішній вигляд розчинного вузла для крапельного поливу [6].

Цей пристрій дозволяє організувати індивідуальну подачу живильного розчину для окремих фрагментів теплиці за часом поливу або за витратою розчину. За допомогою набору програм можна оптимально планувати полив протягом доби. Програмні можливості системи дозволяють починати полив за декількома

видами впливів, класично - за часом, а також за кількістю сонячної радіації, температури, вологості повітря або субстрату і т.д.



Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд розчинного вузла для крапельного поливу

Керована комп'ютером система дозування рідких мінеральних добрив забезпечує приготування підживлюючих розчинів з точно витриманою концентрацією поживних речовин. Параметри живильного розчину підтримуються на заданому рівні за допомогою постійного подвійного вимірювання електропровідності (ЄС) і pH розчину та регулювання подачі маткових розчинів і поливальної води. Крім того, можливий контроль витрати маткових розчинів. Управління дозациї повністю автоматизовано і протягом доби допускає автоматичну зміну рецептури живильного розчину при кожному поливі. Для систем крапельного поливу, що повторно використовують дренаж, розчинний вузол дозволяє автоматично попередньо змішувати дренаж з чистою водою за строго заданою пропорцією (контроль ЄС). Комп'ютер щодня обчислює: загальний час поливу і витрату робочого розчину за день, час поливу і витрату розчину через кожен клапан. Крім

того, проводиться щоденне усереднення параметрів (ЄС, pH і температури) живильного розчину, що пройшов через кожен клапан поливу.

Принцип роботи даного вузла - забезпечувати приготування живильного розчину заданої концентрації (ЄС) і з оптимальним значенням pH шляхом змішування з водою двох або більше маткових розчинів і кислоти. Якісне і безперервне змішування води з матковими розчинами і кислотою відбувається в регульованих ежекційних змішувачах. Комп'ютер контролює параметри живильного розчину і підтримує їх на заданому рівні. Програмування завдань поливу має дружній інтерфейс українською мовою, не вимагає спеціальних знань і освоюється протягом декількох годин, дозволяючи оптимально організувати збалансоване живлення рослин. Розчинний вузол виконує роль «серця» системи крапельного поливу і може керувати всім процесом, починаючи від підготовки води, нагріву, фільтрації, закінчуючи контролем вологості і температури повітря та субстрату в теплиці.

Розчинні вузли для поливу салатних комплексів методом гідропоніки. Вузол для гідропонних салатних комплексів забезпечує автоматичне приготування живильного розчину, програмовану за часом подачу розчину до стелажів з рослинами, збір і вторинне використання дренажного розчину в гідропонних установках. На рис. 1.5 показано зовнішній вигляд розчинного вузла для гідропонних салатних комплексів [7].

Як правило, такий розчинний вузол здійснює полив цілодобово. У зв'язку з цим, до даного вузла пред'являються підвищені вимоги по надійності, в якості комп'ютера управління ним використовується контролер, який має модульну архітектуру. Незважаючи на те, що вузол використовує повністю зібраний повторний розчин, параметри живлення в ньому все одно підтримуються на заданому рівні за допомогою постійного подвійного вимірювання електропровідності (ЄС) і pH розчину. У пристрої передбачена незалежна пам'ять, де зберігаються дані про архіви виконаних поливів і усереднені показники живильного розчину. Оператор в зручній формі може контролювати і редагувати процес

гідропонного поливу. При виробництві даного вузла використовуються антикорозійні компоненти, що гарантує тривалу безперебійну роботу вузла.



Рисунок 1.5 - Зовнішній вигляд розчинного вузла для гідропонних салатних комплексів

Розчинний вузол здійснює постійну циркуляцію розчину через гідропонні стелажні установки з зеленими культурами. При необхідності пристрій додає воду в циркуляцію і щомиті виробляє подвійний контроль показників ЄС і рН. Контролер розчинного вузла має графічний LCD екран, де за допомогою кнопок навігації в зручній формі можна здійснювати програмування завдань для поливу.

Розчинні вузли для поливу розсадних комплексів методом "прилив-відлив".

Розчинний вузол для розсадних комплексів забезпечує якісне приготування живильного розчину, планування і проведення поливу підтопленням "прилив – відлив" на гідропонних установках. Розчин, що проходить через гідропонні стелажні установки, збирається і може бути використаний в процесі приготування розчинів для наступних поливів. Рис. 1.6 демонструє конструкцію розчинного вузла - тут показаний зовнішній вигляд розчинного вузла для розсадних комплексів [7].



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд розчинного вузла для розсадних комплексів

Розчинний вузол дозволяє організувати індивідуальну подачу живильного розчину для окремих фрагментів гідропонного комплексу з контролем часу поливу і витрати розчину. Розчинний вузол підходить як для гідропонних установок з автоматичним зливом, так і для установок, обладнаних автономними клапанами зливу. Керована комп'ютером система дозації рідких мінеральних добрив забезпечує приготування підживлюючих розчинів з точно витриманою концентрацією поживних речовин. Параметри живильного розчину підтримуються на заданому рівні за допомогою постійного подвійного вимірювання електропровідності (ЄС) і pH розчину та регулювання подачі маткових розчинів і поливальної води. Крім того, можливий контроль витрати маткових розчинів.

Управління дозації повністю автоматизовано і протягом доби допускає автоматичну зміну рецептури живильного розчину при кожному поливі. Комп'ютер щодня обчислює: загальний час поливу і витрату робочого розчину за день, час поливу і витрату розчину через кожен клапан. Крім того, проводиться щоденне усереднення параметрів (ЄС, pH і температури) живильного розчину, що

пройшов через кожен клапан поливу. Ці дані зберігаються до 10 років і завжди доступні для перегляду.

Принцип роботи вузла полягає у виготовленні живильного розчину за заданими параметрами (EC і pH), шляхом змішування з водою двох або більше маткових розчинів і кислоти. Змішання води з матковими розчинами і кислотою відбувається в регульованих ежекційних змішувачах. Особливістю розчинного вузла для розсадних комплексів є можливість повної рециркуляції маточного розчину - для цього на вході в вузол встановлений додатковий датчик концентрації.

Контролер управління щомиті реєструє концентрацію і рівень pH живильного розчину і підтримує їх на заданому рівні - це дозволяє оптимально організувати збалансоване живлення рослин.

Розчинні вузли для фермерів. Уже декілька років в лінійці виробленого професійного обладнання для промислових теплиць існує розчинний вузол для фермерів. На рис. 1.7 показано зовнішній вигляд розчинного вузла для розсадних комплексів [8].



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд розчинного вузла для фермерів

Під фермерами маються на увазі фахівці, що мають в своєму розпорядженні теплиці площею від 1000 до 5000 м². Розчинний вузол FD-405M призначений для автоматичного приготування живильного розчину, планування і проведення крапельного поливу в теплицях. Застосування такого пристрою дозволяє заощадити на добривах, отримати строго дозований полив під кожен рослину, підвищити якість і кількість продукції, що випускається. Дана модифікація розчинних вузлів також знайшла широке поширення за кордоном, тому що основу тепличної галузі європейських і азійських країн становлять саме фермери, які мають невеликі площі. За допомогою набору програм можна оптимально планувати полив протягом доби. Програмні можливості системи дозволяють починати полив за декількома видами впливів: класично - за часом, а також за кількістю сонячної радіації, температури, вологості повітря або субстрату і т.д. Керована комп'ютером система дозації рідких мінеральних добрив забезпечує приготування підживлюючих розчинів з точно витриманою концентрацією поживних речовин. Параметри живильного розчину підтримуються на заданому рівні за допомогою постійного подвійного вимірювання електропровідності (ЄС) і *pH* розчину та регулювання подачі маткових розчинів і поливальної води. Важливою перевагою пристрою є можливість підключення датчиків температури і вологості, що дозволяє на додаток до основної функції контролювати температурно-вологісний режим теплиці. Широка функціональність, висока надійність, приваблива ціна роблять цей пристрій дуже популярним серед фермерів України та інших країн. А зручний інтерфейс, інтуїтивно зрозуміле управління дозволяють освоїти його можливості протягом кількох годин.

Розчинний вузол забезпечує приготування живильного розчину заданої концентрації поживних речовин (ЄС) і з оптимальним значенням кислотності (*pH*), шляхом змішування з водою двох або більше маткових розчинів і кислоти. Змішування води з добривами і кислотою забезпечують спеціалізовані насоси. Мікрокомп'ютер контролює параметри живильного розчину і підтримує їх на заданому рівні.

1.3 Огляд систем вимірювання параметрів дренажу

Отримання максимальних врожаїв передбачає суворе дотримання і гарантований контроль за технологією вирощування. Одним з найважливіших параметрів, що вимагають контролю, є дренаж, що утворюється на стадії поливу. На рис. 1.8 показано зовнішній вигляд системи вимірювання дренажу [9].



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд системи вимірювання дренажу

Можливості системи допускають реєстрацію часу початку і закінчення дренажу, вимірювання об'єму дренажу, EC і pH , відсотки дренажу від загального обсягу поливу. Наявність таких даних дозволить найбільш точно розраховувати норми поливів, запобігати засолення субстрату, коригувати час старту першого поливу. Зібрана інформація архівується та зберігається в пам'яті до 10 років, що дає можливість повернутися до аналізу даних після закінчення часу.

Відмітна особливість даної системи полягає в тому, що вона контролює дренажний розчин не з одного мата, як це часто пропонується, а з цілої грядки

(від 120 рослин). Такий спосіб контролю дозволяє отримувати загальну картину всієї теплиці в цілому. Необхідно відзначити надійність даної системи в порівнянні з аналогами. Якщо в більшості аналогічних імпортованих систем вимірювач дренажу вимагає ретельного нівелювання за рівнем і тривалої настройки, то розроблена ця система практично не потребує обслуговування, забезпечуючи при цьому високу точність відображуваних результатів. Існуюча система може, як інтегруватися в системи крапельного поливу, що поставляються нашою фірмою, так і бути закінченим пристроєм, який може незалежно виконувати свої функції. Контроль за роботою системи здійснюється з персонального комп'ютера. Спеціалізована програма дозволяє користувачеві швидко і комфортно спілкуватися з системою [10].

Вузол вимірювання дренажу контролює параметри обсягу зібраного дренажу, концентрації дренажу і рівня кислотності pH в ньому. Вимірювання обсягу здійснюється завдяки безнапірному витратоміру з точністю вимірювання 40 мл. Параметри ЕС і pH контролюються стандартними датчиками. Користувач перед використанням системи вводить дані про кількість контрольованих рослин. Ці дані поряд з виміряними даними про загальну кількість дренажу дозволяють автоматично обчислювати обсяг дренажу зібраний з однієї рослини. Для обчислення одного з найважливіших показників - відсотку дренажу до поливу, пристрою необхідні дані про норми поливу. І в тому випадку, коли для поливу використовується розчинний вузол, система дренажного вимірювання автоматично підключається до нього і зчитує необхідну інформацію, в інших же випадках, коли для поливу використовується розчинний вузол сторонньої компанії, вузол вимірювання додатково підключається водолічильник, що автономно вимірює об'єм поливу.

Магістральний трубопровід і крапельна зрошувальна мережа. Розподільна мережа забезпечує рівномірне надходження розчину до кожної рослини за допомогою комплексу трубопроводів і крапельниць. Поживний розчин з розчинного вузла надходить в магістральний НПВХ-трубопровід. Далі через регульовальні вентилі і електромагнітні клапани, керовані комп'ютером, розчин надходить

в роздатковий трубопровід, прокладений по краях теплиці. Магістральний трубопровід з'єднаний з поліетиленовими грядковими рукавами, на яких змонтовані материнські крапельниці. Сучасне крапельне зрошення передбачає установку індивідуальних крапельниць під кожен рослин. Завдання крапельниці забезпечити постійну строго дозовану подачу живильного розчину, що не залежить від тиску в магістралі, а також припинити подачу відразу після закінчення поливу, залишаючи заповненої магістраль. І на сьогоднішній день крапельниця, не дивлячись на її простий зовнішній вигляд - це складна деталь, що складається з лабіринтів, мембран і т.д. На материнських крапельницях встановлені поліетиленові мікротрубки, які з'єднані з кілочком для установки біля кореня рослини. Фрагмент крапельної мережі, підключений через електромагнітний клапан, може поливатися за індивідуальною програмою, з необхідною концентрацією EC і pH . Як правило, на один гектар встановлюється 4 клапани, а на 2 гектари, відповідно, 8 клапанів поливу. Крім того, випускаються розчинні вузли для крапельного поливу, які дозволяють одночасно поливати половину гектару, або 3 га за світловий день [11].

Системи рециркуляції дренажу. Невід'ємною частиною системи поливу на сьогоднішній день стає обладнання для рециркуляції дренажних вод. Це обумовлено вимогами екологічних служб, але також дозволяє економити воду і добрива. Дані про процес рециркуляції також відображаються на персональному комп'ютері [11].

Дезінфекція та повторне використання дренажу в поливі. Сучасні екологічні вимоги до технології вирощування овочів, квітів та інших культур в теплицях передбачають використання оборотної системи поливу рослин без скидання дренажу в навколишнє середовище. Використання дренажного розчину, одержуваного в результаті поливу рослин, «безпосередньо» неприпустимо у зв'язку з небезпекою зараження рослин патогенами, що може привести до серйозних втрат врожаю. У той же час, недотримання екологічних норм і вимог тягне за собою великі штрафи, які збільшуються з року в рік, а в деяких випадках веде до

призупинення діяльності підприємств. Вихід з цієї ситуації є, і полягає він у використанні технології дезінфекції дренажних розчинів і повторного їх використання.

Використання запропонованої технології не тільки відрегулює всі взаємини з екологічними службами, а й дозволить господарству заощадити до 30% води і добрив. На даний час процес повторного використання дренажу можна умовно розділити на кілька етапів [6, 7]:

- збір дренажу з теплиці в приямки;
- перекачування в ємність зберігання необробленого дренажу;
- дезінфекція дренажу і перекачування в ємність з обробленим дренажем;
- підмішування дренажу до води, призначеної для поливу.

1.4 Аналіз сучасних систем управління мікрокліматом

Системи управління мікрокліматом теплиці. Отримання високих результатів при вирощуванні овочів, квітів, розсади, салату в теплицях безпосередньо залежить від якості забезпечення рослин оптимальними умовами росту і розвитку. І одним з найважливіших таких є чітко збалансований мікроклімат [12]. Ще кілька років тому управління мікрокліматом могло здійснюватися вручну оператором, але з появою великої кількості інженерних систем в теплиці, а також з підвищенням вимог до якості підтримки мікроклімату, на сьогоднішній день, жодна промислова теплиця не обходиться без системи автоматичного управління.

Сучасна теплиця включає в себе безліч виконавчих інженерних систем, тобто пристроїв, які дозволяють управляти мікрокліматом теплиці [13]:

- *система опалення.* Основне завдання системи опалення це підтримка заданої агрономом температури [14]. Як правило, опалення теплиці складається з декількох роздільних контурів (систем). Регулювання температури повітря здійснюється за допомогою зміни температури води в контурах, що здійснюється за допомогою змішувального клапана, який змішує в необхідній пропорції воду

від джерела тепла (прямий теплоносій) з водою, яка повернулася з теплиці (зворотним теплоносієм);

- *система кватиркової вентиляції*. Для вентилявання повітря всередині теплиці в покрівлі передбачаються фрамуги (кватирки), площа яких становить до 30% від загальної площі скління [14]. Відкриття та закриття кватирок проводиться за допомогою моторизованих редукторів;

- *система зашторювання*. Практично всі нові проекти теплиць комплектуються системою зашторювання, так як вона дозволяє економити до 30% теплоресурсів, а також захистити рослини від сонячних опіків [14]. Принцип її роботи полягає в тому, що спеціальний полімерний матеріал згортається і розгортається над рослинами, відсікаючи тим самим покрівлю. Згортання та розгортання проводиться за допомогою спеціальних мотор-редукторів;

- *система підживлення CO₂*. Найважливішим параметром мікроклімату поряд з температурою і вологістю є концентрація вуглекислого газу в повітрі. Це пов'язано з тим, що вуглець є основним будівельним матеріалом для рослини і процес фотосинтезу (виробництва сухого речовини) без CO₂ неможливий [14]. Найбільш економічним рішенням є використання газів, що відходять котельні для підживлення, і на більшості тепличних комбінатах так і відбувається. Але в деяких випадках доводиться вдаватися до використання рідкої вуглекислоти для підживлення, що є більш дорогим рішенням;

- *система досвічування*. Сучасна інтенсивна технологія вирощування овочів передбачає установку системи асиміляційного освітлення [15]. А для вирощування квітів система досвічування взагалі є необхідною умовою. Основне завдання системи - забезпечити певний рівень освітленості для вирощування в ті моменти, коли природного світла недостатньо. Рівні додаткового освітлення коливаються в діапазонах від 120 Вт/м² до 250 Вт/м²;

- *система рециркуляції повітря*. Для забезпечення повітрообміну в теплиці у верхній її частині встановлюються вентилятори. При включенні вони забезпечують рух повітря, вирівнювання теплового поля і прискорюють конвективний теплообмін [16];

- *автоматична система управління мікрокліматом.* Вона призначена для зв'язку всіх перерахованих вище систем в єдине ціле, в єдиний процес з централізованим управлінням. Системи опалення та вентиляції, зашторювання і досвічування, CO₂ і рециркуляція - все працює під управлінням спеціального комп'ютера, який відповідає за те, щоб режим мікроклімату в теплиці точно збігався із завданням агронома [13].

Котельне обладнання. Пропоновані котельні для теплиць відповідають найсучаснішим вимогам, включають в себе теплоакумулювальні ємності, що дозволяють виробляти в денні години необхідний для рослин вуглекислий газ. Спеціальний комп'ютер, в залежності від необхідного технологічного режиму теплиці, автоматично управляє котельнею. Як відомо, більшу частину собівартості виробленої в теплицях продукції складають енерговитрати. Тому, якість використовуваного енергетичного обладнання виходить на перший план [17].

В якості котлового обладнання використовуються такі світові бренди, як «Crone», «Viessmann», «HKВ», які дозволяють отримувати високий ККД горіння з одночасно низькою емісією газів NO_x, а також великим відсотком виходу CO₂. Останній факт дозволяє успішно використовувати димові гази від даних котлів для підживлення рослин вуглекислим газом. Сучасні котли обладнані низькою спеціальних підсистем, які гарантують тривалу безперебійну роботу, наприклад [18]:

- кожен котел обладнаний шунтувальним насосом, який забезпечує циркуляцію води всередині котла, роблячи процес нагріву води більш рівномірним;
- кожен котел обладнаний демпферним насосом, який включається при низьких температурах зворотної води і не допускає утворення конденсату в котлі.

В якості пальників використовуються відомі марки: «Zantingh», «Thermeta», «Weishaupt». Відмінною особливістю використовуваних пальників є широкий діапазон регульованої потужності від 10% до 100%. Порівнюючи нові пальники з попередніми, необхідно відзначити наявність частотних перетворювачів на вентиляторах подачі повітря, що дозволяє істотно економити на електроенергії [19].

Для підвищення ККД горіння, а також для можливості відбору CO₂ частина котлів, або всі, обладнуються конденсорами відпрацьованих газів. Ефект підвищення ККД полягає в тому, що в конденсорі газі охолоджуються з 180 °С до 60 °С, нагріваючи при цьому теплоносії, а охолоджені таким чином газі після вимірювання рівня СО можна безперешкодно подавати в теплицю. Використання CO₂ для підживлення рослин дає до 15% надбавки врожайності [20].

Вся робота котельні знаходиться під управлінням комп'ютера, який за запитом від теплиць автоматично збільшує або зменшує потужність котельні, подає CO₂. Особливість тепличного виробництва полягає в тому, що вуглекислий газ потрібен в сонячну погоду вдень і не потрібен вночі. Ситуація з опаленням йде навпаки: основне споживання тепла йде вночі, а вдень потреби в ньому практично немає або в малих кількостях. Для забезпечення рослин в денний час CO₂ сучасна котельня обладнується баком-акумулятором. Принцип дії його полягає в тому, що днем котельня включається на вироблення CO₂, і виштовхуючи з бака холодну воду, заміщає її на гарячу. У нічний же час, навпаки, гаряча вода з бака надходить в теплиці, а охолоджена вода з теплиць повертається в бак. Таким чином, рослини забезпечуються необхідною кількістю вуглекислого газу без витрати тепла. Все управління баками акумуляторами здійснюється в повністю автоматичному режимі [21]

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Теплофізичний розрахунок теплиці

Призначення теплофізичного розрахунку. Теплофізичний розрахунок встановлює аналітичний зв'язок між необхідними параметрами мікроклімату в теплиці і необхідними для їх забезпечення потоками тепла і речовини, що взаємодіють в спорудженні. Це засіб кількісного аналізу закономірностей регулювання енергетичного режиму в теплиці. Приміщення розглядають як єдину енергетичну систему, що включає в себе опалення, вентиляцію та теплотехніку огорожувальних конструкцій [22].

Теплофізичний розрахунок складається з 4-х етапів.

1 етап. Складання розрахункової схеми тепло- і масообміну в приміщенні.

2 етап. Складання системи рівнянь енергетичного балансу приміщення, що відповідають прийнятій розрахунковій схемі і представляють собою фізико-математичну модель формування енергетичного режиму в теплиці.

3 етап. Приведення системи балансових рівнянь до розрахункового виду підстановкою чисельних виразів.

4 етап. Чисельний розв'язок системи балансових рівнянь.

При складанні розрахункової схеми енергетичного режиму теплиці прийняті наступні допущення:

- нічний режим приміщення;
- масообмінні процеси відбуваються тільки в робочій зоні;
- екран (рослини), як найгірший випадок з точки зору енергетичної забезпеченості прищипки не враховують, так як при наявності екрану знизиться променистий тепловий потік від ґрунту до огорожі;
- вплив продуктів життєдіяльності рослин на вологісний режим в приміщенні також не враховують, так як вночі транспірація рослин дорівнює нулю;
- усереднені величини температур поверхонь огорожень, ґрунту, шарів повітря, потоків тепла і маси;

- умови протікання процесів тепло- і масообміну в приміщенні і зовні стаціонарні;
- термічним опором огорожі нехтують.

2.2 Розрахункова схема теплообміну і фізико-математична модель формування енергетичного режиму в теплиці

Розрахункова схема енергетичного балансу плівкової теплиці в нічний час представлена на рис. 2.1. Ця схема враховує витрати тепла на інфільтрацію, випаровування з ґрунту, конденсації вологи на внутрішній поверхні огороження теплиці.

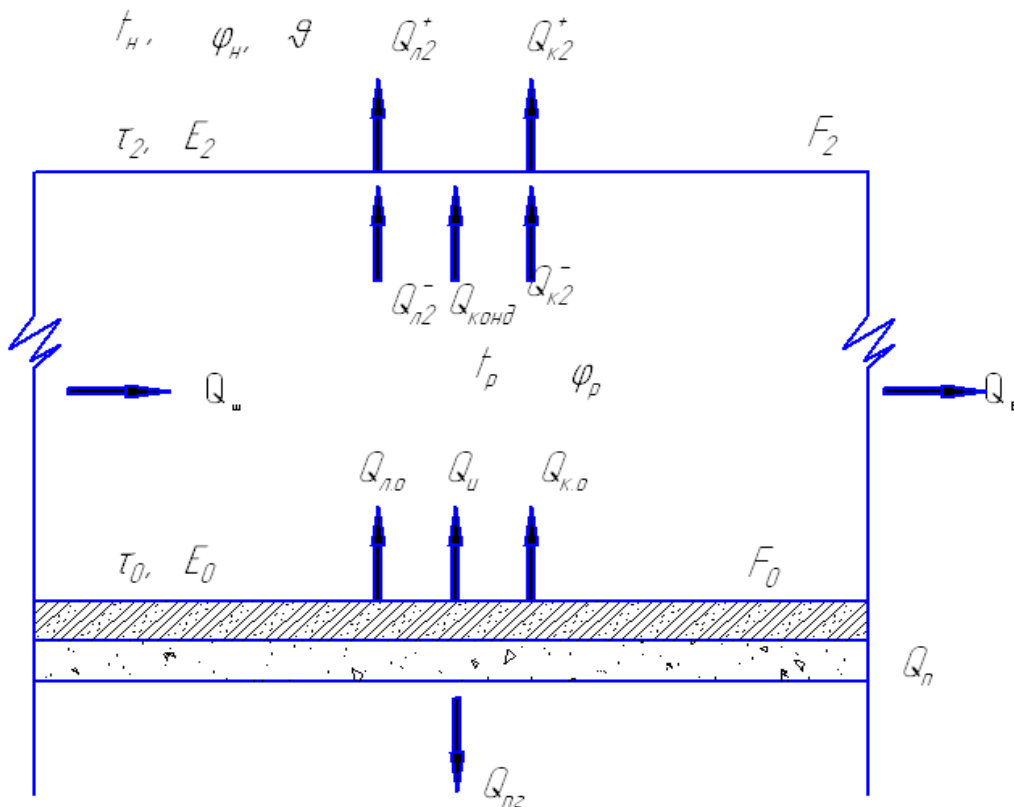


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема енергетичного балансу теплиці з технічним обігрівом для нічного часу, з одинарним огороженням

На підставі прийнятої розрахункової схеми енергетичного режиму теплиці складаємо систему рівнянь теплового балансу, в якій враховуємо потоки двох категорій [22].

До першої категорії відносяться змінні потоки тепла і маси, які регулюються опалювально-вентиляційними пристроями. У систему балансних рівнянь вони входять як невідомі величини, що підлягають визначенню.

Другу категорію складають потоки, що характеризують тепло- і масообмін на поверхнях ґрунту, огорожі і в об'ємах теплиці, пов'язані з фазовими перетвореннями, конвективним і променистим теплообміном, теплопровідністю ґрунту. Їх чисельно виражають через параметри, що визначають енергетичний стан системи: геометричні та фізичні константи, параметри зовнішнього і внутрішнього повітря. Теплицю розглядають, як деякий простір, заповнений однорідним, добре перемішуваним газом і обмежений тонкою напівпрозорою дірчастою оболонкою, а також поверхнею напівобмеженого масиву [23].

Рівняння теплового балансу для теплиці в цілому:

$$Q_{ш} + Q_{п} = Q_{п.г} + Q_{к2}^{+} + Q_{л2}^{+} + Q_{в}, \quad (2.1)$$

де $Q_{ш}$ і $Q_{п}$ — встановлена теплова потужність (тепловий потік) відповідно систем шатрового і ґрунтового обігріву, Вт;

$Q_{п.г}$ і $Q_{в}$ — теплові потоки втрат відповідно в ґрунтовий масив і на інфільтрацію, Вт;

$Q_{к2}^{+}$ — тепловий потік в результаті теплообміну конвекцією зовнішньої поверхні огорожі з навколишнім повітрям, Вт;

$Q_{л2}^{+}$ — променистий тепловий потік від зовнішньої поверхні огорожі, Вт.

Рівняння теплового балансу для поверхні ґрунту в теплиці:

$$Q_{п} = Q_{п.г} + Q_{ко} + Q_{л.о} + Q_{I}, \quad (2.2)$$

де $Q_{ко}$ — конвективний тепловий потік від ґрунту до повітря в робочій зоні теплиці, Вт;

$Q_{л.о}$ — променистий тепловий потік від поверхні ґрунту в теплиці, Вт;

Q_{I} — тепловий потік, що характеризує витрату теплоти на випаровування вологи з ґрунту, Вт.

Рівняння теплового балансу на поверхні огорожі теплиці:

$$Q_{к2}^- + Q_{л2}^- + Q_{конд} = Q_{к2}^+ + Q_{л2}^+, \quad (2.3)$$

де $Q_{к2}^-$ — тепловий потік в результаті теплообміну конвекцією внутрішньої поверхні огорожі з повітрям в робочій зоні, Вт;

$Q_{л2}^-$ — променистий тепловий потік від внутрішньої поверхні огорожі, Вт;

$Q_{конд}$ — тепловий потік, що характеризує виділення теплоти при конденсації пари на внутрішній поверхні огорожі, Вт.

2.3 Визначення теплових потоків втрат

Значення теплових потоків втрат визначають через їх параметри для теплиці.

З плівковим огорожею:

$$Q_{п.г} = \frac{t_{об} - t_n}{R_0^{cp}} \cdot F_0, \quad (2.4)$$

де: $t_{об}$ і t_n — температура відповідно узагальнена і зовнішнього повітря, °С;

F — площа поверхні ґрунту в теплиці, м²;

R_0^{cp} — середньозважена за площею величина опору теплопередачі ґрунту (приймається за даними [24]);

$$t_{об} = \frac{133,9 - C_{np} \left[55 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right]}{C_{np} + 8,6} \approx \frac{133,9 - C_{np} [55 - (0,814 \cdot \tau_2 + 55,55)]}{C_{np} + 8,6}, \quad (2.5)$$

де C_{np} — наведений коефіцієнт випромінювання;

τ_2 — температура поверхні огороження теплиці, °С;

$$C_{np} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{F_0}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}, \quad (2.6)$$

де ε_0 і ε_2 — степеь чорноти відповідно ґрунту і огорожі;

F_2 — поверхня огорожі, м²;

$$R_0^{cp} = \frac{2F_{1.0} \cdot 2.14 + 2F_{2.0} \cdot 4.3 + 2F_{3.0} \cdot 8.6 + F_{4.0} \cdot 14.2}{F_0}, \quad (2.7)$$

де F_0 — поверхня ґрунту в теплиці, що примикає до зовнішньої огорожі і має ширину 2 м, м²;

$F_{2.0}$ і $F_{3.0}$ — те ж саме, але на відстані від поздовжньої зовнішньої огорожі відповідно на 2 і 4 м, м²;

$F_{4.0}$ — інша поверхня ґрунту, що на відстані на 6 м від поздовжніх зовнішніх огорож, м².

$$Q_{ко} = A_3 \cdot m \sqrt{|\tau_0 - t_p|} \cdot (\tau_0 - t_p) F_0, \quad (2.8)$$

де A_3 — коефіцієнт для розрахунку конвективного теплообміну (є функцією температур поверхні теплообміну і навколишнього повітря [25]);

m — коефіцієнт для розрахунку конвективного теплообміну, що дорівнює 1,3 при $\tau_0 > t_p$ та 0,7 при $\tau_0 < t_p$ [25];

τ_0 і t_p — температура відповідно поверхні ґрунту і повітря в робочій зоні, °С.

$$Q_{л.о} = C_{пр} \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx 0.814 \cdot C_{пр} \cdot F_0 \cdot (\tau_0 - \tau_2), \quad (2.9)$$

де τ_2 — температура поверхні огорожі теплиці, °С.

$$Q_u = r_c \cdot \eta^\beta \cdot (c_0'' - \varphi_p \cdot c_{t_p}'') \cdot \frac{760}{P_6} \cdot F_0, \quad (2.10)$$

де $r_c = 693 - 0,66$;

t_p^0 — питома теплота випаровування, Вт·год/кг (t_p^0 - температура рідини, °С);

$\eta = 0,8$ — коефіцієнт неповноти водності [26];

β — коефіцієнт масообміну, м/год;

c_0'' — концентрація пари при 100%-ному насиченні і температурі поверхні ґрунту, кг/м³;

φ_p — відносна вологість повітря в робочій зоні, %;

c_{t_p}'' — концентрація водяної пари насиченого повітря в робочій зоні при температурі t_p , кг/м³;

P_6 — барометричний тиск, мм рт. ст.;

$$\beta = 0,66 \cdot \frac{D}{L_1} \cdot \left(\frac{qL_1^3}{v^2} \cdot \frac{y_{t_p} - y_{\tau_0}}{y_{t_p}} \cdot \frac{v}{D} \right)^{0.26}, \quad (2.11)$$

де D - коефіцієнт дифузії, м²/год;

$L_1 = vF_0$ - визначає розмір, м;

Q - прискорення сили тяжіння, м²/с;

V - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с (приймають при $t_{оп}$ [11];

$\gamma_{тп}$ і γ_{τ_0} – щільність повітря при температурі відповідно в робочій зоні і поверхні ґрунту кг/м³.

$$D = 0,00754 \left(\frac{t_{виз} + 273}{273} \right)^{1,89} \cdot \frac{760}{P_{\sigma}}, \quad (2.12)$$

де $t_{виз}$ - визначальна температура °С;

$$t_{виз} = \frac{\tau_0 + t_p}{2}; \quad (2.13)$$

$$\gamma_{тп} = 1,293 \frac{273}{t_p + 273} \left(\frac{P_{\sigma}}{760} - 0,378 \frac{e_{t_p}^H}{760} \right), \quad (2.14)$$

де $e_{t_p}^H$ — пружність (парціальний тиск) водяної пари при температурі t_p , мм рт.ст;

$$\gamma_{\tau_0} = 1,293 \frac{273}{\tau_0 + 273} \left(\frac{P_{\sigma}}{760} - 0,378 \frac{e_{\tau_0}^H}{760} \right), \quad (2.15)$$

де $e_{\tau_0}^H$ - пружність насиченої водяної пари при температурі t_0 , мм рт.ст;

$$Q_{к2}^- = (F_{в2} + 0,7F_{н2}) A_3' \sqrt[3]{|t_p - \tau_2|} (t_p - \tau_2), \quad (2.16)$$

де $F_{в2}$ і $F_{н2}$ – площа відповідно вертикальних і похилих огорож теплиці, м²;

A_3' – коефіцієнт, що залежить від температури $\frac{t_p + \tau_2}{2}$ [25];

t_2 – температура зовнішньої огорожі, °С.

$$Q_{л2}^- = C_{пр} k_n \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx C_{пр} k_n F_0 0.814 \cdot (\tau_0 - \tau_2) \approx k_n Q_{л.о}, \quad (2.17)$$

де k_n — коефіцієнт поглинання довгохвильового випромінювання, що дорівнює 0,88 для теплиць і 0,93 - парників і малогабаритних укриттів [22].

$$Q_{конд} = r_c \cdot 2.2 \cdot 10^{-6} (0.5t_p + 0.5\tau_2 + 273)^{0.42} \cdot \sqrt[3]{\frac{t_p - \tau_2}{\nu^2}} \Delta \varepsilon^{1.4} F_2, \quad (2.18)$$

де $\Delta \varepsilon$ — різниця об'ємного вмісту пари в повітрі, %;

ν — приймають при $\frac{t_p + \tau_2}{2}$ [27];

F_2 — поверхня зовнішньої огорожі теплиці, м²;

$$\Delta \varepsilon = 100 \left(\frac{\phi \cdot p_{t_p}^{e^H} - e_{\tau_2}^H}{P_0} \right), \quad (2.19)$$

де $e_{\tau_2}^H$ — пружність насиченої водяної пари при τ_2 , мм рт. ст.

$$Q_{к2}^+ = a_{к2} (\tau_2 - t_H) F_2, \quad (2.20)$$

де $a_{к2}$ — розрахований коефіцієнт тепловіддачі конвекцією зовнішньої огорожі теплиці, Вт/(м²·°C);

$$a'_{к2} = 3,7 \frac{(\vartheta \gamma_H)^{0,8}}{L^{0,2}} \approx 3,7 \frac{\sqrt[3]{(\gamma_H \vartheta)^2}}{\sqrt[3]{\sqrt{L}}}, \quad (2.21)$$

де $a'_{к2}$ — коефіцієнт тепловіддачі конвекцією для похилої ділянки огорожі, Вт/(м²·°C);

ϑ — швидкість вітру, м/с;

L — найменший розмір приміщення в плані, м;

$$a''_{к2} = 10 \sqrt{\vartheta}, \quad (2.22)$$

де $a''_{к2}$ — коефіцієнт тепловіддачі конвекцією для вертикального ділянки огорожі, Вт/(м²·°C);

$$a_{\kappa 2} = \frac{a'_{\kappa 2} F_{H2} + a''_{\kappa 2} F_{\theta 2}}{F_2}; \quad (2.23)$$

$$Q_{H2}^+ = Q_{ef} + Q_{om}, \quad (2.24)$$

де Q_{ef} — ефективне випромінювання зовнішньої поверхні огорожі в навколишній простір, Вт;

Q_{om} — променистий теплообмін зовнішньої поверхні огорожі з оточуючими ґрунтом і будівлями, Вт;

$$\begin{aligned} Q_{ef} = & 5,67 \varepsilon_2 \left[\left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 (0,27 - 0,007 \varphi_H e_{t_H}^H) \cdot (1 - c' n_0^2) \psi_1(\alpha) + \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \right] \times \\ & \times \psi_2(\Theta) F_2 \approx 5,67 \varepsilon_2 \cdot \psi_2(\Theta) F_2 [(0,814 t_H + 55,55) \cdot (0,27 - 0,007 \varphi_H e_{t_H}^H) \cdot (1 - c' n_0^2) \psi_1 \times \\ & \times (\alpha) + 0,814(\tau_2 - t_H)], \end{aligned} \quad (2.25)$$

де $\psi_1(\alpha)$ — функція, що враховує орієнтацію огорожі;

ε_2 — ступінь чорноти огорожі теплиці;

φ_H — відносна вологість зовнішнього повітря;

$e_{t_H}^H$ — пружність насиченої водяної пари при температурі t_H мм рт. ст.;

c' — коефіцієнт, що залежить від широти місцевості (0,74 для 55 °С, $c' = 0,7$ для 45° з.ш.);

n_0 — хмарність в частках одиниці;

$\psi_2(\Theta) = 1$ — функція, що враховує взаємне розташування теплиці і навколишніх будівель, для окремо розташованого приміщення [22];

$$\psi_1(\alpha) = \frac{\delta_L F_{\theta 2} + \cos \alpha F_{H2}}{F_2}, \quad (2.26)$$

де $\delta_L = 0,5$ для хмарного неба і 0,35 - безхмарного [22];

α - кут нахилу покрівлі теплиці ($\alpha \leq 30^0$);

$$Q_{окр} = 5,67 \varepsilon_2 \varepsilon_0 \left[\left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \right] \varphi_{оп} F_2 \approx 5,67 \varepsilon_2 \varepsilon_0 \varphi_{оп} F_2 \cdot 0,814(\tau_2 - t_H), \quad (2.27)$$

де ε_0 - ступінь чорноти поверхні ґрунту;

$\varphi_{оп}$ - коефіцієнт опромінення системи «огорожа - ґрунт і будівля»;

$$\varphi_{\text{оп}} = 0,5 \frac{F_{\varepsilon 2}}{F_2}; \quad (2.28)$$

$$Q_{\text{в}} = (\gamma_{\text{тн}} - \gamma_{\text{тп}})(Q_{\text{пт}} + Q_{\varepsilon 2}^+ + Q_{\varepsilon 2}^-), \quad (2.29)$$

де $\gamma_{\text{тн}}$ - щільність зовнішнього повітря, кг/м³.

2.4 Розрахунок теплових втрат і теплової потужності обладнання

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі через стіни теплиці [22]:

$$k_0^{cm} = \left[\frac{Q_n + Q_{\text{ш}}}{(1 + \gamma_{t_n} - \gamma_{t_p})(t_p - t_n)} - \frac{F_0}{R_0^{cp}} \right] \frac{1}{F_2} \quad (2.30)$$

Коефіцієнт теплопередачі через одинарну плівку, покриту конденсатом [22, 23]:

$$k_0^{hl} = 1,1 k_0^{cm}. \quad (2.31)$$

Необхідна кількість теплоти на обігрів плівкової теплиці:

$$Q'_n + Q'_{\text{ш}} = (k_0^{hl} F_2 + \frac{F_0}{R_0^{\text{нд}}})(t_p - t_n) \left[1 + 0,8 (\gamma_{t_n} - \gamma_{t_p}) \right]. \quad (2.32)$$

Встановлені теплові потужності ґрунтового нагрівального пристрою Q'_n і шатрового $Q'_{\text{ш}}$ визначаються з наступних виразів:

$$Q'_n = \frac{Q_n}{Q_n + Q_{\text{ш}}} (Q'_n + Q'_{\text{ш}}); \quad (2.33)$$

$$Q'_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{ш}}}{Q_n + Q_{\text{ш}}} (Q'_n + Q'_{\text{ш}}). \quad (2.34)$$

Потрібно розрахувати встановлену теплову потужність нагрівальних пристроїв для обігріву ґрунту і шатра в плівковій теплиці, розташованій в західній кліматичній зоні і призначеної для виробництва саджанців і різних видів розсади.

Вихідні задані: $t_n = -15^{\circ}\text{C}$; $t_p = 7^{\circ}\text{C}$; $\tau_0 = 20^{\circ}\text{C}$; $\varphi_n = 80\%$; $\varphi_p = 70\%$; $\vartheta = 5 \text{ м/с}$; $\varepsilon_0 = 0,96$; $\varepsilon_2 = 0,94$; $F_0 = 1440 \text{ м}^2$; $F_2 = 2045 \text{ м}^2$; $F_{\varepsilon 2} = 394 \text{ м}^2$; $F_{n2} = 1651 \text{ м}^2$; $L = 30 \text{ м}$; $L_1 = \sqrt{1440}$.

Визначити Q'_n і $Q'_{ш}$. Послідовність розрахунку приведено в табл. 2.1. З розрахунку випливає, що без обліку тепла, що вноситься сонячною радіацією, теплиця повинна мати тільки ґрунтовий нагрівальний пристрій з питомою встановленою потужністю 236 Вт/м².

Таблиця 2.1 - Послідовність розрахунку

Номер формули	Позначення	Результати розрахунку	Розмірність	Примітка
2.6	$\epsilon_{пр}$	522		$\epsilon_0 = 0,96$, $\epsilon_2 = 0,94$; $F_0 = 1440 \text{ м}^2$; $F_2 = 2045 \text{ м}^2$
2.5	$t_{об}$	7,1	$^{\circ}\text{C}$	$\tau_2 = -9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2.7	R^{cp}_0	10,53	$\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	$F_1 = F_2 = F_3 = 96 \text{ м}^2$; $F_4 = 864 \text{ м}^2$
2.4	$Q_{п.г}$	3023,5	Вт	$t_{об} = 7,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $R^{cp}_0 = 10,53 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$
2.8	$Q_{ко}$	78635,7	Вт	$A_3 = 1,375$; $m = 1,3$
2.9	$Q_{л.о}$	177441,8	Вт	$\tau_2 = -9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2.12	D	$22,97 \cdot 10^{-6}$	$\text{м}^2 / \text{с}$	$t_{оп} = 13,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $P_6 = 760 \text{ мм.рт.ст.}$
2.14	$\gamma_{пр}$	1,256	$\text{кг} / \text{м}^3$	$e^H_{t_p} = 7,492 \text{ мм.рт.ст.}$
2.15	$\gamma_{то}$	1,194	$\text{кг} / \text{м}^3$	$e^H_{t_0} = 17,53 \text{ мм.рт.ст.}$
2.11	β	5,9	м/ч	$\nu = 14,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$; $L_1 = 37,95 \text{ м}$
2.10	$Q_{н}$	54567,7	Вт	$r_0 = 679,8 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{кг}$; $\eta = 0,8$; $c^H_0 = 17,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{м}^3$; $\varphi_p = 0,7$; $c^H_{t_p} = 7,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{м}^3$
2.16	$Q_{к2}^-$	91274,9	Вт	$A'_3 = 1,455$; $\tau_2 = -9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2.17	$Q_{л2}^-$	156148,3	Вт	$Q_{л2} = 177441,8 \text{ Вт}$; $k_{н} = 0,88$;
2.19	$\Delta \epsilon$	0,39	χ	$e^H_{\tau_2} = 2,267 \text{ мм.рт.ст.}$;
2.18	$Q_{конд}$	39200	Вт	$r_c = 693 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$; $\nu = 13,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$
2.21	$a'_{к2}$	2,7	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	$\gamma_{н} = 1,368 \text{ кг} / \text{м}^3$; $\mathcal{G} = 0,5 \text{ м} / \text{с}$
2.22	$a''_{к2}$	22,4	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	-
2.23	$a_{к2}$	105	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	-
2.20	$Q_{к2}^+$	128835	Вт	$\tau_2 = -9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2.26	$\psi_1 (\alpha)$	0,77		$\delta_{л} = 0,35$; $\cos \alpha = 0,866$

Продовження таблиці 2.1

2.28	$\varphi_{оп}$	0,1		$F_{в2}=394 \text{ м}^2; F_2=2045 \text{ м}^2;$
2.25	$Q_{эф}$	147948,6	Вт	$c'=0,77; n_0=0; \tau_2=-9^{\circ}\text{C}; e'_{t_n}=1,4 \text{ мм.рт.ст.};$ $\varepsilon_2=0,94$
2.27	$Q_{окр}$	5110,6	Вт	$\varphi_{оп}=0,1; \varepsilon_0=0,96$
2.29	$Q_{в}$	30486	Вт	$\gamma_{тн}=1,368 \text{ кг/м}^3; \gamma_{тп}=1,261 \text{ кг/м}^3; Q_{тп} \text{ з (28);}$ $Q_{\varepsilon_2}^+ \text{ з (24); } Q_{\varepsilon_2}^+ = (25)$
2.24	$Q_{\varepsilon_2}^+$	153059,2	Вт	-
2.2	$Q_{п}$	313668,7	Вт	-
2.1	$Q_{ш}+Q_{п}$	315404	Вт	-
2.30	k_0^{cm}	6,3	Вт/($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)	-
2.32	$Q'_n+Q'_{ш}$	340270	Вт	$k_0^{ie}=6,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$
2.31	k_0^{nl}	6,9	Вт/($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)	-
2.33	Q'_n	340270	Вт	Потрібен тільки ґрунтовий обігрів при питомій встановленій тепловій потужності 236 Вт / м ²

2.5 Фізико-математична модель енергетичного режиму в теплиці

При вирощуванні саджанців, розсади та іншої рослинності, яка має висоту перед висадкою у відкритий ґрунт не більше 0,25 м, немає необхідності обігрівати всю теплицю висотою 3,2-4 м. Досить обігрівати тільки робочу зону заввишки 0,3 м, огородивши її від об'єму теплиці малогабаритними укриттями. Такий обігрів (зонний) дозволяє зменшити витрату теплоти на вирощування розсади і знизить питому теплову потужність нагрівальних пристроїв теплиці. Розрахункова схема енергетичного режиму теплиці з зонним укриттям робочого об'єму, в якому розвивається розсада, показана на рис. 2.2.

У робочій зоні I діють теплові потоки від нагрівача, закладеного в ґрунт, $Q_{п}$ і шатрового нагрівача $Q_{ш}$, змонтованого під зонним укриттям. Теплові потоки втрат представлені витратами тепла на випаровування $Q_{і}$, інфільтрацію $Q_{вр}$, а також променисті і конвективні потоки $Q_{ло} Q_{\varepsilon_1}^-$, $Q_{ко}$ і $Q_{\varepsilon_1}^-$. На внутрішній поверхні зонного укриття, покритої конденсатом, діє потік $Q_{конд}$, що враховує фазове перетворення водяної пари у воду.

В неробочій зоні **II** діють тільки потоки втрат з інфільтрацією $Q_{в1}$ а також променистий і конвективний $Q_{л1}^+$, $Q_{л2}^-$, $Q_{к1}^+$ і $Q_{к2}^-$. Внутрішня поверхня зовнішньої огорожі може покрита незначними конденсатом і, з огляду на його незначний об'єм, виділеннями тепла при конденсації можна знехтувати.

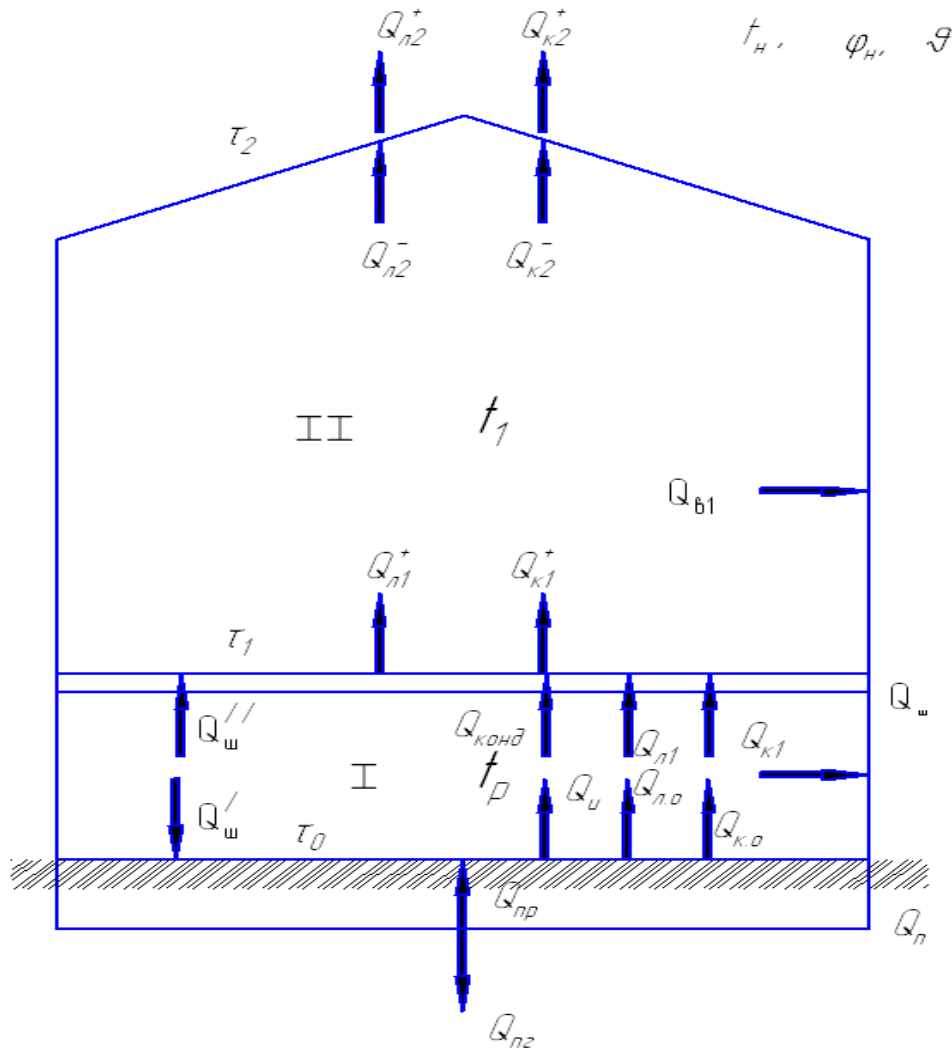


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема енергетичного балансу теплиці з технічним обігрівом для нічного часу з зонним укриттям

2.6 Рівняння теплових балансів

Рівняння теплового балансу для робочої зони **I**:

$$Q_{ш} + Q_{п} = Q_{п.г} + Q_{л1}^+ + Q_{к1}^+ + Q_{вр}, \quad (2.35)$$

де $Q_{ш}$ і $Q_{п}$ - встановлені теплові потужності шатрового і ґрунтового нагрівачів, Вт;

$Q_{л1}^+$ - променистий тепловий потік від зовнішньої поверхні зонного укриття до внутрішньої поверхні зовнішньої огорожі, Вт;

$Q_{к1}^+$ - конвективний тепловий потік від зовнішньої поверхні зонного укриття до повітря в зоні **II**, Вт;

$Q_{вр}$ - тепловий потік втрат тепла на інфільтрацію в зоні **I**, Вт.

Рівняння теплового балансу для робочої зони **II**:

$$Q_{л1}^+ + Q_{к1}^+ = Q_{л2}^+ + Q_{к2}^+ + Q_{в1}, \quad (2.36)$$

де $Q_{в1}$ - тепловий потік втрат на інфільтрацію в зоні **II**, Вт.

Рівняння теплового балансу для поверхні ґрунту:

$$Q_I + Q_{ш}^p = Q_{п.г} + Q_{кo} + Q_{л.o} + Q_I, \quad (2.37)$$

де $Q_{ш}^p$ - складова теплового потоку шатрового нагрівача, що бере участь в теплообміні з поверхнею ґрунту, Вт;

Q_I - витрати теплоти на випаровування вологи з ґрунту, Вт;

$Q_{л.o}$ і $Q_{кo}$ - тепловий потік втрат з поверхні ґрунту під зонним укриттям відповідно випромінюванням і конвекцією, Вт.

Рівняння теплового балансу для поверхні зонного укриття:

$$Q_{ш}^h + Q_{конд} + Q_{к1}^- + Q_{л1}^- = Q_{к1}^+ + Q_{л1}^+, \quad (2.38)$$

де $Q_{ш}^h$ - складова теплового потоку шатрового нагрівача, що бере участь в теплообміні з поверхнею зонного укриття, Вт;

$Q_{конд}$ - тепловий потік, що характеризує виділення теплоти на внутрішній поверхні зонного укриття при конденсації вологи, Вт;

$Q_{л1}^-$ - тепловий потік в результаті теплообміну випромінюванням між внутрішньою поверхнею зонного укриття і поверхнею ґрунту, Вт;

$Q_{к1}^-$ - тепловий потік в результаті теплообміну конвекцією між внутрішньою поверхнею огорожі і повітрям робочої зони **I**, Вт.

Рівняння теплового балансу на поверхні зовнішнього огородження теплиці:

$$Q_{к2}^- + Q_{л2}^- = Q_{к2}^+ + Q_{л2}^+, \quad (2.39)$$

де $Q_{л2}^-$ - тепловий потік в результаті теплообміну випромінюванням між внутрішньою поверхнею зовнішньої огорожі і поверхнею зонного укриття, Вт;

$Q_{к2}^-$ - тепловий потік в результаті теплообміну конвекцією між внутрішньою поверхнею зовнішньої огорожі і повітрям в зоні II, кВт.

Загальне рівняння теплового балансу для всього приміщення:

$$Q_{ш} + Q_{п} = Q_{п.г} + Q_{к2}^+ + Q_{л2}^+ + Q_{в1} + Q_{вр}. \quad (2.40)$$

Теплові потоки втрат теплиці з зонним обігрівом виражають через параметри, що їх визначають.

З огляду на те, що поверхні огорожі теплиці з полімерних плівок бувають покриті конденсатом, що перешкоджає пропусканню довгохвильової радіації, вирази для визначення потоків втрат випромінюванням приймають такими ж, як для приміщень зі скляними покриттями, з подальшою поправкою на коефіцієнт тепловтрат.

З урахуванням цього припущення вирази для теплових потоків втрат приймають такий вигляд:

$Q_{п.г}$ за формулою (4); $t_{об}$ — (5); R^{cp}_0 — (7); $Q_{ко}$ — (8); Q_I — (10); β — (11); D — (12); $Q_{конд}$ — (18); $\Delta\varepsilon$ — (19) з заміною τ_2 на τ_1 і F_2 на F_1' ; $Q_{к2}^+$ — (20); $a'_{к2}$, $a''_{к2}$, $a_{к2}$ — відповідно (21), (22) і (23); $Q_{л2}^+$ — (24); $Q_{эф}$ — (25) — $Q_{от}$ - (27).

Теплові потоки, що діють під зонним укриттям, в зоні I виражені в наступному вигляді [25]:

$$Q_{л.о} = C_{пр} \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx 0.814 \cdot \tilde{N}_{ю} \cdot F_0 \cdot (\tau_0 - \tau_1), \quad (2.41)$$

де $C_{пр}$ - наведений коефіцієнт опромінення;

τ_0 на τ_1 - температура поверхні відповідно ґрунту і зонного укриття, °С.

$$C_{\text{пр}} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{F_0}{F_1} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right)}, \quad (2.42)$$

де ε_0 і ε_1 - ступінь чорноти відповідно ґрунту і плівки;

F_0 і F_1 — площі ґрунту і поверхні зонного укриття, м².

$$Q_{\text{л2}} = k_{\text{п}} Q_{\text{ло}} \approx 0,93 Q_{\text{ло}}, \quad (2.43)$$

де $k_{\text{п}}$ - коефіцієнт, що враховує поглинання променевої енергії повітряним середовищем.

$$Q_{\text{к1}} = (F_{\text{в1}} + 0,7F_{\text{н1}}) A_3^{//} \cdot \sqrt[3]{|t_p - \tau_1| (t_p - \tau_1)}, \quad (2.44)$$

де $F_{\text{в1}}$ і $F_{\text{н1}}$ - площі вертикальної і похилої поверхні зонного укриття, м²;

t_p - температура повітря, під зонним укриттям, °С;

$A_3^{//}$ - коефіцієнт, що залежить від $\frac{t_p + \tau_1}{2}$ [25].

$$Q_{\text{в}} = (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{р}})(Q_{\text{пт}} + Q_{\varepsilon_1}^+ + Q_{\varepsilon_1}^-), \quad (2.45)$$

де $\gamma_{\text{н}}$ і $\gamma_{\text{р}}$ – об'ємні маси відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, кг/м³.

Вираз для визначення теплових потоків, що діють в неробочій зоні **II** має наступний вигляд:

$$Q_{\text{л.о}} = c'_{\text{пр}} \left[\left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 \approx 0,814 \cdot c'_{\text{пр}} \cdot F_1 \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (2.46)$$

де τ_2 – температура зовнішнього огороження, °С;

F_1 – поверхня зонного укриття, м².

$$c'_{\text{пр}} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1'}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}, \quad (2.47)$$

де $c'_{\text{пр}}$ - наведений коефіцієнт опромінення системи «зонне укриття - зовнішня огорожа»;

ε_2 - ступінь чорноти зовнішнього огороження;

F_2 - площа зовнішньої огорожі, м²;

F'_1 - площа зонного укриття, що бере участь в променистому теплообміні із зовнішньою огорожею, м².

$$Q_{\kappa 1}^+ = A'_3 \cdot m \sqrt[3]{|\tau_1 - t_2|} (\tau_1 - t_2) F'_1, \quad (2.48)$$

де m - коефіцієнт ($m = 1,3$ при $\tau_1 > t_2$);

t_1 - температура в зоні **II**, °C;

A'_3 - коефіцієнт, що залежить від $\frac{\tau_1 + t_2}{2}$ [25];

$$Q_{\lambda 2}^- = k'_{\Pi} Q_{\lambda 1}^+ \approx 0,88 Q_{\lambda 1}^+, \quad (2.49)$$

де k'_{Π} — коефіцієнт, що дорівнює 0,88 [22]

$$Q_{\kappa 2}^- = (F_{B2} + 0,7 F_{H2}) A''_3 \cdot \sqrt[3]{|t_1 - \tau_2|} (t_1 - \tau_2), \quad (2.50)$$

де F_{B2} і F_{H2} - площі відповідно вертикальних і похилих поверхонь зовнішньої огорожі, м²;

A''_3 - коефіцієнт, що залежить від визначальної температури, $t_{\text{виз}} = \frac{t_1 + \tau_2}{2}$ [25].

$$Q_{B1} = (\gamma_H - \gamma_1) (Q_{\varepsilon 2}^+ + Q_{\varepsilon 2}^-), \quad (2.51)$$

де γ_1 - щільність повітря в зоні **II**, кг/м³.

При теплофізичних розрахунку теплиці з технологічним обігрівом визначають встановлену теплову потужність систем шатрового і ґрунтового обігріву, що забезпечує необхідний температурний режим в ґрунті і робочій зоні для вирощуваних саджанців або розсади овочів, який відповідає заданій розрахунковій температурі зовнішнього повітря.

У загальному випадку задані наступні величини: конструктивні параметри теплиці: L , F_1 , F_2 , F_0 ; температурні і вологісні режими всередині її: τ_0 , t_p , φ_p ; параметри зовнішнього повітря: t_n, V, φ_n .

Потрібно визначити теплові потужності нагрівальних пристроїв $Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{ш}}$, температури огорож t_1 , t_2 і повітря t_1 в зоні **II**, без знання яких неможливо розрахувати теплові баланси на поверхнях огорож і в об'ємах теплиці. Розрахунок зводиться до спільного розв'язку рівнянь (2.35) - (2.40).

Потім за формулою (2.30) визначають коефіцієнт теплопередачі через скління, і з урахуванням виразів (2.31) - (2.34) знаходять встановлені теплові потужності систем обігріву для плівкової теплиці.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Загальна характеристика досліджуваного підприємства

Приватне агропромислове підприємство (ПАП) «Агропродсервіс» створене в 1999 році на базі збанкрутілого колгоспного господарства Тернопільського району та реорганізації міського м'ясокомбінату.

Метою створення ПАП «Агропродсервіс» є отримання прибутку шляхом організації прибуткового виробництва сільськогосподарської і м'ясної продукції, а також виконання робіт та послуг для задоволення суспільних потреб.

Приватне агропромислове підприємство «Агропродсервіс» розташоване в першій природно-економічній зоні Тернопільської області і в центральній частині Тернопільського району. Центральна садиба господарства знаходиться на відстані 23 км від обласного центру, в селі Настасів Тернопільського району (пункт здачі, овочів, плодів і ягід та вирощування свиней).

Зв'язок з Тернополем і здійснюється по автодорогах, які мають асфальтоване покриття і знаходяться в хорошому стані.

Землекористування господарства складається з трьох ділянок. Протяжність основної ділянки з півночі на південь на 4 км і з заходу на схід 2 км.

Територія господарства має явно виражену рівнинну поверхню. В цілому рельєф не є сильно розчленованим і не ускладнює механізований обробіток ґрунту. В цілому ґрунти господарства мають високу потенційну родючість і придатні для вирощування сільськогосподарських культур. Загальна площа землекористування за даними державного обліку земель на 1 січня 2019 року становить біля 40 тис. га.

Внутрішньо-господарське сполучення здійснюється ґрунтовими і частково асфальтованими дорогами, а з районним та обласними центрами асфальтованою трасою.

Дані за посівними площами сільськогосподарських культур наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1- Посівні площі сільськогосподарських культур

Культура	Площа, га				
	2015	2016	2017	2018	2019
Маточно-живцевий сад	2,15	2,3	2	2,25	2,28
Плодово-ягідні культури	2,3	2,5	2	2,2	2,3
Декоративні рослини	1	1,2	1,5	2	2,28
Сортова малина	0,9	0,6	1	0,8	1
Ожина	0,9	0,6	1	0,8	1
Суниця	0,9	0,5	1	0,8	1
Маточно-насіннєвий сад	2,7	2,4	2,6	2,4	2,71
Насінєві сади	1,6	1,5	1,5	1,4	1,7
Маточник клонових підщеплень плодово-ягідних культур	0,5	0,5	0,6	0,5	0,65
Декоративні культури	0,3	0,5	0,6	0,5	0,65
Всього с/г угідь	13,25	12,6	11,8	13,65	15,57

3.2 Клімат, рельєф, економічні показники

Територія господарства належить до південно-західного кліматичного району області. Середньорічна температура повітря становить приблизно 7 °С.

Найбільш холодним місяцем є січень, найтеплішим - липень. Безморозний період триває в середньому 165 днів. Клімат в цілому характеризується теплим літом і порівняно холодною зимою.

Середня тривалість вегетаційного періоду становить 196 днів, що цілком забезпечує вирощування сільськогосподарських культур.

За даними районної метеостанції, середньорічна кількість опадів становить 520-600 мм. Найбільша кількість опадів випадає в літній період.

Рельєф території характеризується наявністю відокремлених ділянок, розчленованих невеликими ярами, пологих і слабологих схилів. Схил місцевості на орних землях лежить в межах від 2-3 до 5-8 градусів.

Основними економічними показниками, за якими судять про роботу господарства, є: вартість основних фондів, обсяг виробництва продукції, послуг у вартісному вираженні, обсяг реалізації продукції робіт і багато чого іншого, від якого господарство отримує прибуток.

Основні виробничо-економічні показники виробництва сільськогосподарської продукції ПАП «Агропродсервіс» зведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Основні виробничо-економічні показники по господарству

<i>Показники</i>	Од. вим.	2015	2016	2017	2018	2019 оцінка	2019 р в % до 2015 р.
Вартість основних фондів	тис. грн.	15310	13400	12210	17820	46560	304,1
Величина активів	тис. грн.	10030	1229	9036	16718	25200	251,1
Численність робітників	чоловік	470	515	567	602	690	146,8
Обсяг виробництва продукції, послуг в вартісному вираженні	тис. грн.	18898	17542	17798	19005	28427	150,4
Обсяг реалізації продукції, робіт, послуг у фізичному вираженні	тис. грн..	324	315	304	317	400	170,9
Обсяг реалізації продукції, робіт, послуг у вартісному вираженні	тис. грн.	14030	13840	12930	19005	24050	171,4

Продовження таблиці 3.2

Показники	Од. вим.	2015	2016	2017	2018	2019 оцінка	2019 р в % до 2015 р.
В т.ч. по рослинництву	тис. грн.	10751	12474	9751	13474	18038	167,8
Витрати на вироб- ництво і реалізацію продукції	тис. грн.	10670	9760	9670	13303	18520	173,6
В т.ч. по рослинництву	тис. грн.	8211	8509	8711	8748	13600	165,6
Прибуток від реалізації	тис. грн.	3360	3200	3250	5702	5530	164,4
В т.ч. по рослинництву	тис. грн.	2540	2330	2430	4726	4438	174,7
Рентабельність	%	31,5	29,3	30,4	42,9	29,9	94,8
В т.ч. по рослинництву	%	30,9	27,6	29,8	54,0	32,6	105,5
Середньомісячна заробітна плата	грн.	6068	7286	7996	8822	10961	180,6
Річний фонд заробітної плати	тис. грн.	3172,5	2962,4	3062,5	4401,3	8406,8	265,0
Суми сплачених податків	тис. грн.	1095	1105	1125	1564	2150	196,3

3.3 Виробничі ресурсів, сільськогосподарські машини та електрична частина

Визначальна роль в процесі виробництва матеріальних благ належить праці. Висока ефективність використання трудових ресурсів є найважливішою умовою підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Чисельність працюючих в ПАП «Агропродсервіс» характеризується даними, які наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Чисельність працюючих в ПАП «Агропродсервіс»

Показники	За роками					
	2017		2018		2019	
	люд.	%	люд.	%	люд.	%
Всього працюючих	567	100	602	100	690	100
1. Працівники, зайняті в с/г:	452	79,7	472	78,5	537	77,8
а) робочі постійні;	412	59,8	418	62,2	479	53,4
б) службовці, з них:	40	20,3	49	21,3	58	21,5
- керівники;	10	9,1	15	8,1	22	7,9
- спеціалісти.	30	11,2	34	11,4	36	14,7
2. Працівники, зайняті в супутніх промислових підприємствах	95	16,8	105	17,4	118	17,1
3. Працівники торгівлі та громадського харчування	20	3,5	25	4,1	35	5

З наведених у таблиці 3.3 даних випливає, що загальна чисельність працюючих зросла за три роки з 567 чоловік до 690 або на 17,8%, в тому числі на 15,8% збільшилася чисельність постійних робочих, зайнятих у сільськогосподарському виробництві. Чисельність працівників торгівлі та громадського харчування також зросла протягом трьох років .

Тракторний парк в ПАП «Агропродсервіс» представлено в табл. 3.4, а парк сільськогосподарських машин – у табл. 3.5.

Таблиця 3.4 – Тракторний парк

№	Марка	Кількість				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	ДТ-75	6	8	8	7	7
2	Т-25	5	4	4	3	3
3	Т- 70	1	1	1	1	1
4	Т- 150	3	3	2	2	2
5	МТЗ-80	5	7	7	7	7
6	МТЗ- 82	9	7	8	9	9
7	МТЗ-952	1	2	2	2	2
8	ЮМЗ	1	1	1	1	1

З таблиці видно, що в господарстві в 2016 році придбали два трактори ДТ-75, два трактори МТЗ-80 і один трактор МТЗ -952.

Таблиця 3.5 – Парк сільськогосподарських машин

№	Найменування і марка машини	Кількість				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	Плуги					
	ПЛН-4-35				3	3
	ПЛН-5-35				2	2
2	Культиватори					
	КРН-5,6				6	6
	КСН-4				3	3
3	Борони					
	ЗБП-0,6				6	6
	БДТ-70				3	3
4	Луцильники					
	ЛДГ-10				2	2
5	Оприскувачі					
	ПОМ-630-1				1	1
	ОП-2001				1	1
	ОВ-2001				1	1

Електрична частина ПАП «Агропродсервіс» представлена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Електрична частина

№	Найменування	Кількість				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	Комплексна трансформаторна підстанція РП-10/0,4кВт	1	1	1	1	1
2	Зрошувальний насос АБТ-4	4	4	5	5	5
3	Глибинний електронасос БЦМ	1	1	1	1	1
4	Зварювальний трансформатор ТДС-305	1	2	2	2	2

З таблиці видно, що в господарстві в 2016 році придбали один зварювальний трансформатор ТДС-305 і в 2017 році один зрошувальний насос АБТ-4. Протяжність всієї електричної лінії на виробництві становить 300 метрів.

3.4 Тепличне господарство ПАП «Агропродсервіс»

На території господарства ПАП «Агропродсервіс» побудовані три теплиці з плівковим покриттям довжиною 60 м, шириною 24 м кожна, площа однієї теплиці становить 1440 м².

До недоліків електрифікації тепличного господарства можна віднести наступні:

- опалення здійснюється шляхом підігріву води електрикою, без автоматичного регулювання температури;
- вентиляція теплиці тільки природна, проводиться відкриванням дверей, які розташовані паралельно;
- за графіком полив сільськогосподарських культур здійснюється один або два рази на добу,
- по довжині всієї теплиці розташовано чотири лампи розжарювання, які недостатньо забезпечують освітленість робочої зони в темний час доби.

Всі ці недоліки в опаленні, вентиляції, поливі і висвітленні вказують на те, що підприємство зазнає певних збитків в тепличному господарстві.

Для усунення всіх цих недоліків доцільно:

- введення в систему автоматичного регулювання повітрообміну;
- полив рослин в теплиці доцільно проводити в автоматичному режимі за задалегідь заданою програмою автоматичного управління, що скоротить витрати ручної праці;
- при проектуванні необхідно провести більш точний розрахунок необхідної для рослини рівня освітленості, що дозволить прискорити зростання рослин і їх якість;
- використовувати в системі оригінальний сонячний котел з жалюзями, для отримання додаткового тепла і охолодження при необхідності тепличного приміщення, що дасть економію витрат традиційних джерел тепла, (в нашому випадку витрат на електропідігрів і примусову вентиляцію).

3.5 Технологія забезпечення мікроклімату

Автоматичне управління дозволяє підтримувати в теплиці задані технологічні параметри мікроклімату. Крім того, це дає суттєвий економічний ефект, так як забезпечує оптимальні умови вирощування рослин і різних овочевих культур при найменших витратах теплоти на обігрів теплиць.

Основні функції системи автоматичного регулювання полягають в наступному:

- автоматичне регулювання температури повітря;
- автоматичне регулювання обігріву;
- автоматичне керування освітлювальними установками;
- автоматичне управління циркуляцією повітря.

Портативний вимірювач температури ІВТМ-7. Прилад призначений для вимірювання температури, а також для визначення інших температурних характеристик повітря. В якості чутливого елемента вимірювача температури використовується плівковий терморезистор, виконаний з нікелю. Принцип роботи приладу заснований на перетворенні ємності датчика вологості і опору датчика температури в частоту з подальшою обробкою її за допомогою мікроконтролера.

В дипломній роботі розроблено проект устаткування для автоматичної підтримки оптимального мікроклімату в теплицях площею до 1500 м². Регулювання температури повітря в сторону підвищення відбувається за рахунок включення додаткового обігріву, а в сторону зниження – за рахунок посилення природної вентиляції через віконця (квартирки). Вологість регулюють періодичним розпиленням води в повітря.

В систему регулювання температури входять датчики температури, два калорифери, два електромагнітних вентиля (рис. 3.1). Датчиками температури служать електроконтактні термометри типу ТК-6 з регульованою магнітною головкою. Два з них регулюють температуру вдень, два - вночі, а один сигналізує про аварійне зниження температури.

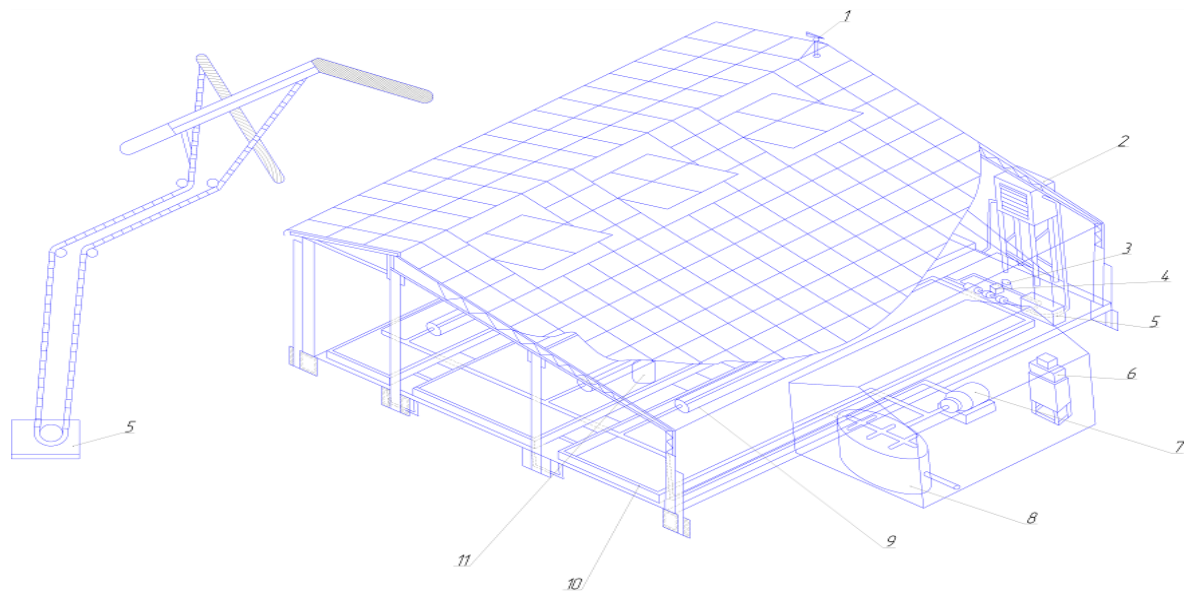


Рисунок 3.1 - Схема обладнання теплиці:

1 - електроконтактний флюгер; 2 - калорифер; 3 - ручний вентиль;
 4 - електромагнітний вентиль; 5 - привід відкриття кватирок; 6 - шафа управління; 7 - насос; 8 - водонагрівач; 9 - жолоб; 10 - розпилювачі води;
 11 - шафа з датчиками

Один із термометрів кожної пари встановлюють на верхню межу діапазону температур, що задається, інший - на нижній. При отриманні сигналу від датчика температури на включення опалення вступають в роботу двигуни калориферів і електромагнітні вентиля, що відкривають доступ теплоносія до калорифера.

Система зволоження повітря включає в себе датчики вологості, трубопроводи, розпилювачі, насосну станцію, регулятор температури води. Датчиком вологості служить двопозиційний камерний водорегулятор (ВДК), включений в електричне коло системи зволоження. Необхідне значення вологості задають, налаштовуючи ВДК.

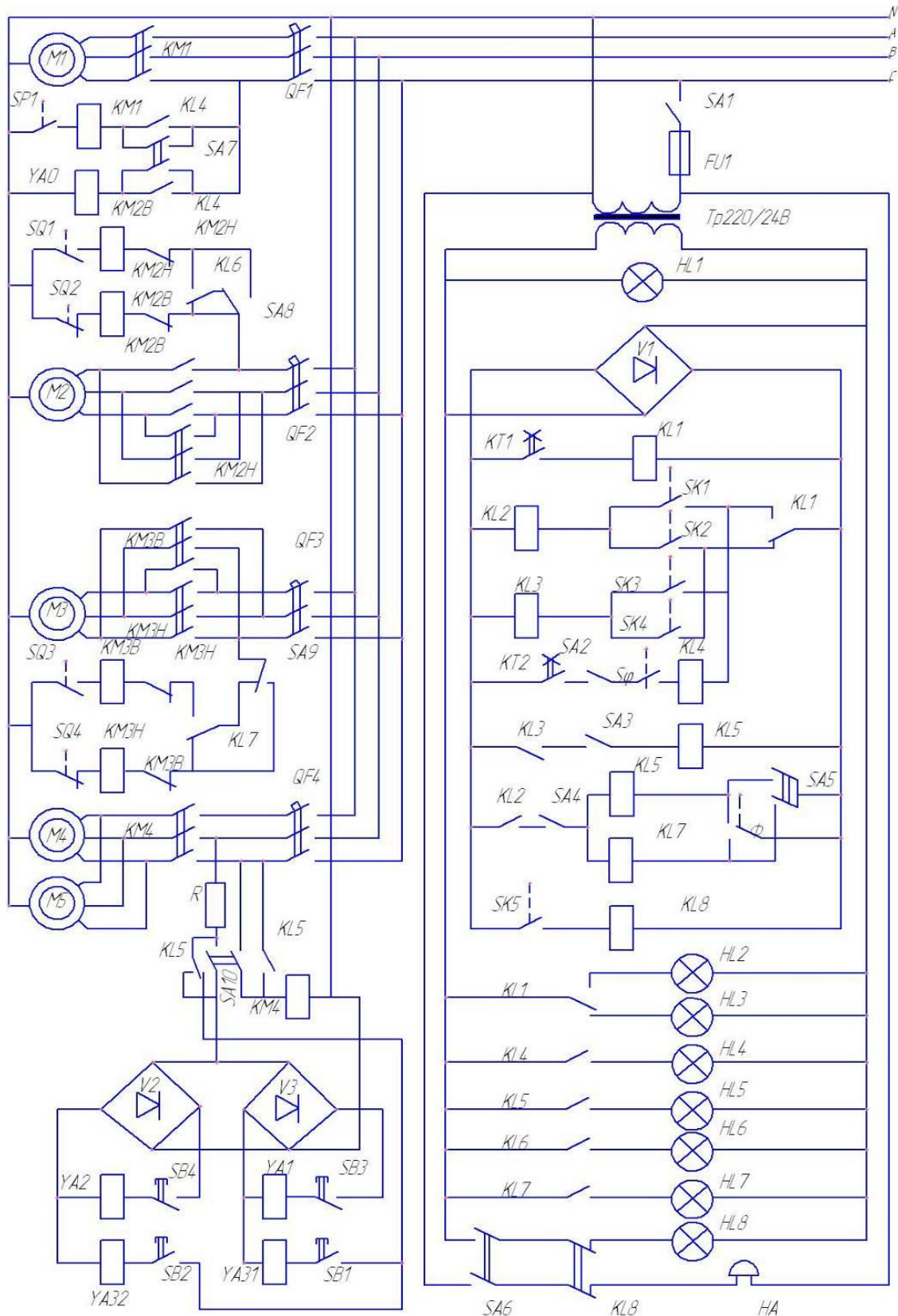
Пластмасові трубопроводи підвішують на розтяжках під покрівлю вздовж теплиці в три лінії з відстанню 3 ... 3,5 м від покрівлі теплиці і з кроком в лінії 3 м. Розпилювачі 10, що прикріплюються до труб, являють собою капронові насадки з двома отворами (діаметром 0,4 мм кожна), завдяки чому потоки води, що виходять з них під тиском, стикаючись, розбиваються в дрібний пил, яка утворює навколо розпилювачів віяло, що досягає 2 м у діаметрі. Розпилювачі закріплюють на трубопроводах в шаховому порядку з кроком в лінії 3 м. Для

збору води і відведення крапель, що утворюються на трубах під час розпилювання та від конденсації водяної пари з повітря, під трубами встановлюють жолоби 9, по яких вода стікає в каналізацію. Насосна станція, призначена для подачі до розпилювачів теплої води під постійним тиском, складається з бака підігрівача 8 і відцентрового насоса 7 типу 2КМ-6 з електродвигуном. Рівень води в баку підтримується поплавковим клапаном, а її температура - автоматичним регулятором прямої дії типу РТ, встановленим на вхідному патрубку змішувача, по якому пропускається підігріта вода.

У вузол вентиляції входять фрамуги з приводом 5 від двох електродвигунів через черв'ячні редуктори і чотири барабани з канатною системою і блоками. Кватирки можуть бути відкриті з правого або лівого боку теплиці, або з обох сторін одночасно.

Для подачі команди на відкриття кватирок з підвітряного боку використано електроконтактний флюгер 1, що встановлюється на даху теплиці. Залежно від напрямку вітру кулачок обертової частини флюгера тисне на мікроперемикач і замикає коло включення вентиляції лівого або правого боку теплиці. У шафі управління передбачений вимикач SA5 (рис. 3.2), блокуючі контакти флюгера для включення вентиляції з двох сторін. Шафу управління встановлюємо в приміщенні (поза межами теплиці), де умови не перешкоджають нормальній роботі електроустаткування.

Програми роботи систем задаються програмним реле часу 2РВМ з приставкою, що дозволяє отримати витримки в 0.5 ... 3 хв через потрібні проміжки. Реле 2РВМ має диск налаштування з різьбовими отворами під штифти в два ряди (для двох програм). Мінімальний час уставки першої програми 15 хв, другої - 20 хв. Через встановлений час штифти натискають на мікрОВимикачі, замикаються кола живлення реле, які включають коло відповідних програм. Перша програма задає денний або нічний режим роботи, друга періодично (через кожні 60 хв) включає систему зволоження із заданою тривалістю вприскування (до 2 хв). На рис. 3.2 приведено розроблену схему електричну функціональну управління обладнанням мікроклімату теплиці.



8

Рисунок 3.2 - Функціональна схема управління обладнанням мікроклімату теплиці

У денному режимі роботи замикаються контакти реле часу КТ1, спрацює реле КЛ1 і включає кола датчиків температури дня SK1, SK3 і вологості повітря Sφ. Термометр SK1 встановлюється на верхню межу регульованої температури (наприклад, 28 °С), а SK3 - на нижню (наприклад, 25 °С), Якщо температура стане нижче 25 °С, контакти датчика SK3 розмикаються, реле відключається від живлення, контакти КЛ3 в колі реле КЛ5 замикаються. Реле КЛ5 через пускач КМ4 включає електродвигуни М4 і М5 калориферів вентиляторів і електромагніти вентилів УА1, УА2, які відкривають доступ теплоносія в калорифери.

Електромагніти вентилів після спрацювання відключаються від живлення, проте вентиля, що утримуються механічними засувками, залишаються відкритими, а контакти в колі електромагнітів засувок закриваються (вентилі готуються до закриття). Коли температура досягає 25 °С, контакти SK3 замикають коло реле КЛ3, яке розриває коло живлення реле КЛ5, котушка пускача КМ4 виключається з кола струму, одночасно подається імпульс на електромагніти засувок УА31, УА32 і вентиля закриваються, а котушки засувок виявляються відключеними.

Якщо температура в теплиці перевищить 28 °С, замкнуться контакти термометра SK1, заживиться реле КЛ2 і замкне коло живлення обмотки реле КЛ6 або КЛ7 в залежності від положення флюгера Ф (при установці двосторонньої вентиляції - одночасно обидва реле), а реле замкне коло живлення котушок пускачів КМ2В або КМ3В, які включають електродвигуни приводів, що відкривають кватирки. Шайби на тросах кватирок натиснуть на кінцевий вимикач SQ1 або SQ3 і зупинять двигуни, залишаючи кватирки відкритими.

Коли температура знизиться до 28 °С, коло живлення реле КЛ2 розірветься, контакти його в колі реле КЛ6 і КЛ7 відкриються, реле КЛ6 або КЛ7 втратить живлення і його контакти замкнуть коло пускача КМ2Н або КМ3Н, двигуни виконають реверс, кватирки закриються. Після цього вимикач SQ2 або SQ4 відключить двигун. При зниженні температури до аварійно низької розімкнуться контакти датчика SK5, виводячи з кола струму реле КЛ8, ввімкнуться звуковий і світловий сигнали.

Коли закриваються контакти реле часу КТ2 за другою програмою і в разі зменшення відносної вологості повітря в теплиці по відношенню до заданої, замикаються контакти датчика вологості Sφ. Реле КЛ4 включає пускач КМ1 двигуна приводу насосу бака водопідігрівача і електромагнітний вентиль УАО системи зволоження - вода надходить до розпилувачів. Через заданий час контакти реле часу КТ2 розмикаються, реле КЛ4 відмикає живлення пускача і електромагніт вентиля УАО. Вприскування припиняється. Про роботу системи сигналізують лампи НЛ1 ... НЛ7.

У нічному режимі роботи контакти КТ1 розімкнуті, тому кола реле КЛ1 і КЛ4 відкриті, система зволоження не працює, системою обігріву управляють датчики SK2 і SK4. Автоматичні вимикачі QF1 ... QF4 служать для включення і захисту двигунів.

4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок розробленого проекту теплиці

Визначаємо теплову потужність нагрівального пристрою для зонного обігріву плівкової теплиці, розташованій в західній кліматичній зоні і призначеній для вирощування саджанців і різних видів розсади.

Початкові дані: $t_n = -15^{\circ}\text{C}$; $t_p = 7^{\circ}\text{C}$; $\tau_0 = 20^{\circ}\text{C}$; $\varphi_n = 80\%$; $\varphi_p = 70\%$; $\vartheta = 5 \text{ м/с}$; $\varepsilon_0 = 0,96$; $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,94$; $k_n = 0,93$; $k'_n = 0,88$; $F_{n1} = F'_1 = F_0 = 1440\text{м}^2$; $F_{в1} = 47\text{м}^2$; $F_1 = 1487\text{м}^2$; $F_{в2} = 347\text{м}^2$; $F_{н2} = 1651 \text{ м}^2$; $F_2 = 1998 \text{ м}^2$; $L = 30\text{м}$; $L_1 = \sqrt{F_0} = \sqrt{1440}$.

Визначаємо теплову потужність Q , необхідну для забезпечення $t_p = 7^{\circ}\text{C}$ і $\tau_0 = 20^{\circ}\text{C}$ при $t_n = -15^{\circ}\text{C}$. При розрахунку наявної теплиці було встановлено, що для забезпечення необхідних температурних режимів при посадці саджанців і різних видів розсади в плівковій теплиці з одинарним огороженням досить тільки ґрунтового нагрівача, що забезпечує поверхневу потужність близько 230 Вт/м^2 . У такому випадку система рівнянь теплового балансу теплиці з зонним обігрівом (ґрунтовим) складається з чотирьох рівнянь з чотирма невідомими Q_n , τ_1 , t_1 і τ_2 .

$$Q_n = Q_{п.г} + Q_{л1}^+ + Q_{к1}^+ + Q_{вр}; \quad (4.1)$$

$$Q_{л1}^+ + Q_{к1}^+ = Q_{л2}^+ + Q_{к2}^+ + Q_{в1}; \quad (4.2)$$

$$Q_n = Q_{п.г} + Q_{ко} + Q_{л.о} + Q_{и}; \quad (4.3)$$

$$Q_{л2}^- + Q_{к2}^- = Q_{л2}^+ + Q_{к2}^+ \quad (4.4)$$

Формули 4.1-3.4 взято з розділу 2 від формул;

$$4.1 = 2.35; 4.2 = 2.36; 4.3 = 2.37; 4.4 = 2.39.$$

Чисельні значення складових теплового балансу теплиці з зонним обігрівом приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Чисельні значення складових теплового балансу (див. розділ 2)

№ формули	Позначення	Результати розрахунку	Розмірність	Примітка
1	2	3	4	5
2.42	c_{np}	5,14	-	$\varepsilon_0=0,96, \varepsilon_1=0,94; F_0=1440\text{м}^2;$ $F_1=1487\text{м}^2;$
2.5	$t_{об}$	$9,95+0,3 \tau_1$	$^{\circ}\text{C}$	-
2.47	c'_{np}	5,11	-	$F'_1=1440\text{м}^2;$ $F_2=1998\text{м}^2; \varepsilon_1=\varepsilon_2=0,94$
2.4	$Q_{п.г}$	$3412+41 \tau_1$	Вт	-
2.7	R^{cp}_0	10,53	$\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ /Вт	$F_{1\cdot 0}= F_{2\cdot 0}= F_{3\cdot 0}=96 \text{ м}^2;$ $F_{4\cdot 0}=864 \text{ м}^2$
2.8	$Q_{ко}$	78636	Вт	$A_3=1,375; m=1,3$
2.9	D	$22,9 \cdot 10^{-6}$	$\text{м}^2/\text{с}$	$t_{онп}=13,5^{\circ}\text{C}; P_6=760 \text{ мм.рт.ст.}$
2.14	γ_{tp}	1,256	$\text{кг}/\text{м}^3$	$e^H_{t_p}=7,492 \text{ мм.рт.ст.}$
2.15	$\gamma_{тo}$	1,194	$\text{кг}/\text{м}^3$	$e^H_{t_0}=17,53 \text{ мм.рт.ст.}$
2.11	β	5,9	м/ч	$v=14,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; L_1=37,95 \text{ м}$
2.10	$Q_{и}$	43894	Вт	$r_0=680 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}; \eta=0,8;$ $c^H_0=17,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3;$ $F_0=1440\text{м}^2; c^H_{t_p}=7,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$
2.41	$Q_{ло}$	$120498-6025 \tau_1$	Вт	$c_{np}=5,14; F_0=1440\text{м}^2$
2.43	$Q_{л1}^-$	$112063-5603 \tau_1$	Вт	$k_{п}=0,93;$
2.44	$Q_{к1}^-$	$1055A_3^{//} x$ $\sqrt[3]{(7-\tau_1)x}$ $x(7-\tau_1)$	Вт	$F_{B1}=47 \text{ м}^2; F_{ш}=1440 \text{ м}^2$
2.46	$Q_{л1}^+$	$6185(t_1-t_2)$	Вт	$c'_{np}=5,11$

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
2.48	Q_{k1}^+		Вт	$m=1,3; F'_1=1440 \text{ м}^2$
2.48	Q_{k1}^+	$\frac{1872A'_3}{\sqrt[3]{(\tau_1 - t_1)}} \cdot x(\tau_1 - t_1)$	Вт	$m=1,3; F'_1=1440 \text{ м}^2$
2.49	$Q_{л2}^-$	$5443(\tau_1 - \tau_2)$	Вт	$k_{п}=0,88$
2.50	$Q_{к2}$	$\frac{1503A'''_3}{\sqrt[3]{(t_1 - \tau_2)}} \cdot x(t_1 - \tau_2)$	Вт	$F_{в2}=347 \text{ м}^2; F_{н2}=1651 \text{ м}^2$
2.20	$Q_{к2}^+$	$305694 + 20380 \tau_2$	Вт	$a'_{к2}=7,6 \text{ Вт}/(\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}); a''_{к2}=22,4;$ $a_{к2}=10,2$
2.24	$Q_{л2}^+$	$235579 + 9500 \tau_2$	Вт	$Q_{эф}=223097 + 8668 \tau_2$
2.45	$Q_{в}$	$365 + 666 \tau_1 - 662 \tau_2 + 200A'_3 \cdot x(\tau_1 - t_1)^{4/3}$	Вт	$Q_{окр}=12482 + 832 \tau_2$
	Принято $Q_{в1}$	$1,1(Q_{л2}^+ + Q_{к2}^+)$	Вт	-

Після підстановки в рівняння чисельних значень теплових потоків втрат, взятих з табл. 4.1, отримаємо:

$$Q_n = 3412 + 41\tau_1 + 6185(\tau_1 - \tau_2) + 1872A'_3 \sqrt[3]{\tau_1 - t_1} \cdot (\tau_1 - t_1) + 365 + 666\tau_1 - 662\tau_2 + 200A'_3(\tau_1 - t_1)^{4/3}; \quad (4.1')$$

$$6185(\tau_1 - \tau_2) + 1872A'_3 \sqrt[3]{(\tau_1 - t_1)}(\tau_1 - t_1) = 1.1(235579 + 9500\tau_2 + 305694 + 20380\tau_2); \quad (4.2')$$

$$Q_{п}=3412+41\tau_1+54568+120498-6025\tau_1+78636; \quad (4.3')$$

$$5443(\tau_1 - \tau_2) + 1503A_3^{1/3}\sqrt[3]{(\tau_1 - \tau_2)}(\tau_1 - \tau_2) = 235579 + 9500\tau_2 + 305694 + 20380\tau_2. \quad (4.4')$$

Після перетворення рівнянь (4.2') і (4.4') маємо:

$$6185\tau_1 - 39053\tau_2 + 1872A_3^{1/3}\sqrt[3]{(\tau_1 - \tau_2)}(\tau_1 - \tau_2) - 595400 = 0; \quad (4.2')$$

$$5443\tau_1 - 35323\tau_2 + 1503A_3^{1/3}\sqrt[3]{(\tau_1 - \tau_2)}(\tau_1 - \tau_2) - 541273 = 0; \quad (4.4')$$

Після цього розрахунку вводимо заміну змінних: $\Delta t_1 = \tau_1 - t_1$; $\Delta t_2 = t_1 - \tau_2$, тоді

$$\tau_1 = \Delta t_1 + t_1; \quad \tau_2 = t_1 - \Delta t_2.$$

Рівняння (4.2') і (4.4') з новими змінними і $A \approx 1,47$, $A \approx 1,5$ після перетворень отримуємо:

$$6185\Delta t_1 - 32868t_1 + 39053\Delta t_2 + 2752\Delta t_1^{4/3} - 595400 = 0; \quad (4.2')$$

$$5443\Delta t_1 - 29880t_1 + 35323\Delta t_2 + 2254,5\Delta t_1^{4/3} - 541273 = 0; \quad (4.4')$$

Звільняємось від коефіцієнтів при t_1 :

$$-\Delta t_1 + 0,188\Delta t_1 + 1,188\Delta t_2 + 0,0837\Delta t_1^{4/3} - 18,11 = 0; \quad (4.2')$$

$$-\Delta t_1 + 0,182\Delta t_1 + 1,182\Delta t_2 + 0,0755\Delta t_1^{4/3} - 18,11 = 0; \quad (4.4')$$

Після віднімання з рівняння (4.2') виразу (4.4') і ділення змінних отримаємо:

$$0,006\Delta t_1 + 0,837t_1^{4/3} = -0,006\Delta t_2 + 0,0755t_1^{4/3} \quad (4.2') - (4.4')$$

Помножимо обидві частини рівняння на 1000:

$$6\Delta t_1 + 83,7t_1^{4/3} = -6\Delta t_2 + 75,5t_1^{4/3} \quad (4.2') - (4.4')$$

Розв'яжемо отримані рівняння (4.2') - (4.4') методом послідовних наближень і представимо їх у вигляді таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Метод послідовних наближень

Δt_1 (задають)	$6\Delta t_1$	$\Delta t \frac{4}{1}$	$\sqrt[3]{\Delta t_1^4}$	$83,7 t_1^{4/3}$	Ліва частина
13	78	28567	30,67	2558,5	2636,5
10	60	10000	21,55	1803,3	1863,3
8	48	4096	16	1339	1387
6	36	1296	10,9	912	948
5	30	625	8,5	715	745
4	24	256	6,3	531	555
2	12	16	2,5	211	223
Δt_2 (задають)	$-6\Delta t_2$	$\Delta t \frac{4}{2}$	$\sqrt[3]{\Delta t_2^4}$	$75,5 t_2^{4/3}$	Права частина
15	-150	50625	37	2793	2643,5
11	-65	14641	24,5	1847	1781
9	-54	6561	18,7	14,1	1359
7	-42	2401	13,4	1011	968
6	-36	1296	10,9	823	787
4,8	-29	531	8,1	611	582
2,4	-14	33,17	3,2	243	229

Будуємо графік $\Delta t_2(\Delta t_1)$ (рис. 4.1) і знаходимо $\Delta t_2 = 1,15\Delta t_1$ або $\Delta t_1 = 0,869\Delta t_2$.

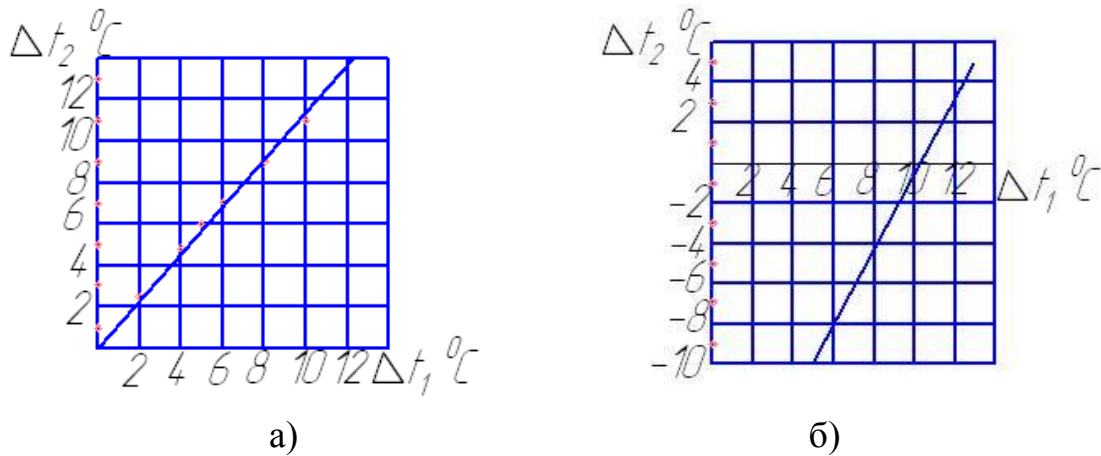


Рисунок 4.1 - Графічний метод визначення залежностей:

а) $\Delta t_2(\Delta t_1)$; б) $t_1(\Delta t_1)$

У рівняння (4.2') підставимо $\Delta t_2 = 1,15\Delta t_1$ і після перетворень отримаємо:

$$-t_1 + 1,554\Delta t_1 + 0,0837t_1^{4/3} - 18,11 = 0, \quad (4.2'')$$

$$t_1 = 1,554\Delta t_1 + 0,0837t_1^{4/3} - 18,11 \quad (4.4'')$$

Розв'язок рівняння зведемо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Розв'язок рівняння

Δt_1 (задають)	$1,554\Delta t_1$	Δt_1^4	$\sqrt[3]{\Delta t_1^4}$	$0,0837t_1^{4/3}$	t_1
13	20,2	28567	30,564	2,558	4,6
10	15,54	10000	21,545	1,8	-0,8
8	12,43	4096	16	1,34	-4,3
6	9,32	1296	10,9	0,91	-7,9

За даними таблиці 4.1 будують графіки $t_1(\Delta t_1)$ і з рис 4.1, б знаходять $t_1 = 1,73 \Delta t_1 - 18,11$. Так як $\Delta t_1 = 0,869\Delta t_2$, то $t_1 = 1,5\Delta t_2 - 18,11$.

У рівняння (4.4') підставимо вирази $t_1 = 1,5\Delta t_2 - 18,11$ і $\Delta t_1 = 0,869\Delta t_2$.

Після перетворень отримаємо:

$$0,075 \Delta t_2^{4/3} = 0,16 \Delta t_2. \quad (4.4'')$$

Помножимо обидві частини на 1000:

$$75 \Delta t_2^{4/3} = 160 \Delta t_2. \quad (4.4''')$$

Розв'язок рівняння (4.4''') методом послідовних наближень показало, що його задовольняє $\Delta t_2 = 10^\circ \text{C}$.

Тоді $\Delta t_1 = 0,869 \Delta t_2 \approx 8,7^\circ \text{C}$;

$$\tau_1 - t_1 = 8,7; \tau_1 = t_1 + 8,7; t_1 = 1,5 \Delta t_2 - 18,11 = 1,5 \cdot 10 - 18,11 \approx -3,1^\circ \text{C};$$

$$\tau_1 = -3,1 + 8,7 = 5,6^\circ \text{C}; \Delta t_2 = t_1 - \tau_2; \tau_2 = t_1 - \Delta t_2 = -3,1 - 10 = -13,1^\circ \text{C}.$$

Підставляючи знайдені значення $\tau_1 = 5,6^\circ \text{C}$, $t_1 = -3,1^\circ \text{C}$ і $\tau_2 = -13,1^\circ \text{C}$ в рівняння (4.3), знаходимо теплову потужність:

$$Q_{\text{п}} = 3412 + 41 \cdot 5,6 + 43894 + 120498 - 6025 \cdot 5,6 + 78636 = 212930 \text{ Вт}.$$

Похибку розрахунків перевіримо за формулою (4.1)

$$Q_{\text{п}} = 3412 + 41 \cdot 5,6 + 6185(5,6 + 13,1) + 1872 \cdot 1,44 \sqrt[3]{8,7 \cdot 8,7} + 365 + 666 \cdot 5,6 + 200 \times \\ \times 1,44 \sqrt[3]{5,6 + 3,1} \cdot 8,7 = 177155 \text{ Вт}$$

Похибка виконаних розрахунків:

$$\delta = \frac{212930 - 177155}{177155} \cdot 100 \approx 20\%.$$

Для наших розрахунків цю похибку можна визнати задовільною.

Визначаємо коефіцієнт тепловтрат ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$) для плівкової теплиці за формулою (2.30) (див. розділ 2):

$$k_0^{\text{ст}} = \left[\frac{Q_{\text{п}} + Q_{\text{ш}}}{(1 + \gamma_{t_{\text{н}}} - \gamma_{t_{\text{п}}})(t_{\text{п}} - t_{\text{н}})} - \frac{F_0}{R_0^{\text{сп}}} \right] \frac{1}{F_2} = \left[\frac{212930}{(1 + 1,368 - 1,261)(7 + 15)} - \frac{1440}{10,53} \right] \frac{1}{1998} \approx 4,3$$

З виразу (2.31) (див. розділ2):

$$k_0^{\text{НЛ}} = 1,1 k_0^{\text{СТ}} = 1,1 \cdot 4,3 = 4,73$$

З виразу (2.32) (див. розділ2):

$$Q_{\text{п}}' = \left(k_0^{\text{НЛ}} F_2 + \frac{F_0}{R_0^{\text{сп}}} \right) (t_{\text{п}} - t_{\text{н}}) \left[1 + 0,8 \left(\gamma_{t_{\text{н}}} - \gamma_{t_{\text{п}}} \right) \right] = \left(4,73 \cdot 1998 + \frac{1440}{10,53} \right) (7 + 5) (1 + 0,8 \times 0,109) = 229920.$$

Питома встановлена потужність ґрунтового електронагрівального пристрою при зонному обігріві згідно з розрахунками складе:

$$q_{\text{п}} = \frac{229920}{1440} = 159,7 \approx 160 \text{ Вт/м}^2.$$

Для плівкової теплиці без зонного укриття аналогічні температурні режими ($t_{\text{п}} = -7^{\circ}\text{C}$ і $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ при $t_{\text{н}} = -15^{\circ}\text{C}$) Забезпечувалися при $q_{\text{п}} = 236 \text{ Вт/м}^2$. Отже, застосування зонного обігріву дозволить зменшити встановлену теплову потужність на

$$\Delta q_{\text{п}} = \frac{236 - 160}{236} \cdot 100 = 32\%.$$

4.2 Модернізація системи електрифікації теплиць

Конструкція представляє собою теплицю, з розташованим під зашкльеним дахом геліокотлом, що забезпечує можливість регулювання температури всередині приміщення.

Конструкція геліокотла (рис. 4.2) представляє собою теплоізоляційну камеру, орієнтовану на південь, з метою захоплення максимуму енергії Сонця. Нагрівальні елементи складаються з розташованих на передній стінці ємності системи жалюзі, пофарбований з одного боку в чорний, а з іншого боку - в білий колір. Над системою жалюзі (поглинальна поверхню) вмонтована рама зі склом. При високій температурі всередині теплиці жалюзі розгортають за допомогою

автоматичного електромагніту білою стороною до Сонця, що призводить до зниження температури і відбиванню сонячної радіації від поверхні теплиці, а при низькій температурі, навпаки, відбувається поглинання сонячної радіації зворотною (чорною) стороною жалюзі, що призводить до підвищення температури. Примусова циркуляція повітря забезпечується електричними вентиляторами. Повітряний зазор між скляними панелями становить 10-15 см при двошаровій системі.

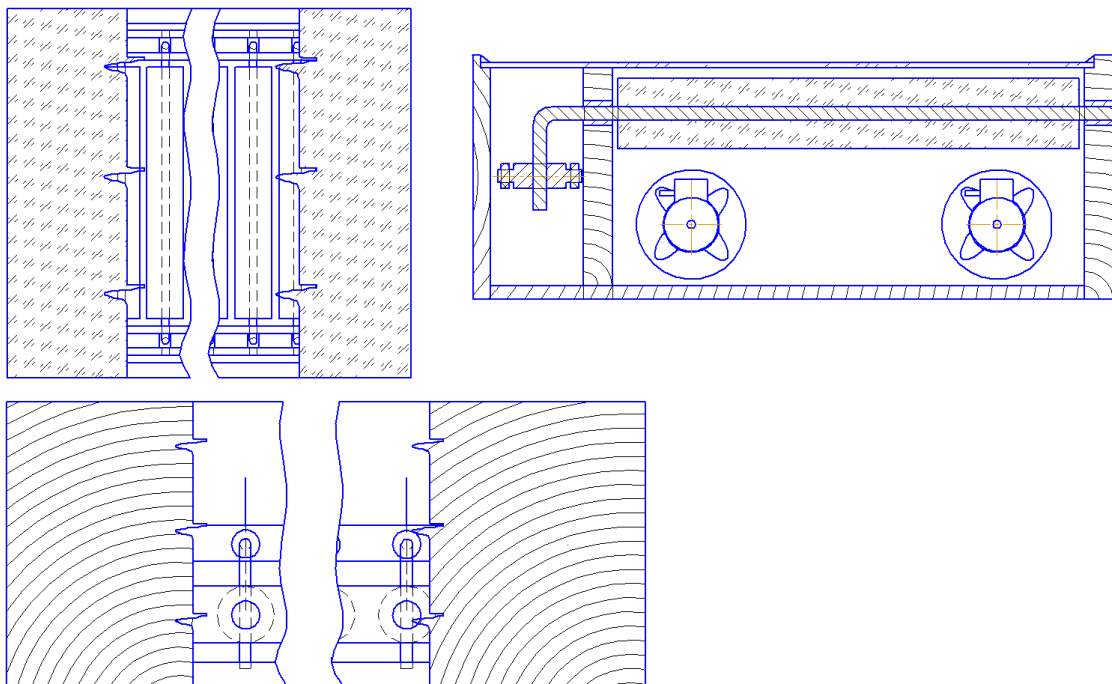


Рисунок 4.2 - Геліокотел

Робота системи жалюзі діє від електромагнітів, які спрацьовують від схеми автоматичного управління температурним режимом теплиці.

Плоска установка, крім прямої сонячної радіації, сприймає і розсіяну радіацію в похмуру погоду, при легкій хмарності.

4.3 Розрахунок теплового балансу геліоустановки теплиці

На основі аналізу теплового балансу геліоустановки, обчислюємо середню температуру повітря t_{f1} в теплиці в залежності від середньої зовнішньої температури t_{f2} .

Розрахункова формула для визначення середньої температури повітря в

теплиці в холодну пору року буде наступною [29]:

$$t_{f1} = \frac{E_0 \cdot F_1 \cdot D_c \cdot A_k \cdot J}{C_b \cdot T_b \cdot C \cdot T + K \cdot Y_1 \cdot Y_2 \cdot F_2 \cdot J} + \frac{t_{f2}}{2} \quad (4.5)$$

де E_0 - кількість сонячної енергії, що надходить на приймач, ккал /м²·год;

D_c - коефіцієнт пропускання сонячної радіації склом;

A_k - коефіцієнт поглинання сонячної радіації зачорненим металом;

T_b, T_k, T - відповідно маси повітря, рослин і алюмінію, кг;

C_b, C_k, C - відповідно коефіцієнти теплоємності повітря, рослин і металу (алюмінію), ккал / м²·град²;

K - середній коефіцієнт теплопередачі огорожувальних частин установки, ккал/м²·град;

Y_1 - коефіцієнт огорожі;

Y_2 - коефіцієнт, що враховує витрати тепла, обумовлені повітрообміном;

F_2 – загальна площа теплиці, м² (1440 м² - 60х24);

F_1 - площа жалюзі, м²

J - тривалість сонячного дня, год;

t_{f1}, t_{f2} - температура внутрішнього і зовнішнього повітря, °С.

Результати знайдених значень t_{f1} залежно від t_{f2} і умов проведення досліду, показані на графіку (рис. 4.1).

Вихідні параметри для розрахунку приймаємо наступні:

$E_0 = 500-540$ ккал/м²·град (Західна Україна - $E_0 = 650-700$ ккал/м²·град);

$D_c = 0,88$; $A_k = 0,92$; $C_b = 0,25$ ккал/кг·град;

$C = 0,5$ ккал/кг·град; $C_k = 0,21$ ккал/кг·град;

$K = 5$ ккал/ м²·год·град; $Y_1 = 1,5$; $Y_2 = 1,25$;

$J = 8$ год; $T_b = 156$ кг; $T_k = 500$ кг;

$T = 345$ кг; $F_1 = 134$ м²; $F_2 = 1440$ м².

$$t_{f1} = \frac{E_0 \cdot F_1 \cdot D_c \cdot A_k \cdot J}{C_b \cdot T_b \cdot C \cdot T + C_k \cdot T_k + K \cdot Y_1 \cdot Y_2 \cdot F_2 \cdot J} + \frac{t_{f2}}{2} = \frac{500 \cdot 134 \cdot 0.88 \cdot 0.92 \cdot 8}{0.25 \cdot 156 \cdot 0.5 \cdot 345 + 0.21 \cdot 500 + 5 \cdot 1.5 \cdot 1.25 \cdot 1440 \cdot 8} + \frac{5}{2} = 6,2^{\circ}\text{C},$$

де t_{f1} - фактично величина додавання температури за рахунок використання геліоефекту з чорною стороною жалюзі.

Навіть при зниженні зовнішньої температури до 5-7 °С всередині теплиці можна отримати температуру на 6-8°С вище, ніж зовні при розрахунковій площі жалюзі до 9,3% по відношенню до загальної площі скла теплиці.

4.4 Розрахунок тягового електромагніту

Електромагніт, втягуючи якір, керує положенням пластин жалюзі геліоустановки (рис. 4.3).

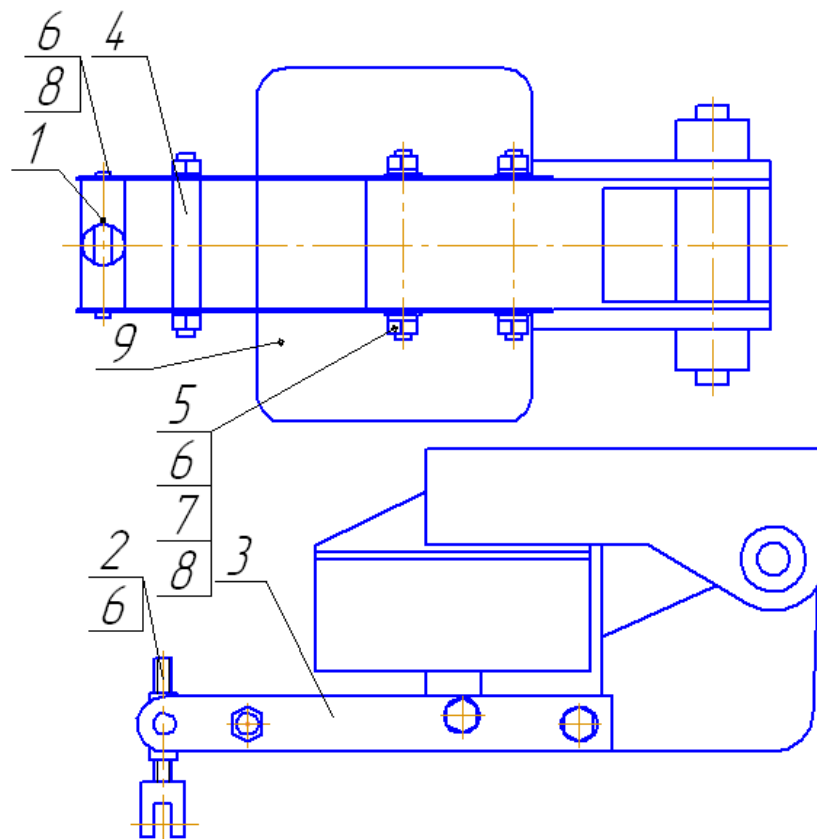


Рисунок 4.3 - Тяговий електромагніт:
 1 - вал; 2 - гвинт; 3 - планка; 4 - стійка; 5 - болт; 6 - гайка;
 7, 8 - шайби; 9 - електромагніт

Повернення електромагніту в початкове положення здійснюється за допомогою пружини. Значить, електромагніт повинен забезпечити протидію пружині і силам тертя електромагніту у втулках.

З конструктивних даних жалюзі маємо, що хід якоря електромагніту повинен бути $\delta = 35$ мм. Зусилля на початку ходу 50 Н, а у включеному положенні - 80 Н, поперечний переріз якоря електромагніту становить $1,2 \text{ см}^2$.

Для електромагніту такої потужності магнітна індукція в стрижнях рекомендується в межах $0,8 \div 1,2$ Тл.

Тягове зусилля електромагніту визначаємо за формулою:

$$F = 4 \cdot 10^5 \cdot B \cdot S, \quad (4.6)$$

де B - магнітна індукція стержня, $B = 1,2$ Тл;

S - площа поперечного перерізу стержня $S = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$.

$$F = 4 \cdot 10^5 \cdot 1,2^2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 70 \text{ Н.}$$

Розрахуємо намагнічуючу силу електромагніту у вимкненому положенні. Для сталі Е31 при магнітній індукції $B = 1,2$ Тл напруженість магнітного поля буде дорівнювати $H = 400$ А/м. Довжина силових магнітних ліній в сталі становить $l_{cm} = 0,075$ м. Тоді значення магніторушійної сили в сталі визначаємо за формулою:

$$F_{cm} = H \cdot l_{cm}, \quad (4.7)$$

де H - напруженість магнітного поля, А/м;

l_{cm} - довжина магнітних силових ліній в сталі, м.

$$F_{cm} = 400 \cdot 0,075 = 30 \text{ А.}$$

Визначаємо напруженість магнітного поля в повітряному проміжку:

$$H_n = \frac{B}{\mu_0}, \quad (4.8)$$

де, μ_0 - магнітна проникність, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

$$H = \frac{1,2}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 955400 \text{ А/м.}$$

Основна частина магнітного потоку буде проходити за напрямками листової сталі магніту. Таким чином, повітряний проміжок буде напружений і величину напруженості визначаємо коефіцієнтом шунтування ($0,1 \div 0,85$). Приймаємо коефіцієнт шунтування 0,3.

Повітряний проміжок між штоком і направляючими МІ $l_3 = 0,5$ мм.

Тоді магнітна напруженість в проміжку між штоком і направляючими МІ:

$$F_3 = 0.3 \cdot H_n \cdot l_3. \quad (4.9)$$

$$F_3 = 0,3 \cdot 955400 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 143,3 \text{ А.}$$

Визначаємо повну намагнічуючу силу магнітної системи електромагніту:

$$F = F_{cm} + F_3. \quad (4.10)$$

$$F = 30 + 143,3 = 173,3 \text{ А}$$

Задаємося кількістю витків електромагніту $W = 1000$. Тоді величину струму, що створює розраховану намагнічуючу силу визначаємо за формулою:

$$F = I \cdot W. \quad (4.11)$$

$$I = \frac{173,3}{1000} = 0.1733 \text{ А.}$$

Виходячи з щільності струму, визначимо поперечний переріз проводу:

$$S = \frac{I}{\delta_{en}}, \quad (4.12)$$

де δ_{en} - щільність струму, $\delta_{en} = 1.8 \div 4 \text{ А/мм}^2$. Приймаємо $\delta_{en} = 2 \text{ А/мм}^2$.

$$S = \frac{0,1733}{2} = 0,0866 \text{ мм}^2.$$

За отриманими розрахунками вибираємо стандартний переріз проводу ПЕЛ:

$$S = 0,0962 \text{ мм}^2; d = 0,35 \text{ мм.}$$

4.5 Розрахунок пружини електромагніту

Для визначення розмірів пружини вихідними даними служать:

P_1 - сила пружини при поперечній деформації, кг. Приймаємо, $P_1 = 5$ Н;

P_2 - сила пружини при робочій деформації. Виходячи з обраного електромагніту $P_2 = 50$ Н;

N - витривалість (число циклів до руйнування), приймаємо $N = 1 \cdot 10^7$;

h - робочий хід пружини. Рух електродів на 105 мм, що забезпечує безвідмовне спрацьовування тиристорного ключа;

D - зовнішній діаметр при внутрішньому діаметрі отвору 10 мм для проходження в ньому якоря електромагніту;

V_0 - максимальна швидкість переміщення пружини при навантаженні, приймаємо $V_0 = 5$ м/с.

Для проєктованого механізму нам необхідно розрахувати пружину стиснення. Параметри цієї пружини показані на рис. 4.4.

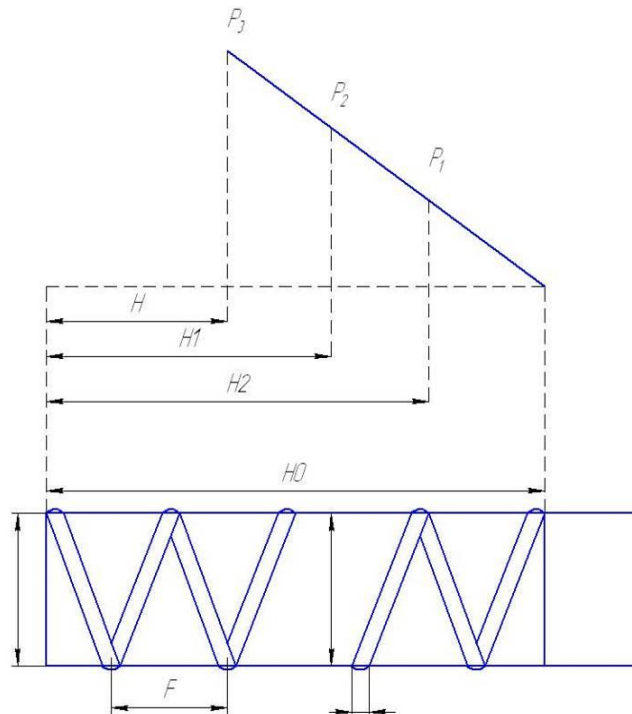


Рисунок 4.4 - Пружина стиснення

При заданій опірності пружина належить до першого класу. Визначаємо силу пружини при максимальній деформації P_3 (кг) за формулою:

$$P_3 = \frac{P_2}{1-\delta}, \quad (4.13)$$

де P_3 - сила пружини при робочій деформації (відповідає найбільшому переміщенню рухомої ланки в механізмі);

δ - відносний інерційний проміжок пружини стиснення. Для пружини стиснення 1, 2 класів $\delta = 0,05 \div 0,25$ [20].

$$P_3 = \frac{50}{1-0,05} \div \frac{50}{1-0,25} = 53-67 \text{ Н.}$$

В інтервалі від 53 до 67 до них належать такі сили: 53; 56; 60; 63; 67.

Виходячи із заданого діаметра і бажання забезпечити найбільшу критичну швидкість, зупиняємося на витку з наступними даними (номер пружини 310):

$$d = 1,6 \text{ мм}; D = 15 \text{ мм}; P_3 = 67 \text{ Н}; Z_1 = 27,24; \varphi_3 = 2,46 \text{ мм.}$$

З огляду на те, що для пружини 1 класу норма напруги $\sigma_3 = 0,36G$ знаходимо, що для знайденого діаметра дроту розрахункове напруження:

$$r = 0,3 \cdot 2100 = 630 \text{ Н/мм}^2.$$

Належність до 1 класу перевіряємо шляхом визначення $\frac{V_0}{V_{cp}}$, для чого попередньо знаходимо критичну швидкість за формулою

$$V_{кр} = \frac{r \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{35,8}. \quad (4.14)$$

$$V_{кр} = \frac{630 \left(1 - \frac{50}{67}\right)}{35,8} = 4,46 \text{ м/с.}$$

$$\frac{V_0}{V_{cp}} = \frac{50}{4,46} = 1,12 > 1.$$

Знайдена величина свідчить про наявність зминання витків в даній пружині і виходячи з цього, потрібна жорсткість повинна бути забезпечена.

Спробуємо використовувати пружину другого класу. Заданим зовнішнім діаметром і знайденими вище силами відповідає виток з наступними даними (пружина № 264):

$$P_3 = 60 \text{ Н}; d = 1,2 \text{ мм}; D = 12 \text{ мм}; 2 = 16,46 \text{ Н/мм}.$$

З огляду на норму напруг для пружини II класу знаходимо:

$$R = 0,50 \cdot G_3 = 0,5 \cdot 2300 = 1150 \text{ Н/мм}^2.$$

Тоді відносний інерційний проміжок:

$$\delta = 1 - \frac{P_2}{P_3}. \quad (4.15)$$

$$\delta = 1 - \frac{50}{60} = 0,167$$

і знаходимо $V_{кр}, \frac{V_0}{V_{кр}}$, за допомогою яких визначаємо приналежність пружини до II класу.

$$V_{кр} = \frac{1150 \cdot 0,167}{35,8} = 5,36 \text{ м/с}.$$

Знайдена величина вказує на відсутність стискання витків, і виходячи з цього, обрана пружина задовольняє наші умові. Решту розмірів визначаємо за наступними формулами.

Жорсткість пружини:

$$Z = \frac{P_2 - P_1}{h}. \quad (4.16)$$

$$Z = \frac{50 - 5}{35} = 1,29 \text{ Н/мм}$$

Число робочих витків пружини:

$$h = \frac{Z_1}{Z}. \quad (4.17)$$

$$h = \frac{16,46}{1,29} = 12,5 \text{ шт.}$$

При неробочих витках повне число витків:

$$h_1 = 12,5 + 1,5 = 14.$$

Середній діаметр пружини:

$$D_0 = 12 - 1,2 = 10,8 \text{ мм.}$$

Обчислюємо деформації, висоту і крок пружини:

$$F_1 = \frac{P_1}{Z} = \frac{5}{1.29} = 3.8.$$

$$F_2 = \frac{P_2}{Z} = \frac{50}{1.29} = 38.$$

$$F_3 = \frac{P_3}{Z} = \frac{60}{1.29} = 45.5.$$

$$H_3 = (h_1 + 1 - h_3) \cdot d = (14 + 1 - 15) \cdot 1.2 = 16.2 \text{ мм.}$$

$$H_0 = H_3 + F_3 = 16.2 + 45.5 = 58.7 \text{ мм}$$

$$H_1 = H_0 + F_1 = 58.7 - 3.8 = 54.9 \text{ мм}$$

$$H_2 = H_0 + F_2 = 58.7 - 38 = 20.7 \text{ мм}$$

$$t = \phi_3 + d = 3.645 + 12 = 4.8$$

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок системи вентиляції

Виконаємо розрахунок вентиляції [22]. Для визначення основних елементів системи вентиляції визначаємо повітрообмін L_{BO} , необхідний для видалення зайвої вологи з приміщення теплиці за формулою:

$$L_{BO} = \frac{\Sigma W}{q_1 \cdot \phi_e - q_2 \cdot \phi_n}, \quad (5.1)$$

де, ΣW - сумарна кількість вологи, що виділяється з вологоємних місць (змішувач і ін.):

$$\Sigma W = 2520 \text{ г/год} = \sqrt{0,03} \text{ м}^3/\text{год}.$$

Виходячи із загальної площі цеху (1440 м^2) і середньозваженого вологовиділення з 1 м^2 площі 50 г/год :

q_1 - вологість зовнішнього повітря;

$$q_2 = 3,1 \text{ г/м}^3;$$

ϕ_e, ϕ_n - відносна вологість внутрішнього і зовнішнього повітря, відповідно, $\phi_e = 75\%, \phi_n = 40\%$.

$$L_{BO} = \frac{2520}{12,9 \cdot 0,75 - 3,1 \cdot 0,4} = 298,76 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Повний об'єм цеху дорівнює $V_{пол} = 1440 \text{ м}^3$.

Мінімально допустиму кратність повітрообміну R_g визначаємо з відношення:

$$R_g = \frac{L_{BO}}{V_{пол}}. \quad (5.2)$$

$$R_g = \frac{298,76}{1440} = 0,2 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розрахунковий об'єм вентиляції з урахуванням втрат повітря в системі приймаємо за співвідношенням:

$$Q_p = k_3 \cdot L_{BO}, \quad (5.3)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу системи вентиляції, $k_3 = 1,5$.

$$Q_p = 1,5 \cdot 298,76 = 448,14 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Необхідна годинна кратність повітрообміну, k_2 , год⁻¹, складе:

$$k_2 = \frac{Q_p}{V_{\text{пол}}}. \quad (5.4)$$

Приймаємо $k_2 = 3 \text{ год}^{-1}$.

$$k_2 = \frac{448,14}{1440} = 0,31 \text{ год}^{-1}.$$

Так як $k_2 = 3 \div 5$, то приймаємо систему вентиляції з механічним вентилятором або приточно-витяжну систему вентиляції. Визначаємо подачу витяжних вентиляторів за формулою:

$$Q_{\text{вит}} = (2 \div 3) \cdot L_{B.O.}, \quad (5.5)$$

де $2 \div 3$ - коефіцієнт запасу, що дозволяє регулювати параметри мікроклімату.

$$Q_{\text{вит}} = 2,5 \cdot 298,76 = 746,9 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Подачу вентиляторів приймаємо на $20 \div 25\%$ менше подачі витяжних вентиляторів, тобто:

$$Q_{\text{пр}} = 746,9 - (746,9 \cdot 0,25) = 560,175 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Число вентиляторів знаходимо за формулою:

$$n = \frac{Q}{q}, \quad (5.6)$$

де q - подача припливного або витяжного вентилятора, м³/год.

Використовуючи результати отриманих розрахунків, виконаємо розробку електричної схеми і системи автоматичного управління вентиляцією теплиці [34]. В дипломній роботі використаємо стандартну приточно-витяжну установку (ПВУ), керування якою буде здійснюватися за допомогою розробленої системи автоматичного управління [18].

5.2 Розробка електричної схеми і системи автоматичного управління вентиляцією теплиці

На рис. 5.1 показана схема стандартної ПВУ, що забезпечує можливість в ручному режимі вентиляції та обігріву що надходить зовнішнього повітря як за рахунок електронагрівальних елементів (ТЕН), так і при частковій рециркуляції повітря, що відводиться з вентилязованого приміщення.

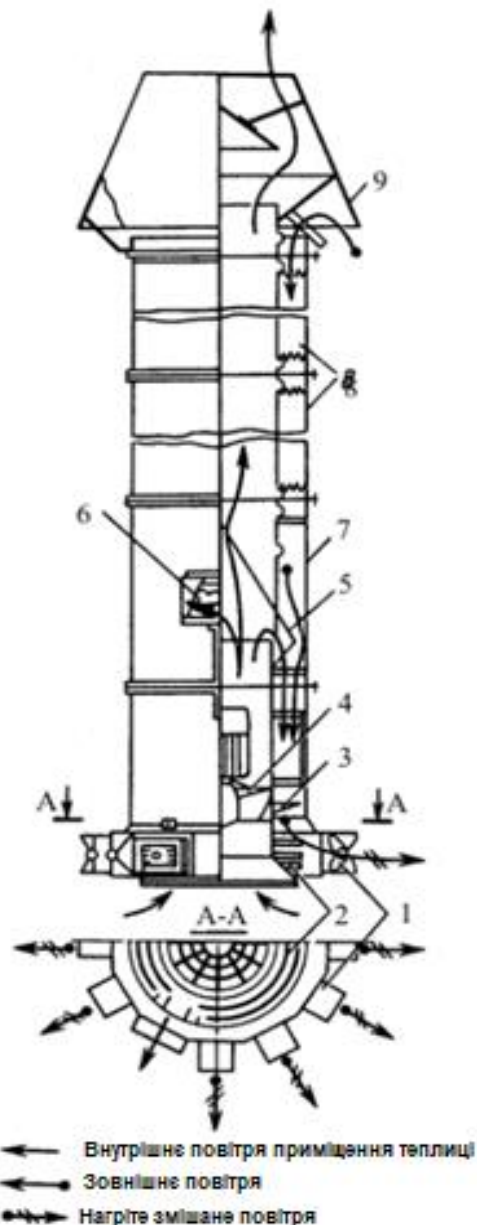


Рисунок 5.1 – Приточно-витяжна установка:

1 - приточні насадки; 2 - електронагрівальні секції; 3 - вентиляторна секція; 4 - колесо вентилятора; 5 - рециркуляційна засувка; 6 – електропривід засувки; 7 – секція рециркуляційних засувки; 8 – проміжні секції; 9 – парасоля.

При розміщенні вентиляторів в витяжних шахтах свіже повітря зазвичай подається без його попереднього підігріву. Якщо вентилятори монтують в приточних каналах, зручно попередньо нагрівати повітря для приміщень, в яких недостатньо теплоти. Такі установки отримали назву вентиляційно-калориферних.

Шахта установки типу ПВУ складається з секцій двох концентричних труб, що утворюють приточний і витяжний повітроводи. Вентилятор, розташований в вентиляторній секції, має колесо з двома рядами лопатей. Зовнішні лопаті колеса засмоктують повітря в приміщення, лопаті внутрішньої частини викидають його з приміщення по центральній трубі. Викид регулюється заслінками 5, за допомогою яких частина повітря приміщення спрямовується в потік свіжого повітря і кілька обігріває його. У комплект ПВУ входять 6 шахт з силовим блоком і пультом централізованого управління роботою припливно-витяжних установок.

Приточно-витяжні установки можна застосувати для вентиляції тепличних приміщень і забезпечити автоматичну підтримку заданої температури повітря в приміщенні і регулювання повітрообміну в залежності від зовнішньої і внутрішньої температури.

Без організації системи вентиляції потрібного мікроклімату в теплиці домогтися неможливо. В теплицях можна застосовувати як природну вентиляцію, так і примусову. Для природної вентиляції не потрібно якихось особливих зусиль. Способів її застосування є декілька. Мається на увазі провітрювання за допомогою кватирок і дверей, а також плівковими шторами і вентиляційними трубами. А ось для примусової вентиляції знадобиться система автоматичного управління, яка буде ефективно переміщати повітря в теплиці.

Тому в дипломній роботі виконаємо модернізацію приточно-витяжної установки, представленої на рис. 5.1, впровадивши в її роботу систему автоматичного управління.

На рис. 5.2 представлена розроблена електрична схема автоматичного управління вентиляцією в приміщенні теплиці.

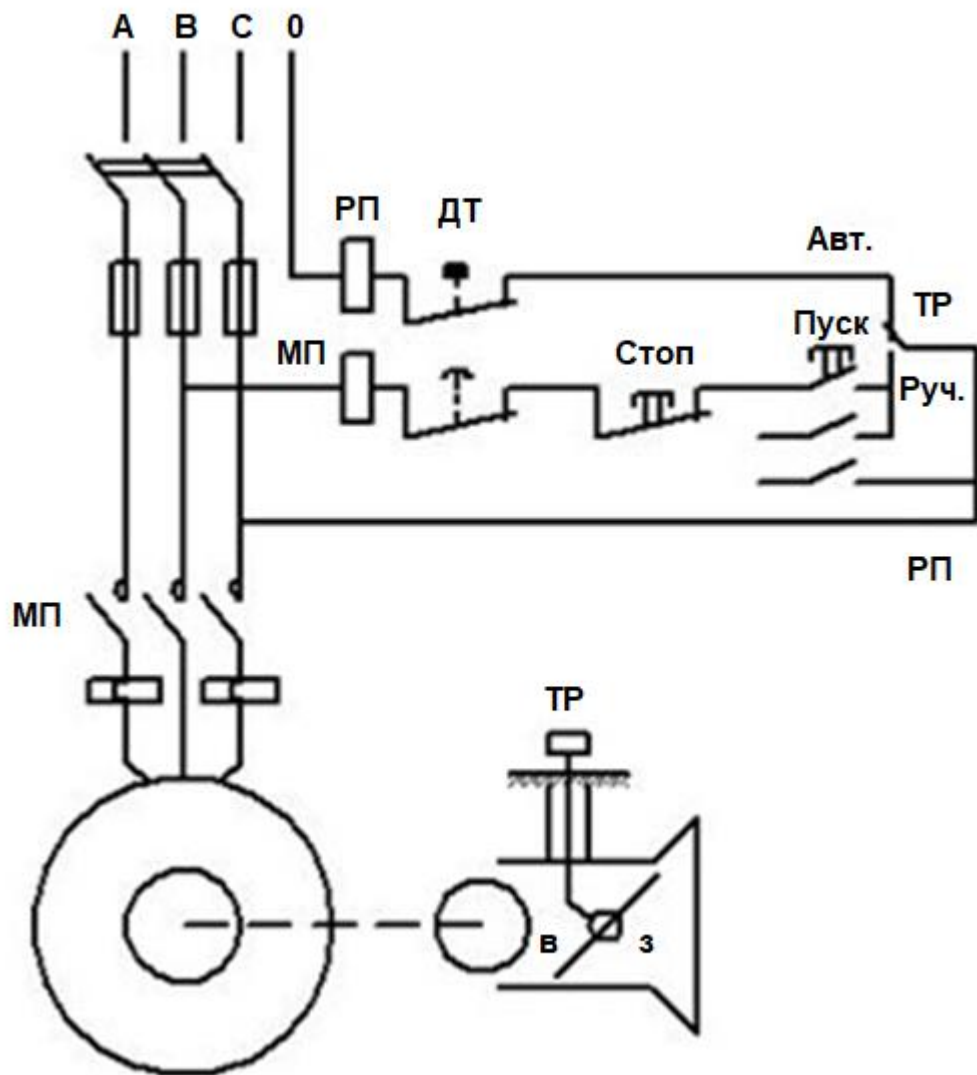


Рисунок 5.2 – Електрична схема управління вентиляцією в теплиці:
 ДТ – давач температури; ТР – температурне реле;
 В - вентилятор; З – засувка

Принцип її роботи полягає в наступному. Вентилятор **В** монтуємо в головному приточному каналі (повітроводі), в якому знаходиться заслінка **З**. У приміщенні теплиці знаходиться термореле **ТР**, яке в залежності від температури повітря управляє заслінкою **З**, відкриваючи або закриваючи її. В результаті цього змінюється надходження зовнішнього повітря в приміщення. Коли електродвигун працює в автоматичному режимі, то включенням і відключенням вентиляторів керує давач **ДТ**. При замиканні контактів давача отримує живлення котушка **РП**, контакти якої замикаються. Після чого заживлюється котушка **МП**

і вмикається магнітний пускач **МП**, який в свою чергу вмикає електродвигун. Як тільки температура повітря в приміщенні досягне того найнижчого значення, яке вважається допустимим, давач **ДТ** розімкне коло котушки **РП**, після чого контакти її також розімкнуться, знеструмиться котушка **МП** магнітного пускача, і останній відключить електродвигун вентилятора. Приплив зовнішнього повітря припиниться. Основні розрахунками системи вентиляції приведені в попередньому пункті роботи. Основними параметрами вентиляторів вважають їх продуктивність і повний тиск. При визначенні потужності електродвигуна продуктивність вентилятора вибирають з урахуванням втрат або підсосів в повітроводах. Крім того, цю розрахункову кількість повітря збільшують на 10%, коли передбачається застосувати пластмасові, металеві і азбестоцементні трубчасті повітроводи довжиною до 50 м. У всіх інших випадках розрахункову продуктивність вентилятора підвищують на 10%.

Автоматичне і ручне дистанційне керування електрокалориферною системою, а також захист від аварійних режимів і світлова сигналізація передбачені в розробленій електричній схемі, приведеній на рис. 5.3.

Щоб здійснити автоматичне керування калорифером, треба перемикач встановити в верхнє положення (рис. 5.2), після чого напруга заживить котушку **К2** і електродвигун вентилятора включиться. Якщо в цей час контакти давачів температури замкнуті і, отже, температура в приміщенні, що обігрівається, нижче необхідної, то напруга буде підведено до котушки **Р2**. Як тільки замкнуться контакти реле потоку повітря **Р3** котушки **К1** ввімкнеться калорифер, а заслінка буде встановлена електродвигуном приводу на найменшу подачу повітря. Якщо контакти давача **ДТ2** замкнуться, що вказує на те, що температура повітря на виході з калорифера перевищує задану, ввімкнеться електродвигун приводу заслінки і поверне заслінку жалюзі в положення, при якому збільшиться подача повітря. Після того як в приміщенні теплиці температура повітря стане нормальною, коло котушки **К1** під дією контактів давача розімкнеться, і калорифер буде відімкнений від мережі.

При різкому зменшенні потоку повітря реле **Р3** відключає калорифер.

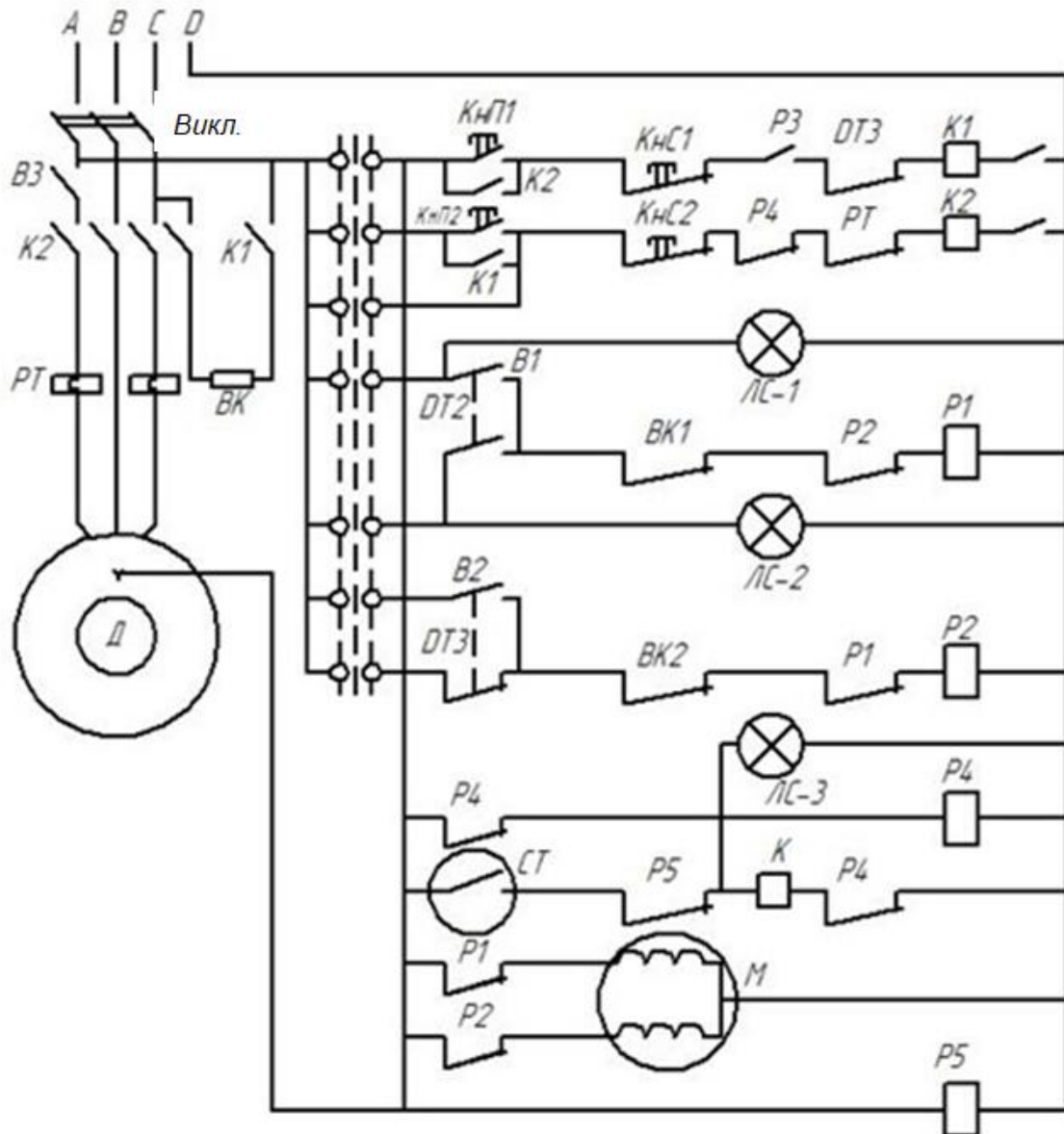


Рисунок 5.3 – Електрична схема управління калориферною системою: КнП1 і КнП2 – кнопки; В1-В3 – тумблери; ВК1 і ВК2 – кінцеві вимикачі; ДТ2 і ДТ3 – давачі температури; СТ – стартер; Р4 – аварійне реле; КнС – кнопка зняття напруги; Р - реле; ЛС – лампа сигнальна

Як тільки відбудеться обрив фази, під напругою не симетрії виявиться реле обриву фаз **Р5**, контакти якого поставлять під напругу стартер **СТ**. Котушка аварійного реле **Р4** буде під повним напругою мережі після того, як закінчиться задана витримка часу. Остання залежить від тривалості розігрівання електродів стартера **СТ** і опору **К**. Котушка аварійного реле відключить від мережі електродвигун вентиляторів і калорифер. Одночасно загориться сигнальна лампа

ЛСЗ. Лише після усунення несправності і зняття напруги з котушки **Р4** за допомогою кнопки **КнС1** можливе повторне включення калорифера.

Ручне управління електрокалорифером здійснюється тоді, коли універсальний перемикач встановлений в нижнє положення (рис. 5.2). Потім кнопками **КнП1** і **КнП2** і тумблерами **В1** і **В2** включають електродвигун вентилятора, калорифер і привід заслінки.

5.3 Розрахунок та вибір системи поливу

Відповідно до «*Норм технологічного проектування теплиць і тепличних комбінатів*» інтенсивність поливу ґрунту в теплиці дощуванням повинна бути не більше 1 л на 1 м² в хвилину.

Необхідно, щоб температура поливальної води дорівнювала 22-25⁰С, витрати води-10 л/м². Тривалість поливу не повинна перевищувати 4 годин на добу [8]. При використанні проточних електричних водонагрівачів їх потужність (кВт) розраховують за формулою:

$$P = \frac{Q}{3600} = \frac{kGc(t_k - t_n)}{\eta\Phi 3600} \quad (5.7)$$

де Q - кількість тепла, потрібного для нагрівання поливальної води, кДж/год;

Φ - час нагрівання, год;

3600 - термічний еквівалент, кДж/(кВт·год);

k - 1,1-1,2 коефіцієнт запасу;

G - маса води, що підлягає нагріванню протягом години, кг;

c - питома теплоємність води, $c = 4,19$ кДж/(кг·°С);

t_k і t_n - температура нагрівання води кінцева і початкова, °С;

η - ККД водонагрівача.

Визначити встановлену потужність проточного електроводонагрівача для нагрівання води від $t_n = 4$ °С до $t_k = 25$ °С для поливу розсади в теплиці площею $F_0 = 1440$ м² при $\eta = 0,98$ за год, рівна 2 години.

Витрата води через проточний водонагрівач при нормі 10 л/м² протягом 1 години буде рівна:

$$G = \frac{\gamma \cdot 10 \cdot 1440}{2} = \frac{1 \cdot 10 \cdot 1440}{2} = 7200 \text{ л.}$$

Кількість тепла, що потрібне для нагрівання протягом години 7200 л води з урахуванням втрат у навколишнє середовище:

$$Q = \frac{1,2 \cdot 7200 \cdot 4,19(25-4)}{0,98 \cdot 1} = 775748,5 \text{ кДж/год.}$$

Встановлена потужність проточного електроводонагрівача:

$$P = \frac{775748,5}{3600} = 215 \text{ кВт.}$$

Цю величину можна розглядати, як сумарну потужність окремих проточних водонагрівачів, встановлених в теплиці.

Проблема реалізації системи поливу в різних сільськогосподарських сферах частково вирішена різними видами систем поливу. Всі ці системи розраховані на обробку великих посадочних площ. Але реалізації систем поливу на малих площах, таких як теплиці, приділяється недостатньо уваги. Найчастіше, це трудомісткий і тривалий процес з великою нераціональною витратою води. Для розгляду даної проблеми ми умовно виділимо два напрямки [2]:

1. Оптимізація витрат водних ресурсів при поливі;
2. Автоматизація самого процесу поливу, для виключення ручної праці і скорочення часу поливу.

Проектуючи системи автоматичного поливу необхідно пам'ятати про те, що часте і рясне зрошення ґрунту може привести до згубних для рослин змін ґрунту. Необхідно проектувати системи поливу, враховуючи цю обставину.

У процесі всебічного вивчення проблеми, ми розглянули системи поливу великих площ, як найбільш поширених і розглянули їх стосовно до поливу на малих площах, зокрема в теплицях.

Полив малих площ може використовувати всі ті ж технології поливу, що і розглянуті нами раніше системи поливу великих площ. В процесі розгляду систем поливу ми з'ясували, що системи крапельного поливу є найбільш перспективним напрямком. На такій системі поливу ми і будемо розробляти нашу систему. До того ж, розробляючи системи крапельного поливу на малих площах, ми

можемо згодом збільшити масштаби системи, і перейти до системи крапельного поливу для великих площ.

Так як ми проектуємо систему крапельного поливу для теплиці, розглянемо можливі варіанти систем крапельного поливу, пропонованих на ринку.

На даний час існує дві різних системи крапельного поливу:

1. Трубопровід зі спеціальними отворами або «крапельниці», являють собою шланг (трубопровід) зі спеціальної гуми, прокладений по рядах з рослинними культурами. В необхідних місцях, зазвичай навпроти стебла рослини, зроблено отвір, через яке поступово витікає вода невеликими крапельками, зволожуючи ґрунт під рослиною.

2. Системи з інжекторами, які являють собою трубки малого діаметру з інжекторами на кінці. Інжектор є мініатюрним розпилювачем з можливістю регулювання кількості води, що подається.

Порівнюючи ці дві системи можна знайти багато нюансів. Результат порівняння наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльна характеристика систем поливу

№	Критерій	Система крапельного поливу типу «крапельниця»	Система крапельного поливу з інжекторами
1	Зручність розгортання системи	Проста прокладка трубопроводу по грядках з рослинами. Простий спосіб проколювання отворів-крапельниць	Трохи більша витрата трубопроводу (шлангу), пов'язаний з обов'язковим відведенням шлангу з інжектором під кожен куш.
2	Зручність переконфігурації системи під нові вимоги	Необхідно перебудувувати систему заново. У разі зміни відстані між рослинами, необхідно заново прокласти трубопровід і проробляти отвори під крапельниці.	Будь-яка зміна конфігурації не представляє складності, так як подовжити трубопровід можна за допомогою перехідників, зробити додаткові відводи можна за допомогою спеціальних трійників.
3	Регулювання об'єму води, що подається, для поливу або припинення подачі води для конкретної рослини	Такої можливості немає.	Інжектори становлять основу з дахівкою, в якій пророблені отвори. Кришка обертається відносно основи, що дає можливість збільшувати або зменшувати (аж до повного зупинення) обсяг рідини, що подається.

Переваги систем краплинного поливу з інжекторами перед системами з «крапельницями» очевидні, тому ми зупинили свій вибір саме на такій системі.

5.4 Розробка автоматизованої системи поливу

Проаналізувавши системи поливу і зупинившись на системі крапельного поливу з інжекторами, ми перейдемо до питання реалізації автоматизації процесу поливу. Розглянемо всі можливі варіанти. Ми не будемо розглядати механічні системи автоматизації, нас цікавлять тільки електронні системи автоматизації поливу.

Існують готові рішення, в основному запропоновані китайськими виробниками [1]. Основна частина подібних рішень представлена на сайті інтернет-агрегатора Aliexpress. Порівняльний аналіз готових систем контролю поливу ми не можемо розглядати без визначення основних вимог до системи поливу.

Основні вимоги до автоматичної системи поливу:

1. Автономна робота без участі людини (крім моменту налаштування);
2. Включення/відключення подачі води за таймером або розкладом;
3. Можливість використання резервних джерел живлення при відсутності основного живлення;
4. Можливість гнучкої зміни конфігурації;
5. Можливість використання зовнішніх датчиків, вологості, температури;
6. Облік зауважень по поливу, викладених раніше про згубні наслідки при тривалому зрошенні.

Таким чином, беручи до уваги все вищевикладене, складемо зведену таблицю 5.2 за характеристиками, що пропонується «заводськими» системами автоматичного поливу.

Таблиця 5.2 – Характеристика заводських систем автополиву

№	Вимога (характеристика)	Автоматичний таймер поливу Ессо	Електронний цифровий контролер поливу	Автоматична система поливу Aqualin
1	Фото			
2	Ввімкнення/вимкнення подачі води за таймером або розкладом	ТАК	ТА	ТАК
3	Можливість використання резервних джерел живлення при відсутності основного живлення	НІ	НІ	НІ
4	Можливість гнучкої зміни конфігурації	НІ	НІ	НІ
5	Можливість підключення зовнішніх датчиків	НІ	Тільки давач дощу	Тільки давач дощу
6	Облік відсотка вологості ґрунту при поливі, для уникнення надмірного поливу	НІ	НІ	НІ

Як видно зі зведеної таблиці, готові рішення нам не підходять, так як вони не відповідають вимогам зондування вологості ґрунту перед поливом, що може призвести до надмірного зволоження ґрунту. Можливі проблеми, пов'язані з надмірним зрошенням ґрунту розглянуті раніше.

На підставі усього вищевикладеного очевидно, що необхідно проектувати свою власну систему поливу, що відповідає всім основним вимогам до автоматичної системи поливу, які викладені вище.

Алгоритм роботи системи поливу повинен враховувати:

1. Час між поливами;
2. Вологість ґрунту;
3. Вологість в приміщенні (при роботі в умовах теплиці);
4. Система поливу повинна, при можливості, надавати додаткові функції, наприклад, включення витяжного вентилятора в теплиці при підвищеній вологості в теплиці або перевищенні температури всередині теплиці.

Таким чином, ми можемо скласти словесну модель роботи нашої системи поливу:

1. Перевіряти часові проміжки (включати подачу води на n хвилин кожні m хвилин);
2. Перевіряти вологість ґрунту і при перевищенні допустимого рівня, відключати подачу води;
3. Контролювати вологість всередині теплиці і включати витяжний вентилятор при перевищенні допустимого рівня;
4. Контролювати температури всередині теплиці і включати витяжний вентилятор при перевищенні допустимого рівня.

На основі словесної моделі розробляємо блок-схему логіки роботи системи поливу (рис. 5.4).

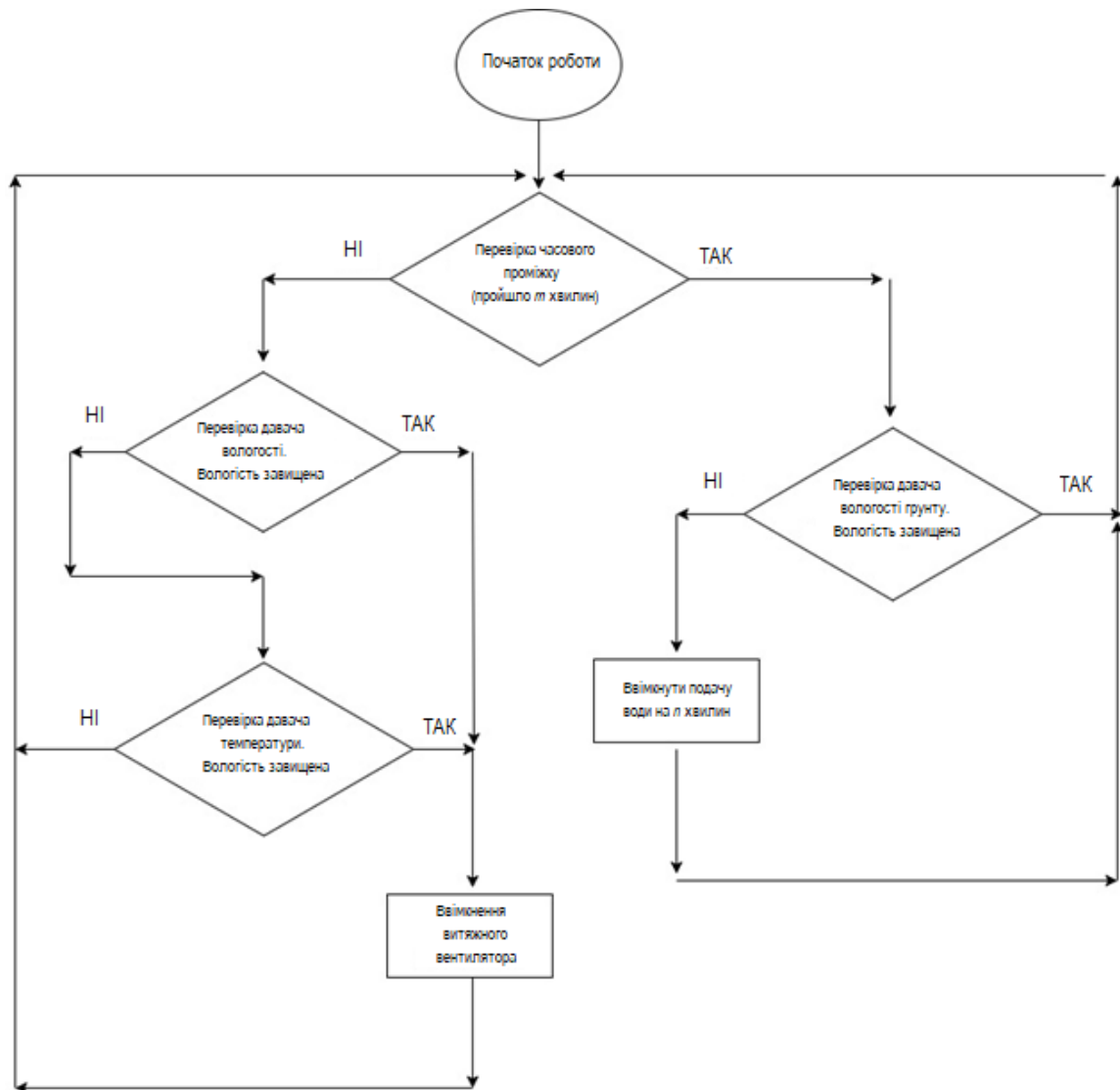


Рисунок 5.4 - Блок-схема логіки роботи системи поливу

Дану схему роботи може реалізувати будь-який програмований пристрій. Серед програмованих пристроїв ми можемо виділити два типи:

1. Персональний комп'ютер і
2. Програмовані контролери (*Arduino* і т.п.).

Порівнюючи ці платформи з точки зору зручності налаштування і використання можна прийти до висновку, що найбільш перспективна платформа *Arduino*, яку ми і будемо використовувати в своїй розробці (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Порівняльна таблиця платформ

№	Характеристика	PC (персональний комп'ютер)	Arduino
1	Обов'язкова наявність додаткового ПЗ	ТАК. Для роботи необхідна наявність операційної системи	НІ. Робота автономна.
2	Зручність і простота написання програмного забезпечення для роботи поливу	В наявності велика кількість засобів розробки, деколи складного. Потрібні спеціальні знання.	Проста середовища розробки. Доступна до розуміння непідготовленим людям.
3	Простота підключення різних датчиків і виконавчих пристроїв.	Необхідні датчики зі спеціальними інтерфейсами COM або USB. Складність в узгодженні роботи вхідних інтерфейсів з інтерфейсами датчиків.	Велика кількість датчиків. Просте підключення датчиків. Робота датчиків стандартизована, аналоговий інтерфейс або цифровий.
4	Масштабованість	Копіювання програми поливу з одного пристрою на інший, з огляду на можливі відмінності в конфігурації конкретного пристрою.	Просте копіювання скетчу (виконавчої програми) на інший пристрій. Відмінності конфігурації не критичні.
5	Розмір	Системний блок, монітор, клавіатура і миша. Все це займає досить багато місця.	Маленькі плати. Не вимагають обов'язкового підключення монітора і пристроїв вводу.
6	Ціна	6 000 – 12 000 грн.	Біля 1 000 грн., разом з датчиками.

В якості апаратної платформи ми зупинилися на *Arduino Nano* (рис. 5.5), основні характеристики якої приведені в табл. 5.4 [14].

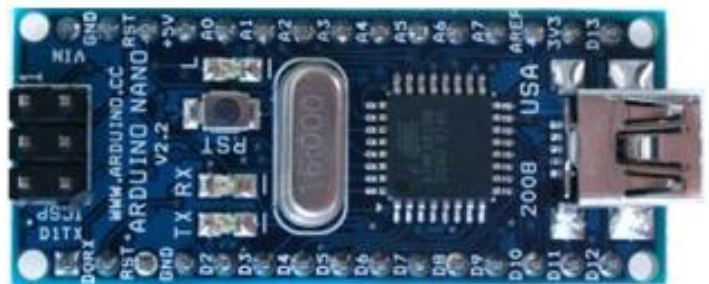


Рисунок 5.5 – Програмований контролер *Arduino Nano*

Таблиця 5.4 – Основні характеристики Arduino Nano

Мікроконтролер	Atmel ATmega168 або ATmega328
Робоча напруга (логічний рівень)	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7-12 В
Вхідна напруга (гранична)	6-20 В
Цифрові Входи/Виходи	14 (6 із яких можуть використовуватися як виходи ШІМ)
Аналогові входи	8
Постійний струм через вхід/вихід	40 мА
Флеш-пам'ять	16 Кб (ATmega168) або 32 Кб (ATmega328), при цьому 2 Кб використовуються для завантажувача
ОЗУ	1 Кб (ATmega168) або 2 Кб (ATmega328)
EEPROM	512 байт (ATmega168) або 1 Кб (ATmega328)
Тактова частота	16 МГц
Розміри	1.85 см x 4.2 см

Даних характеристик, зокрема кількості ОЗП і Flash-пам'яті нам достатньо для написання програми управління поливом.

Виберемо давачі. Нам будуть потрібні:

1. Давач вологості ґрунту;
2. Давач температури;
3. Давач вологості навколишнього повітря;
4. Реле, для включення вентилятора і подачі води;
5. РК дисплей, для відображення поточних параметрів;
6. Блок живлення.

Давачі вологості навколишнього повітря і температури конструктивно представляють собою єдиний пристрій.

Джерело живлення: імпульсний блок живлення на 24 вольт і стабілізатор на базі LM317, який понижує напругу до 5 вольт, для живлення цифрової частини автополиву. Від цього ж джерела живлення живиться виконавча частина пристрою (електромагнітний клапан) через стабілізатор, який видає 12 вольт.

На рис. 5.6 зображено логічну схему розробленої автоматизованої системи поливу води в теплиці, а на рис. 5.7 - схему підключення датчиків до плати.

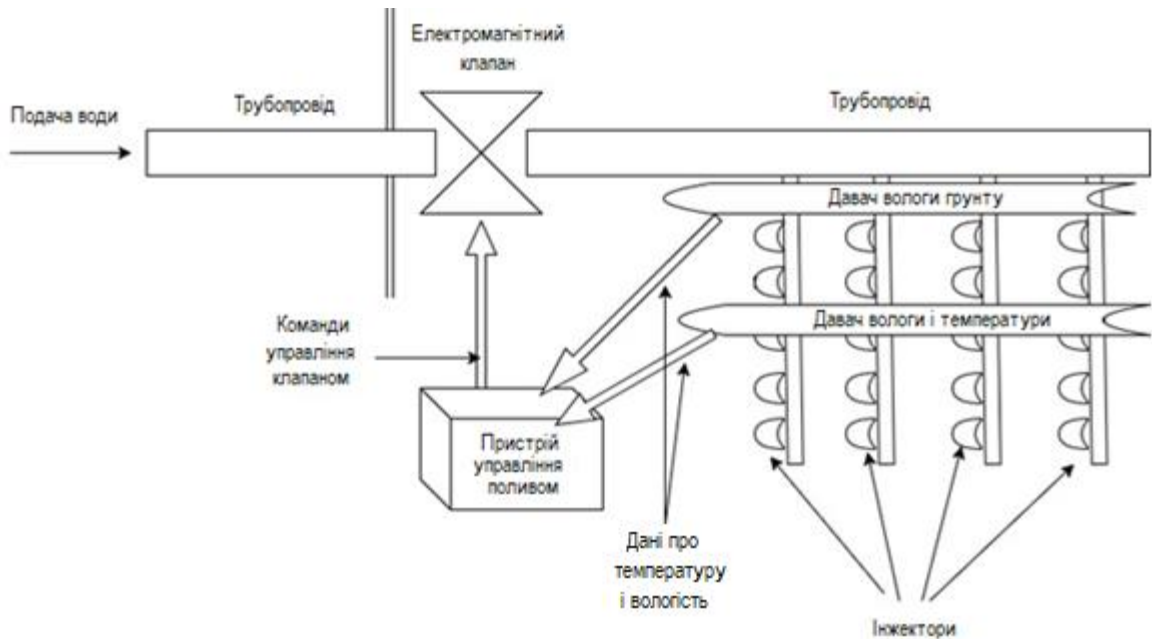


Рисунок 5.6 – Логічна схема автоматизованої системи автополиву

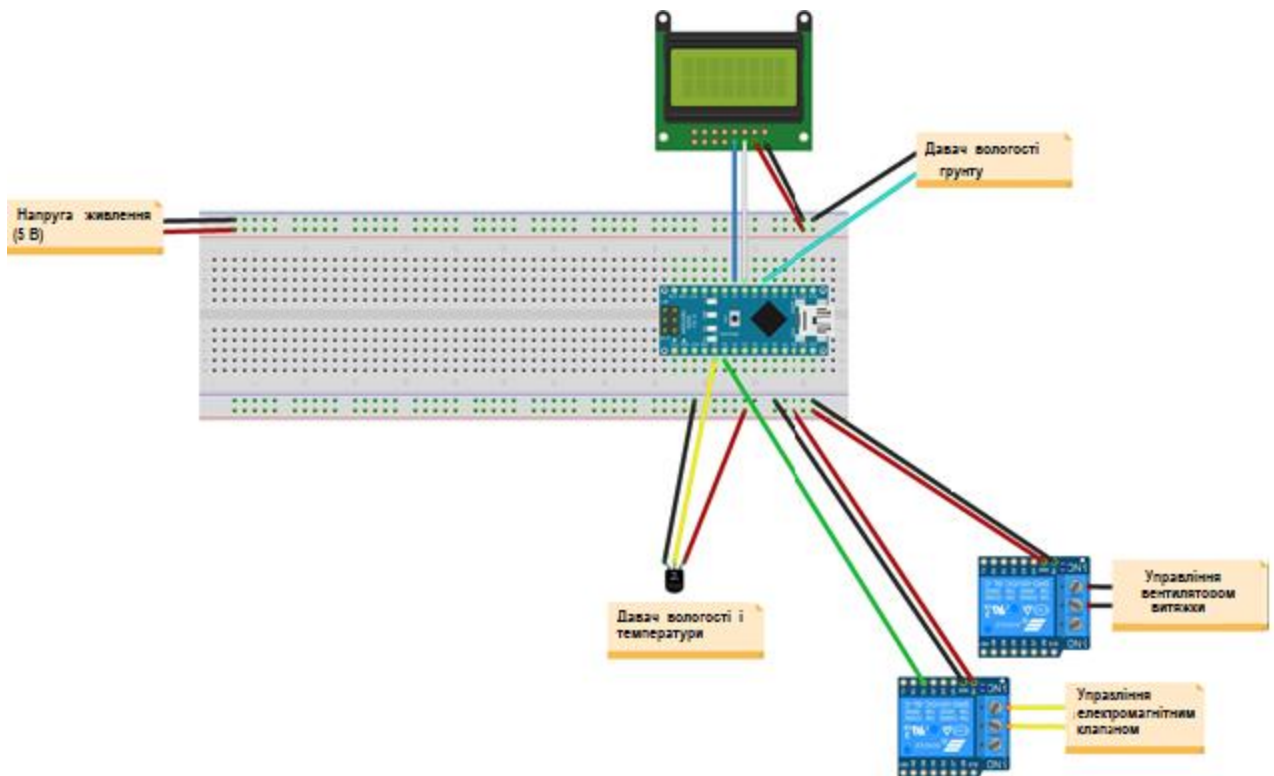


Рисунок 5.7 – Схема підключення датчиків до плати Arduino

Для відображення оперативної інформації за показами датчиків можна використати рідкокристалічний дисплей (РК) LCD 1602, який може виводити 2 рядки по 16 символів в кожному. У пристрої автополиву він буде функціонально використаний для оперативного відображення поточних параметрів роботи. Розташовується в загальному корпусі з логічною частиною пристрою. На дисплей постійно виводяться поточні покази, що може служити для швидкого доступу до поточного стану і визначення параметрів роботи всієї системи. Для отримання детальної інформації ми будемо використовувати програму для персонального комп'ютера, яка буде її виводити на монітор. Підключення до пристрою програма буде здійснювати по інтерфейсу USB.

Інформація, яка буде відображатися на РК дисплеї:

1. Поточне значення вологості ґрунту;
2. Поточна температура повітря;
3. Поточна вологість повітря;
4. Поточний стан реле поливу;
5. Поточний стан реле вентиляції;
6. Поточний стан реле освітлення;
7. Поточний стан реле підігріву;
8. Таймер поливу.

Лістинг (скетч) програми автополиву приведено в Додатку А.

5.5 Розробка програми для персонального комп'ютера

Основна ідея програми для персонального комп'ютера полягає в більш детальному, в порівнянні з ЖК дисплеєм, відображенню інформації за параметрами і режимами роботи системи автополиву [12, 13].

Середовищем розробки обрано програмне середовище C++. Такий вибір був зроблений на користь простоти і швидкості розробки.

Зовнішній вигляд вікна програми приведено на рис. 5.8.



Рисунок 5.8 – Вікно програми керування автополивом в теплиці

Опис основних елементів контролю і управління:

1. Вологість ґрунту - покази давача вологості ґрунту, представлені у вигляді діаграми і числового значення;
2. Вологість повітря - покази давача вологості повітря, представлені у вигляді діаграми і числового значення;
3. Температура повітря - покази давача температури повітря, представлені у вигляді діаграми і числового значення;
4. Період поливу - контрольний сигнал, вказує на режим роботи пристрою - *полив/простий*;
5. Період поливу - таймер, який вказує на час до перемикання режиму;
6. Реле поливу - контрольний сигнал, вказує на режим роботи реле поливу - *ввімкнено/вимкнено*;
7. Реле вентиляції - контрольний сигнал, вказує на режим роботи реле вентиляції - *ввімкнено/вимкнено*;
8. Екстрений полив - контрольний сигнал, вказує спрацьовування системи захисту рослин, що включає екстрений полив при досягненні екстремальних

показників датчика вологості ґрунту. Вологість ґрунту менше 16% - *ввімкнено/вимкнено*;

9. Реле освітлення - контрольний сигнал, вказує на режим роботи реле освітлення - *ввімкнено/вимкнено*;

10. Реле підігріву - контрольний сигнал, вказує на режим роботи реле підігріву - *ввімкнено/вимкнено*;

11. Підключення - контрольний сигнал, який вказує, що Програма підключена до пристрою автополива;

12. Контроль порту - група сигналів, що показують режим роботи порту підключення до системи автополиву;

13. Налаштування - кнопка, що викликає діалогове вікно настройки порту підключення до пристрою автополиву;

14. Підключити (Відключити) - кнопка *ввімкнення/вимкнення* до пристрою автополиву. Логіка роботи кнопки: якщо параметри порту коректні, відбувається підключення до пристрою автополиву, назва кнопки змінюється на *Відключити*;

15. Завантажити - завантажити налаштування порту з файлу конфігурації. Налаштування також завантажуються автоматично при завантаженні програми;

16. Зберегти - зберегти поточні параметри налаштувань програми в файл конфігурації;

17. Вихід - закрити програму;

18. Моніторинг *Вологість ґрунту* - графік зміни вологості ґрунту в часі. Оновлюється кожні 0,5 секунди. Додатково на цьому графіку відображається час фактичного *ввімкнення/вимкнення* реле поливу (жовта лінія):

19. Моніторинг *Вологість повітря* - графік зміни вологості повітря в часі. Оновлюється кожні 0,5 секунди;

20. Моніторинг *Температура повітря* - графік зміни температури повітря в часі. Оновлюється кожні 0,5 секунди.

Графіки роботи датчиків в нижній частині програми виводять два показники - графік вологості ґрунту (біла лінія) і графік роботи реле поливу (жовта лінія), графік вологості в приміщенні (біла лінія) і графік освітленості приміщення (жовта лінія).

Лістинг вихідних кодів програми (функціональний фрагмент) приведено в Додатку Б.

Розроблена система має перспектива розвитку, яка може полягати в наступному:

1. Використання більш потужної платформи Arduino UNO замість Arduino NANO, що дасть приріст обчислювальної потужності і нарощування функціонала контролю і управління;

2. Використання потужнішого датчика якості датчика *Вологості/Температури* для отримання більш точних показників вологості і температури;

3. Додавання модуля *Wi-Fi* і написання програми контролю для ОС *Android* дасть можливість контролю на відстані і одночасного контролю більше однієї системи автополиву. Оператор контролю може за допомогою планшетного комп'ютера знімати необхідні параметри, проходячи по кожній теплиці без безпосереднього підключення проводом до системи автополиву;

4. Додавання модуля *Ethernet* для зв'язку систем поливу з пристроєм управління за допомогою локальної обчислювальної мережі. Це дасть можливість одночасного контролю великої кількості систем поливу за допомогою одного комп'ютера.

Варто відмітити, що вибір *Arduino* в якості платформи автополиву дає можливість, як нарощувати функціонал системи поливу, так і можливість гнучкої зміни її конфігурації. Безсумнівно, запропонований в дипломній роботі підхід дає можливість для багаторазового повторення конструкції, створюючи стільки систем автополиву, скільки це необхідно для забезпечення всіх теплиць подібним пристроєм.

6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Економічне обґрунтування проекту

Економічну ефективність характеризують такі показники:

- зниження витрат на традиційні теплоносії;
- підвищення продуктивності праці;
- використання корисної площі покриття теплиці на геліокотел;
- час окупності капіталовкладень;
- річний економічний ефект.

Основні капіталовкладення теплиці складаються з капіталовкладень на спорудження, будови та обладнання:

$$K = C_{\sigma} + B, \quad (6.1)$$

де C_{σ} - вартість спорудження і споруд, грн.;

B – балансова вартість устаткування, грн.

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

$$C_{\sigma} = V_{\sigma} \cdot K_v, \quad (6.2)$$

де V_{σ} – об'єм приміщення базової теплиці, $V_{\sigma} = 2160 \text{ м}^3$;

V_c - об'єм існуючої теплиці, $V_c = 2160 \text{ м}^3$;

K_v - вартість 1 м^3 приміщення теплиці, $K_v = 50$ грн.

Для проектованої теплиці:

$$C_{np.} = 2160 \cdot 50 = 108\,000 \text{ грн.}$$

Для існуючої теплиці:

$$C_{исн.} = 2160 \cdot 50 = 108\,000 \text{ грн.}$$

Балансову вартість геліокотла визначаємо за формулою:

$$B = K \cdot Ц, \quad (6.3)$$

де K - коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування і монтаж обладнання, $K= 1,2$;

$Ц$ - преіскурантна ціна геліокотла, грн.

$$B = 1,2 \cdot 55480 = 66576 \text{ грн.}$$

Ціни на комплектуючі геліокотла вносимо в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Ціни на комплектуючі геліокотла

Найменування	Одиниця виміру	Ціна, грн.
ДСП 2x1,5x0,02	м	8400
Дерев'яний брус 10x10	м	21760
Труба алюмінієва d10	м	720
Скло	м ²	15360
Прокат алюмінієвий 2x1,5	м ²	7200
Електроventильатор ПВУ	шт.	420
Втулка d15	шт.	1620
Разом		55480

Капіталовкладення для проектованої теплиці:

$$K_n = C_{np.} + B. \quad (6.4)$$

$$K_n = 108000 + 66576 = 174576 \text{ грн..}$$

6.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати складаються з оплати праці, амортизаційних відрахувань, відрахувань на поточний ремонт, витрат на електроенергію та ін.

Річна програма теплиці розраховується за формулою:

$$P_k = T \cdot Q \cdot t, \quad (6.5)$$

де T - число днів роботи теплиці в році, $T = 240$ днів;

Q - продуктивність теплиці, $Q_{icn.} = 4$ т/міс; $Q_{np} = 4,5$ т/міс;

t - час роботи теплиці в день, $t_{icn.} = 7$ год.; $t_{np} = 7$ год.

Для існуючої теплиці річна програма складає:

$$P_{icn.} = 240 \cdot 4 \cdot 7 = 6720 \text{ т.}$$

Для проектованої теплиці річна програма складає:

$$P_{np.} = 240 \cdot 4,5 \cdot 7 = 7560 \text{ т.}$$

6.3 Розрахунок заробітної плати і амортизаційних відрахувань

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

$$Z_{on} = [(T \cdot 3,2 \cdot m_1 \cdot t_1) + (T \cdot 2,8 \cdot m_2 \cdot t_2)] \cdot 1,9 \quad (6.6)$$

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; в існуючій - 4 людини за рахунок переважання ручної праці

1,9 - коефіцієнт, що враховує нарахування.

Фонд оплати праці в існуючій теплиці:

$$Z_{on.icn.} = [(240 \cdot 3,2 \cdot 2 \cdot 8) + (240 \cdot 2,8 \cdot 2 \cdot 8)] \cdot 1,9 = 43776 \text{ грн.}$$

Фонд оплати праці в проектованій теплиці;

$$Z_{on.np.} = [(240 \cdot 3,2 \cdot 2 \cdot 8) + (240 \cdot 2,8 \cdot 1 \cdot 8)] \cdot 1,9 = 33561 \text{ грн.}$$

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

$$A = \frac{B \cdot K_a}{100}, \quad (6.7)$$

де B - балансова вартість основних фондів, грн.;

K_a - коефіцієнт щорічних амортизаційних відрахувань, %.

Відрахування на амортизацію споруд:

- для існуючої теплиці:

$$Z_{ам.існ.} = \frac{113817 \cdot 3,1}{100} = 3528 \text{ грн.}$$

- для проектованої теплиці:

$$Z_{ам.пр.} = 3348 \text{ грн.}$$

Відрахування на амортизацію обладнання:

-для проектованої теплиці:

$$Z_{ам.пр.} = \frac{66576 \cdot 12}{100} = 7989 \text{ грн.}$$

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

- для існуючої теплиці:

$$Z_{п.існ.} = \frac{113817 \cdot 3}{100} = 3414 \text{ грн.}$$

- для проектованої теплиці:

$$Z_{п.пр.} = \frac{108000 \cdot 3}{100} = 3240 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію розраховуються за формулою:

$$Z_e = 240 \cdot N \cdot 7,1 \quad (6.8)$$

де N - добові витрати на електроенергію, кВт·год;

7,1 - ціна електроенергії, грн/кВт·год;

240 - кількість днів роботи теплиці.

$$Z_{e.np} = 240 \cdot 188,5 \cdot 7,1 = 321204 \text{ грн.}$$

$$Z_{e.існ.} = 240 \cdot 193 \cdot 7,1 = 328872 \text{ грн.}$$

Загальна сума експлуатаційних витрат складе:

$$Z_{екс} = Z_{оп} + Z_{ам.с} + Z_{т.р.} + Z_e, \quad (6.9)$$

$$Z_{екс. існ.} = 43773 + 3528 + 3414 + 321204 = 371919 \text{ грн.}$$

$$Z_{екс. np.} = 33561 + 3348 + 3240 + 328872 = 369021 \text{ грн.}$$

6.4 Розрахунок експлуатаційних витрат та економічного ефекту

Експлуатаційні витрати на вирощування розсади в теплиці визначають за формулою:

$$C_k = \frac{Z_e}{P_k}, \quad (6.10)$$

де P_k - річна програма продуктивності теплиці, грн.

Експлуатаційні витрати на продуктивність теплиці складуть:

- в існуючій теплиці:

$$C_{n.існ.} = \frac{371919}{6720} = 55,3 \text{ грн./т.}$$

- в проектованій теплиці:

$$C_{n.np.} = \frac{369021}{7560} = 48,8 \text{ грн./т.}$$

Річна економія експлуатаційних витрат:

$$E = (C_{n.існ.} - C_{n.пр.}) \cdot P_{кп} \quad (6.11)$$

$$E = (55,3 - 48,8) \cdot 7560 = 49140 \text{ грн.}$$

Витрати праці на приготування 1 т розсади можна визначити за формулою:

$$Z_m = \frac{q_m}{a_m}, \quad (6.12)$$

де q_m - добові витрати праці в теплиці, *люд·год*;

a_m - добова продуктивність теплиці .

Добові витрати праці:

- в існуючій теплиці: $q_{m \text{ існ.}} = 4 \cdot 8 = 32 \text{ люд·год}$;

- в проектованій теплиці: $q_{m \text{ пр.}} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ люд·год}$.

Витрати праці на виробництво:

- в існуючій теплиці:

$$Z_{m \text{ існ.}} = \frac{32}{48} = 0,67 \text{ люд·год / т};$$

- в проектованій теплиці:

$$Z_{m \text{ пр.}} = \frac{24}{55,2} = 0,43 \text{ люд·год / т.}$$

Таким чином, економія праці на приготування 1 т розсади складе:

$$m = Z_{m \text{ існ.}} - Z_{m \text{ пр.}} \quad (6.13)$$

$$m = 0,67 - 0,43 = 0,24 \text{ люд·год / т.}$$

Отже, економія праці в проектованій теплиці в порівнянні з існуючою становитиме:

$$E = m \cdot P_{к.пр} \quad (6.14)$$

$$E = 0,24 \cdot 7560 = 1814,4 \text{ люд·год.}$$

Капіталовкладення на отримання 1 т розсади складе:

$$K_{к.в.} = \frac{K}{P_{к}}, \quad (6.15)$$

- для існуючої теплиці:

$$K_{к.в.існ.} = \frac{224124}{6720} = 33,4 \text{ грн/т};$$

- для проектованої теплиці:

$$K_{к.в.пр.} = \frac{215368}{7560} = 28,5 \text{ грн/т.}$$

Річні приведені витрати розраховуються за формулою:

$$П_{пр} = З_9 + K \cdot E_n \quad (6.16)$$

Для існуючої теплиці:

$$П_{пр.існ.} = 371919 + 224124 \cdot 0,2 = 416743,8 \text{ грн.}$$

Для проектованої теплиці:

$$П_{пр.пр.} = 369021 + 215368 \cdot 0,2 = 412094,6 \text{ грн.}$$

Приведені витрати на вирощування 1 т розсади для:

- існуючої теплиці:

$$П_{існ.} = \frac{416743,8}{6720} = 62 \text{ грн.}$$

- для проектованої теплиці:

$$П_{пр.} = \frac{412094,6}{7560} = 54,5 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$E_{річ} = [(C_{к існ} + K_{кв існ} \cdot 0,2) - (C_{к пр.} + K_{кв пр.} \cdot 0,2)] \cdot P_{к пр.}, \quad (6.17)$$

$$E_{річ.} = [(55,3 + 33,4 \cdot 0,2) - (48,8 + 28,5 \cdot 0,2)] \cdot 7560 = 56548,8 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних вкладень складе:

$$T_0 = \frac{K}{E_{річ}} \quad (6.18)$$

$$T_0 = \frac{174576}{56548,8} = 3,08 \text{ року}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 - Економічна ефективність проекту

Показники	Варіанти теплиць	
	<i>Існуючий</i>	<i>Проектований</i>
Річна програма	6720	7560
Капіталовкладення:		
- основні	224124	215368
- питомі	33,4	28,5
Витрати виробництва на 1 т розсади:		
- праці, люд.-год;	0,67	0,43
- експлуатаційні, грн.	55,3	48,8
- наведені, грн.	62	54,5
Економія:		
-Праці, люд.-год;	-	1814,4
-експлуатаційні витрат, грн.	-	49140
Термін окупності капітальних вкладень, років.	-	3,1

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Стан охорони праці на об'єкті проектування та заходи щодо попередження травматизму

Аналіз стану охорони праці представлений в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 - Динаміка виробничого травматизму і захворювань

№ п/п	Показник	Роки		
		2017	2018	2019
1	Середня чисельність робочих	276	215	135
2	Число травм за рік	1	1	1
3	Число втрат робочих днів по травматизму за рік	72	35	21
4	Число захворювань робітників за рік	12	15	16
5	Число втрат робочих днів по хвороб за рік	187	219	231
6	Коефіцієнт частоти травматизму на 100 чол.	3,62	4,65	7,41
7	Коефіцієнт тяжкості травматизму	72	35	21
8	Коефіцієнт втрат робочого часу по травматизму на 100 чол.	260,87	162,6	155,55

Визначимо коефіцієнт частоти травматизму на 100 працівників [30]:

$$K_q = n_I / n_p \cdot 100 \quad (7.1)$$

де n_I - число травм за рік;

n_p - середньооблікова чисельність робітників.

Проведемо розрахунок за 2017 рік, а результати розрахунків за іншими роками зведемо в табл. 7.1.

$$K_q = 1/276 \cdot 100 = 0,36.$$

Визначимо коефіцієнт тяжкості травматизму, який характеризує середню тривалість тимчасової непрацездатності травмованих [30]:

$$K_m = D_n / n_1, \quad (7.2)$$

де D_n - число втрат робочих днів за рік.

$$K_m = 72 / 1 = 72.$$

Визначимо коефіцієнт втрат робочого часу на 100 осіб:

$$K_n = D_n / n_p \cdot 100 \quad (7.3)$$

$$K_n = 72 / 276 \cdot 100 = 2,60$$

На підприємстві у 2017 р. відбулося один нещасний випадок. При ремонті трактора в результаті обриву гака випав двигун, слюсар отримав травму.

Діагноз - переломи пальців правої руки.

Число втрат робочих днів - 72.

Причина події - використання строп після закінчення терміну дії планової перевірки.

У 2018 р. в підприємстві стався один нещасний випадок. При навантаженні ремонтного матеріалу робочий знаходився в безпосередній близькості від автонавантажувача і в результаті падіння вантажу отримав травму.

Діагноз - забій гомілковостопного суглоба.

Число втрат робочих днів - 35.

Причина події - недотримання вимог техніки безпеки.

У 2019 р. в підприємстві стався один нещасний випадок.

У теплиці, нехтуючи вимогами техніки безпеки, робочий знаходився близько електроприводу кватирок, де було відсутнє заземлення. В результаті він отримав травму від ураження електричним струмом.

Діагноз - ураження електричним струмом.

Число втрат робочих днів - 21.

Причина події - недотримання вимог техніки безпеки.

Проаналізувавши описані вище події, пропоную наступні заходи щодо попередження травматизму:

1. До роботи допускати осіб, які пройшли інструктаж з техніки безпеки при виконанні конкретних робіт та вивчили будову і правила експлуатації різних механізмів і пристосувань.
2. Не допускати до експлуатації механізми і пристосування, технічний стан яких не відповідає технічним умовам.
3. Систематично проводити навчання працівників прийомів безпечного виконання робіт, правилам техніки безпеки з проведенням атестаційних іспитів.

7.2 Розрахунок контурного заземлення теплиці

Опір розтікання струму через одиночний заземлювач з труб діаметром 25 ... 50 мм визначаємо за формулою:

$$R_{mp} = 0,9 \cdot (p / l_{mp}), \quad (7.4)$$

де p - питомий опір ґрунту, який вибирають в залежності від його типу, Ом·см (для піску воно дорівнює 40 000 ... 70 000, для суглинку - 4000 ... 15 000, для глини 800 ... 7000, для чорнозему - 900 ... 5300). Так як ґрунт має структуру чорнозему, приймаємо середнє значення 3000 Ом·см;

l_{mp} - довжина труби, м.

$$R_{mp} = 0,9 \cdot \left(\frac{900}{3}\right) = 270 \text{ Ом.}$$

Дальше визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n = R_{mp} / r, \quad (7.5)$$

де r - допустимий опір заземлюючого пристрою, Ом.

$$n = 270 / 4 = 68 \text{ шт.}$$

Відповідно до *Правил улаштування електроустановок* (ПУЕ) на електричних установках напругою до 1000 В допустимий опір заземлюючого пристрою повинен бути не більше 4 Ом.

Розмістивши вертикальні заземлювачі на плані і визначивши відстань між ними, визначаємо коефіцієнт екранування заземлювачів (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 - Коефіцієнти екранування заземлювачів η_{mp}

Число труб (кутників)	Відношення відстані між трубами	η_{mp}	Відношення відстані між трубами	η_{mp}	Відношення відстані між трубами	η_{mp}
4	1	0,66...0,72	2	0,76...0,8	3	0,84...0,86
6	1	0,58...0,65	2	0,71...0,75	3	0,78...0,82
10	1	0,52...0,58	2	0,66...0,71	3	0,74...0,78
20	1	0,44...0,5	2	0,61...0,66	3	0,68...0,73
40	1	0,38...0,44	2	0,55...0,61	3	0,64...0,69
60	1	0,36...0,42	2	0,52...0,58	3	0,62...0,67

Число вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування визначаємо за формулою:

$$n_1 = n / \eta_{mp} \quad (7.6)$$

$$n_1 = 68 / 0,36 = 188 \text{ шт.}$$

Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$l_n = n \cdot a, \quad (7.7)$$

де, a — відстань між заземлювачами:

$$a = \frac{2(a+b)}{n} = \frac{2(60+24)}{68} = 2,5 \text{ м.}$$

$$l_n = 188 \cdot 2,5 = 470 \text{ м.}$$

Після цього слід уточнити значення $\eta_{тр}$. Якщо, $a / l_{mp} = 2,5 / 3 = 0,83$, що є менше 3, то приймаємо $\eta_{mp} = 1$.

Тепер перерахуємо кількість вертикальних електродів і периметр заземлюючої смуги.

$$n_l = 68 / 1 = 68 \text{ шт.}$$

$$l_n = 68 \cdot 2,5 = 170 \text{ м.}$$

Так як розрахункова довжина з'єднувальної смуги незначно більша за периметр теплиці, то довжину з'єднувальної смуги необхідно прийняти рівною периметру теплиці плюс 12 ... 16 м:

$$a_n = l_n + 12. \quad (7.8)$$

$$a_n = 170 + 12 = 182 \text{ м.}$$

Визначаємо опір розтіканню електричного струму через з'єднувальну смугу:

$$R_n = 2,1 \cdot (p / l_n), \quad (7.9)$$

$$R_n = 2,1 \cdot \left(\frac{900}{182} \right) = 10,38 \text{ Ом.}$$

Визначаємо результуючий опір розтіканню струму всього заземлювального пристрою:

$$R_3 = \frac{R_{mp} R_n}{\eta_n R_{mp} + \eta_{mp} R_n n_1}, \quad (7.10)$$

де η_n - коефіцієнт екранування сполучної смуги, $\eta_n = 0,7$ (табл. 7.2).

$$R_3 = \frac{270 \cdot 10,38}{0,7 \cdot 270 + 1 \cdot 10,38 \cdot 68} = 3,1 \text{ Ом.}$$

Отриманий результуючий опір розтіканню струму всього заземлювального пристрою порівнюємо з допустимим.

На плані теплиці розміщуємо вертикальні заземлювачі і з'єднувальну смугу.

Коефіцієнти екранування з'єднувальної смуги заносимо в табл. 7.3.

Таблиця 7.3 - Коефіцієнти екранування з'єднувальної смуги

Відношення відстані між заземлювачами до їх довжини	Число труб					
	4	8	10	20	30	40
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,70	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37

7.3 Безпека життєдіяльності при електрифікації сільськогосподарських об'єктів

Електрифікація стала міцною базою переведення сільського господарства країни на індустріальну основу з використанням високопродуктивної техніки і засобів автоматизації.

Електрична енергія в сільськогосподарському виробництві застосовується повсюдно. Основна її частина перетворюється в механічну енергію в електроприводах стаціонарних і пересувних сільськогосподарських машин та знарядь. Вона у великих кількостях використовується для обігріву парників, підлог в тваринницьких приміщеннях, підігріву повітря в опалювально-вентиляційних установках і т. д.

Переваги електрики перед іншими видами енергії незаперечні. Але вона невидима, не має ні запаху, ні кольору, беззвучна і тому дуже небезпечна, особливо якщо не знати основних правил електробезпеки або, знаючи, порушувати їх. Безграмотність, недбалість і неуважність в поводженні з електроенергією, як на виробництві, так і в побуті, можуть призвести до нещасних

випадків. Ось чому зараз, коли електрика знаходить повсюдне застосування в сільській місцевості, проблема навчання людей, які там проживають, правилам електробезпеки стає особливо актуальною.

Численні випадки травматизму, пов'язані з електричним струмом, бувають викликані різними причинами. Основні з них такі:

- порушення правил електробезпеки в охоронній зоні лінії електропередачі (ЛЕП);
- дотик до провідників, які опинилися під напругою;
- порушення правил електробезпеки при усуненні несправностей на підстанціях і в розподільних щитах, при експлуатації пересувних машин на токах і обладнання на тваринницьких фермах;
- експлуатація несправних зварювальних трансформаторів;
- відсутність заземлення (занулення) електроустаткування;
- порушення технології монтажу і демонтажу електроустановок;
- заміна електроламп під напругою;
- використання несправного інструменту і т. д.

Основні правила електробезпеки повинні знати, перш за все, електромонтери, механізатори, різноробочі - люди, що найчастіше мають справу з електричним струмом, а також представники інших професій, які пов'язані з ним безпосередньо або побічно.

Теплиці з електричним обігрівом

Згідно ПТЕ і ПТБ парники і теплиці з електричним обігрівом за ступенем небезпеки ураження струмом діляться на дві категорії:

1) *категорія А* - напруга живлення електронагрівальних елементів вище 65 В при обігріві за допомогою електродів, закладених в землю, або неізолюваних опорів, прокладених в землі або по повітрю;

2) *категорія Б* - напруга живлення нагрівальних елементів не більше 65 В при обігріві за допомогою електродів, прокладених в землі або по повітрю, а також при нарузі вище 65 В, але з прокладкою нагрівальних елементів в азбоцементних трубах або при застосуванні спеціальних нагрівальних кабелів.

У сільському господарстві культиваційні споруди обігрівають за допомогою сталевого неізолюваною дроту, прокладеного в трубах або ґрунті, спеціальними нагрівальними проводами ПОСХВ і електрокалорифера. Ділянки під парниками і теплицями категорії А обносять парканом висотою 2 м, віддаленим на відстані не менше 1 м від найближчих споруд. Обслуговувати електрифіковані парники і теплиці доручають спеціально підготовленого персоналу - електромонтерами, які мають кваліфікаційну групу по техніці безпеки не нижче ІІІ. Вони несуть відповідальність за нормальну експлуатацію електроустановок і безпеку роботи в парниках і теплицях.

Перед включенням парників і теплиць категорії А електромонтер зобов'язаний переконатися, що на ділянці немає людей, закрити вхід на територію і вивісити плакати *«Під напругою! Небезпечно для життя»*, *«Вхід на територію заборонено»*. Працювати в парниках і теплицях категорії А можна тільки при повному знятті напруги. Електричне освітлення може залишатися включеним.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом парники і теплиці категорії Б менш небезпечні, ніж категорії А, однак при їх обслуговуванні також необхідно суворо дотримуватися правил техніки безпеки. Перш ніж включити їх на електрообігрів, електромонтер зобов'язаний сповістити всіх працюючих в них про це і вивісити попереджувальний плакат *«Під напругою! Небезпечно для життя»*.

Пристрої для автоматичного регулювання температури і вологості всередині споруд виконують на нарузі не вище 36 В. Рукоятки регуляторів для установки і зміни режимів, як правило, виготовляють з ізолюючих матеріалів. Змінювати режими автоматичного регулювання температури і вологості в теплицях і парниках можуть ті, хто їх обслуговують, але за умови, що вони пройшли

інструктаж з електробезпеки під керівництвом електромонтера на робочому місці. Про проведення інструктажу записують в спеціальному журналі з обов'язковим розписом інструктували та особи, яка інструктує.

У електрифікованому парниково-тепличному господарстві повинні бути електрична схема всієї ділянки закритого ґрунту, інструкції по експлуатації та безпечного обслуговування електроустановок, а також комплект захисних засобів. Для виключення небезпеки ураження кроковою напругою забороняється виконувати будь-які зміни в схемах комутації електропарникового тепличного господарства без погодження з організацією, що має право змінювати схему.

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Вплив тепличних господарств на навколишнє середовище

Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів - одна з найважливіших проблем, що стоять перед людством.

Навколишнє середовище являє собою єдину природну екологічну систему, порушення якої призводить до серйозних негативних наслідків. Інтенсивна обробка земель сприяє розвитку ерозійних процесів. Надмірне застосування отрутохімікатів згубно впливає на здоров'я людей, завдає шкоди рибному господарству і тваринному світу.

З метою захисту навколишнього середовища від забруднення намічено ряд природоохоронних заходів. Це, перш за все, захист ґрунтів від ерозії, впровадження науково обґрунтованої системи захисту рослин від хвороб, шкідників і бур'янів, широке застосування біологічних методів захисту, економне використання цінних сільськогосподарських земель, регулювання випасання худоби, створення лісових насаджень навколо ферм і водойм, а також здійснення інших заходів.

Охорона навколишнього середовища та вирощування овочів в умовах закритого ґрунту також має ряд важливих аспектів [31, 33]. Земельна ділянка, що відводиться під будівництво тепличних комбінатів, повинна відповідати державним санітарно-епідеміологічним правилам і нормативам.

Заходи з охорони навколишнього середовища повинні також бути передбачені при будівництві тепличних комбінатів.

8.2 Природоохоронні заходи при будівництві теплиць

При будівництві теплиць передбачаються наступні природоохоронні заходи:

- попереднє зняття родючого шару ґрунту, складування його в тимчасові відвали для подальшого використання при впорядкуванні;

- герметизація підземних водоносних мереж і споруд з урахуванням сейсмічності району будівництва і глибини промерзання ґрунтів;
- приміщення надвірного туалету з водонепроникним вигребом;
- для запобігання попаданню дренажних стоків у ґрунтові води передбачається пристрій системи дренажу закритого типу зі збором і відведенням стоків в каналізаційну мережу з подальшим очищенням і повторним використанням;
- установка шумоглушників на вентиляційне обладнання, застосування звукопоглинальних кожухів;
- тимчасове зберігання відходів, що утворюються в період будівництва, в спеціальних місцях для виключення забруднення земель;
- після закінчення робіт - очищення будівельних майданчиків від сміття і вивіз відходів відповідно до класифікаційними ознаками;
- благоустрій території, озеленення, пристрій проїздів і майданчиків з твердим покриттям.

У період будівництва теплиць надходження забруднюючих речовин в атмосферне повітря очікується в результаті роботи двигунів автотранспорту та техніки, проведення вантажно-розвантажувальних, земляних, зварювальних і фарбувальних робіт.

При виконанні будівельно-монтажних робіт слід при нагріванні води, розігріванні ізоляційних матеріалів використовувати спеціальні нагрівальні установки, що забезпечують більш ефективне використання палива та зменшують небезпеку пожежі.

Воду в будівельному виробництві потрібно використовувати раціонально, не допускати випадків забруднення водою стічними водами, відходами паливно-мастильних матеріалів. Необхідно повністю виключити мийку будівельної техніки та автотранспорту в водоймах. Не допускається проток паливно-мастильних матеріалів на землю з будівельної техніки та автотранспорту, також ремонт, стоянка або мийка цієї техніки на будмайданчику.

Відходи, будівельне сміття своєчасно вивозяться на смітник, захарщення будівельного майданчика категорично забороняється. Неприпустимо "поховання" відходів і сміття на території будмайданчика.

Побутове сміття утилізується в типовій контейнер, будівельне сміття утилізується в спеціалізований кузов з подальшим вивезенням.

Використання при виробництві робіт отруйних або смердючих речовин категорично забороняється. Спалювання відходів і сміття, а також розігріванн матеріалів на вогнищах забороняється. Для відведення побутових стоків використовувати біотуалети.

Джерелами шуму є автотранспорт та вентиляційне обладнання. У зв'язку з відсутністю поблизу проектного об'єкта житлової забудови, рівень шуму від проєктованих джерел не повинен перевищувати допустимих значень.

Проектними рішеннями при будівництві теплиць повинна бути передбачена очистка поверхневого стоку з території тепличного комплексу.

При експлуатації теплиць також необхідні природоохоронні заходи.

Утворені в тепличних господарствах (комбінатах) виробничі та господарсько-побутові стоки, відпрацьований ґрунт, мінераловатний субстрат і рослинні залишки підлягають обов'язковому знешкодженню щоб уникнути формування джерел забруднення ґрунту, водойм, атмосферного повітря робочої зони.

Забороняється випуск господарсько-фекальних та виробничих стічних вод тепличних господарств (комбінатів) в поглинаючі колодязі.

Забруднені пестицидами рослинні залишки спалюють або компостують, а відпрацьований ґрунт - компостують.

Надходження забруднюючих речовин в атмосферне повітря на період експлуатації об'єкта очікується в результаті роботи двигунів автотранспорту на проєктованій відкритій стоянці, спалювання природного газу в котлах, від ємностей для дезінфекції коліс транспорту, дезінфекції теплиць, від роботи трактора, який займається обробкою ґрунту і вивозить рослинні залишки.

При підживленні рослин вуглекислим газом через теплогенератори, інфрачервоні газові випромінювачі, генератори вуглекислого газу на природному газі від котелень, необхідно підтримувати режими, що забезпечують найбільш повне згорання палива.

8.3 Способи захисту навколишнього середовища при роботі теплиць

У зв'язку з негативним впливом антропогенних факторів на навколишнє середовище, питання раціонального і збалансованого застосування мінеральних добрив в тепличних господарствах мають особливу актуальність.

Для запобігання забруднення навколишнього середовища при роботі з мікродобривами необхідно:

- вносити оптимальні норми у відповідні строки;
- вибирати оптимальний спосіб використання;
- застосовувати хелатні форми мікроелементів;
- рівномірно розподіляти їх по угносна площі.

Найважче усунути токсичність мікроелементів, ніж їх недоліки. Тому порушення технологічної дисципліни при внесенні мікродобрив в тепличних господарствах неприпустимо.

До значного забруднення повітря, води і ґрунту призводять безконтрольне використання засобів хімізації, що створює небезпеку накопичення їх в продуктах рослинництва і попадання в організм людини і тварин.

Для запобігання шкідливого впливу пестицидів, при масовому їх застосуванні заплановано чергувати використання препаратів з різним механізмом дії. Це дозволить зменшити накопичення пестицидів у навколишньому середовищі і запобігти появі стійких до їх дії видів шкідливих комах.

Значну частину забруднюючих речовин, що надходять в результаті антропогенної діяльності в біосферу, являють собою сполуки неорганічної природи, які включаються в природний біологічний кругообіг речовин. Найбільш типові забруднювачі, які токсично впливають на живі організми, - важкі метали. Накопичуючись в рослинній продукції, вони знижують її якість і харчову цінність.

Повна відмова від використання мінеральних добрив і засобів захисту

рослин, який іноді пропонують в якості одного з можливих шляхів розвитку сільського господарства, призведе до катастрофічного скорочення виробництва продовольства. Тому єдино правильне рішення даної проблеми - це не відмова від застосування, а оптимізація технології використання мінеральних добрив і пестицидів, внесення їх в обґрунтованих дозах і співвідношеннях, правильне зберігання. Для зменшення небезпеки при використанні засобів хімізації землеробства культури, вирощувані в теплично-оранжерейному комплексі приватного агропромислового підприємства «Агропродсервіс», приміщення та інструмент обробляють найменш небезпечними для людини і тварин хімічними засобами, які включені в «Список хімічних і біологічних засобів боротьби з шкідниками, хворобами, бур'янами та регуляторів росту рослин, розміщених для застосування в сільському господарстві», і який оновлюється і затверджується щорічно.

Перераховані заходи повинні сприяти запобіганню забрудненню навколишнього середовища та охорони природи від шкідливих факторів антропогенного впливу [32].

З метою охорони навколишнього середовища слід передбачати такі заходи:

- територія тепличного господарства повинна мати благоустрій, озеленення та підтримуватися в належному санітарному стані;

- пересувне обладнання, що застосовується для підживлення і хімічної обробки рослин, ґрунту, субстратів і споруд після закінчення робіт має промиватися на спеціальних майданчиках. Технологія знешкодження стоків, отриманих при митті обладнання, повинна відповідати санітарним нормам і правилам;

- всі рослинні залишки і горючі технологічні відходи, які не забруднені отрутохімікатами, щодня, в кінці робочого дня повинні бути винесені з робочих приміщень і вивезені на спеціальний майданчик з подальшою утилізацією. Спалювання відходів здійснюють в спеціально відведених місцях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

У дипломній роботі приведені результати теоретичних досліджень та вирішена науково-технічна задача, що полягає в розробці системи мікроклімату для тепличного господарства з використанням сонячної енергії. На базі отриманих результатів та розробок зроблено наступні висновки:

1. Виконано аналіз існуючих систем автоматизації теплиць і сучасних систем управління мікрокліматом, вибрано найбільш оптимальний варіанти для вирішення поставленої задачі.

2. Проведено теплофізичний розрахунок теплиці та розроблено фізико-математичну модель енергетичного режиму в теплиці. Виведено рівняння теплових балансів.

3. Розроблено технологію забезпечення мікроклімату на вибраному об'єкті проектування.

4. Виконано розрахунок теплового балансу теплиці з впровадженням в технологічний процес геліоустановки.

5. Виконано розробку електричної схеми і системи автоматичного управління вентиляцією теплиці.

6. Розроблено автоматизованої системи поливу на базі логічного програмованого контролера.

7. Розроблено прикладне програмне забезпечення автоматизованої системи поливу для персонального комп'ютера.

8. Виконано обґрунтування економічної ефективності впровадження розробленого проекту.

9. Розроблено та запропоновано заходи щодо охорони праці, безпеки в надзвичайних ситуаціях та охорони навколишнього середовища при реалізації проекту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Курдюмов Н., Малишевський К., Розумна теплиця, Видавництво: Владіс, 2007.-19 с.
2. Сучасні теплиці і парники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mexalib.com/read/486014>
3. Автоматизація технологічних процесів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://studopedia.ru/3_68128_lektsiya-avtomatizatsiya-tehnologicheskikh-protsesov.html
4. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. - Старый Оскол: ТНТ, 2013. - 524 с.
5. Оснащення тепличних конструкцій [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://parnikiteplicy.ua/ustrojstvo/avtomatizaciya.html>
6. Автоматизація теплиць, квіткових господарств і оранжерей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://poltraf.ua/publications/otrasli_promyshlennosti/avtomatizatsiya_teplits_oran_zherey/60_БР.44.03.04.139.2017
7. Технологічний комплекс для вирощування салату і зелених культур методом гідропоніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://schetelig.ua/equipment-and-technology/salatnye-linii/salatnye-linii/>
8. Сучасна теплиця: автоматизована система [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vseoteplicah.ru/instrumenty/avtomatizaciya-teplicy-svoimi-rukami.html>.
9. Автоматичне регулювання споживання теплової енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.aiss33.ua/other_fotos/auto_regulate.pdf/
10. Волощенко А.В. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие / А.В. Волощенко, Д.Б. Горбунов – Томск: И–во Томского политех. У-та, 2008. – 109 с.
11. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. - Москва: Форум, 2012. - 224 с.

12. Системи управління мікрокліматом теплиці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fito-system.ru/climate-systems>
13. Автоматизація процесів управління мікрокліматом тепличного блоку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.2d3d.ru/2d-galereia/automatika/465-avtomatizaciya-processov-upravleniyamikroklimatom-teplichnogo-bloka.html>
14. Системи автоматизації теплиць [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://automatization.pro/model-projects/sistemy-avtomatizacii-teplic>
15. Системи електричного досвічування в теплицях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.greenhouses.ru/Sistemy-dosvechivaniya>
16. Світлова культура рослин в теплицях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.greenhouses.ru/Svetokultura>
17. Назарова В. І. Сучасні системи опалення. 2011. - 320 с.: іл. – (Енциклопедія будівництва).
18. Системи АСУ в тепличному господарстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://elektrocar.narod.ru/doc/4.pdf>
19. Бердышев, В.Ф. Основы автоматизации технологических процессов очистки газов и воды: Курс лекций / В.Ф. Бердышев, К.С. Шатохин. - Москва: МИСиС, 2013. - 136 с.
20. Ключев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С. Ключев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин. - Москва: Альянс, 2015. - 272 с.
21. Кангин, В.В. Промышленные контроллеры в системах автоматизации технологических процессов: Учебное пособие / В.В. Кангин. - Старый Оскол: ТНТ, 2013. - 408 с.
22. Вернер В.В. Основы термодинамических расчетов вентиляций и кондиционирования воздуха. М.: «Вища школа», - 1995.
23. Гариков В.В. Теплофизические расчеты сельскохозяйственных производственных зданий. М.: Стройиздат, - 1983. 216 с.

24. ГОСТ 12.4.155-85 «Пристрої захисного відключення. Класифікація. Загальні вимоги».
25. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. Міненерговугілля України, 2014 р.
26. Голуб Г.А. Микроклимат сооружений для выращивания грибов // Вестник аграрной науки. - 2003. - №10. - С. 46-49.
27. Дорохов И.А. Рекомендации по технологии выращивания рассады овощных культур в пленочных теплицах. МСХ. - Главное управление картофеля, овощных и бахчевых культур. М., «Колос», 1982, 14с.
28. Бодин А.П, Московкин Ф.И. Новое электрооборудование для сельского хозяйства. - М.: Россельхозиздат, 2005. - 239 с.
29. Бурлаков В.С. Разработка и исследование принципиальных конструкций гелеоэлектрических установок для подогрева воды и воздуха // Сб. научных трудов ХЗВИ, выпуск 9, часть 3, Харьков. 2001.-С. 261-264.
30. Сакулин В.П. Охрана труда при монтаже и эксплуатации сельских электроустановок. - Л.: Агропромиздат, 1987. - 223 с.
31. Белогубова, Е. Н. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта : учеб. пособие для аграр. учеб. заведений I-IV уровней аккредитации по спец. 1310 «Агрономия» / Е. Н. Белогубова, А. М. Васильев, Л. С. Гиль и др. – Житомир : ЧП «Рута», 2007. – 532 с.
32. Аминов Р.И. Оптимизация условий выращивания овощных культур в плёночных теплицах / Р.И. Аминов, Т.П. Астафурова, Г.С. Верхотурова, И.А. Викторова // Тр. Томского с.-х. ин-та. – Томск : 2001. - Вып. 4. - С . 19-23.
33. Брызгалов В.А. Овощеводство защищенного грунта / В.А. Брызгалов, В.Е. Советкина, Н. И. Савинова. - Л. : Колос , 1983. - 352 с.
34. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Виконання електричних схем згідно ЄСКД: Довідник. - М.: Видавництво стандартів,1989.- 325с.
35. Євтух П.С., Оробчук Б.Я. Методичні вказівки по підготовці магістрів виконанню кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 8.090603 – "Електротехнічні системи електроспоживання", напрям – 8.050701 «Електротехніка та електротехнології». Тернопіль, ТДТУ, 2007 р., 20 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Скетч програми автоматичного поливу

```

const int relWPin = 3; //Пін для реле поливу
const int relSPin = 4; //Пін для реле вентиляції
const int relLPin = 5; //Пін для реле освітленості
const int relHPin = 6; //Пін для реле підігріву
const int photocellPin = 3; //Пін для давача освітленості

int photocellReading;
int x1;
int vp;

float h;
float t;

boolean relayW;
boolean relayC;
boolean relayL;
boolean relayH;

unsigned long currentTime;
unsigned long loopTime;
unsigned long RealTime;
unsigned long TimeInterval;

boolean ontimer;
boolean t1, t2, t3, t4, t5;
int HumG, HumW, HumC, TempC, TempMin, LightV;
boolean extP;

void loop() {
//Зчитування інформації з давачів
// Давач освітлення
photocellReading = analogRead(photocellPin);

//Давач вологості ґрунту
x1 = analogRead(A2);
vp = 104-x1;
if (vp<0) {vp=0;}
if (vp>100) {vp=100;}

// Зчитування давача вологості і температури
h = dht.readHumidity();
t = dht.readTemperature();

//Зчитування таймера
currentTime = millis();
if(currentTime >= (loopTime + TimeInterval)){
  if (ontimer == true) {ontimer=false;} else {ontimer=true;};
  loopTime = currentTime; };
RealTime = (TimeInterval-(currentTime-loopTime))/1000;

```

```

// Критерії ввімкнення реле поливу
if (ontimer==true) {
  if (vp<HumG) {t2=true;} else {t2=false;}
  if (h<HumW) {t3=true;} else {t3=false;} }
  else
    {t2=false; t3=false; }

//Екстренне ввімкнення поливу
if (vp<10) {t2=true; t3=true; extP=true;} else {t2=false; t3=false; extP=false;}

// Критерії ввімкнення вентилятора охолодження
if (h>HumC){t4=true;} else {t4=false;}
if (t>TempC){t5=true;} else {t5=false;}

// Критерії ввімкнення підігріву
if (t<TempMin) {relayH = true;} else {relayH = false;};
if (relayH==true) {digitalWrite(relHPin, HIGH);} else {digitalWrite(relHPin, LOW);}

//Критерії ввімкнення освітлення
if (photocellReading>LightV){relayL=true;} else {relayL=false;}
if (relayL==true){digitalWrite(relLPin, HIGH);} else {digitalWrite(relLPin, LOW);}

//Управління реле поливу
if ((t2==true)||t3==true) {relayW = true;} else {relayW = false;};
if (relayW==true) {digitalWrite(relWPin, HIGH);} else {digitalWrite(relWPin, LOW);}

//Управління реле вентилятора
if ((t4==true) || t5==true) {relayC = true;} else {relayC = false;};
if (relayC==true) {digitalWrite(relCPin, HIGH);} else {digitalWrite(relCPin, LOW);}

//Виведення інформації
//Рівень вологості ґрунту
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(vp);

// Індикація роботи реле поливу
if (relayW==true)
  {lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("1"); }
  else
  {lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("0"); }

// Індикація роботи реле вентиляції
if (relayC==true)
  {lcd.setCursor(5, 0);
  lcd.print("1"); }
  else

```

```

    {lcd.setCursor(5, 0);
    lcd.print("0"); }
// Індикація роботи реле освітлення
if (relayL==true)
    {lcd.setCursor(6, 0);
    lcd.print("1"); }
    else
    {lcd.setCursor(6, 0);
    lcd.print("0");}

//Індикація роботи реле підігріву
if (relayH==true)
    {lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print("1"); }
    else
    {lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print("0"); }

//Вивід часу таймера
    lcd.setCursor(10, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(10, 0);
    lcd.print(RealTime);

//Рівень вологості
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(h);

//Температура
    lcd.setCursor(7, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(7, 1);
    lcd.print(t);

    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.print(ontimer);

//Запис інформації в порт
    Serial.println("Sending start");
    Serial.println(vp);
    Serial.println(h);
    Serial.println(t);
    Serial.println(photocellReading);
    Serial.println(ontimer);
    Serial.println(relayW);
    Serial.println(relayC);
    Serial.println(relayL);

```

```
Serial.println(relayH);  
Serial.println(extP);  
Serial.println(RealTime);  
Serial.println("Sending end");
```

```
delay(1000);
```


Додаток Б. *Лістинг вихідних кодів програми (функціональний фрагмент)*

```

procedure TForm1.Button_OpenClick(Sender: TObject);
begin
  if ComPort.Connected then
    ComPort.Close
  else
    ComPort.Open;
  if ComPort.Connected then
    begin
      HGScope.Active:=true;
      HaScope.Active:=true;
      tascope.Active:=true;
    end;
end;

procedure TForm1.Button_SettingsClick(Sender: TObject);
begin
  ComPort.ShowSetupDialog;
end;

procedure TForm1.ComPortOpen(Sender: TObject);
begin
  Button_Open.Caption := 'Отключить';
end;

procedure TForm1.ComPortClose(Sender: TObject);
begin
  if Button_Open <> nil then
    Button_Open.Caption := 'Подключиться';
end;

procedure TForm1.Bt_LoadClick(Sender: TObject);
begin
  //ComPort.LoadSettings(stRegistry, 'HKEY_LOCAL_MACHINE\Software\Dejan');
  ComPort.LoadSettings(stIniFile, AppPath+'\settings.ini');
end;

procedure TForm1.Bt_StoreClick(Sender: TObject);
begin
  ComPort.StoreSettings(stIniFile, AppPath+'\settings.ini');
  //ComPort.StoreSettings(stRegistry, 'HKEY_LOCAL_MACHINE\Software\Dejan');
end;

procedure TForm1.FormActivate(Sender: TObject);
begin
  AppPath:=ExtractFilePath(Application.ExeName);
  ComPort.LoadSettings(stIniFile, AppPath+'\settings.ini');
  PacketInd:=0;
end;

```

```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  ComPort.Connected:=false;

HGScope.Active:=false;
  HaScope.Active:=false;
  tascope.Active:=false;
close;
end;

end.
```