

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“ Проектування автоматизованої системи для
вирощування овочів закритого ґрунту ”**

Виконав: ст. гр. Акт-41

Спеціальності 151 — „Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології”
(шифр і назва)

Юрчишин Дмитро-Арсен Юрійович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Татомир А.В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: _____
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____
д.т.н., проф. А.М. Тригуба
“ ____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Юрчишин Дмитро-Арсен Юрійович

1. Тема роботи: « Проектування автоматизованої системи для вирощування
овочів закритого ґрунту »

Керівник роботи Татомир Андрій Володимирович, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 123/к-с від 25.02.2025.

2. Строк подання студентом роботи 09.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Агротехнічні вимоги до вирощування овочів
закритого ґрунту. 2. Вимоги до системи автоматизації теплиць; 3. Методика
проектування та розрахунку елементів системи автоматизації теплиці; 4. ДСТУ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Огляд систем автоматизації тепличних господарств

2. Технологічні режими функціонування теплиці та їх автоматизація

3. Розробка автоматизованої системи функціонування теплиці

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Техніко-економічне оцінення розробки

Висновки та пропозиції.

Список використаних джерел.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу : _____

1. Тема, автор, керівник; 2. Мета кваліфікаційної роботи та головні поняття; 3. Аналіз тепличних господарств України; 4. Класифікація теплиць; 5. Теплофізичні режими теплиці; 6. Спосіб автоматизованого забезпечення мікроклімату; 7. Регулювання температури теплиці; 8. Система автоматичного керування вентиляцією; 9. Розробка автоматизованої системи поливу; 10. Апаратна платформа системи поливу теплиці; 11. Логічна схема автоматизованої системи; 12. ТЕО.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Татомир А.В., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки</i>		

7. Дата видачі завдання 25.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	<i>25.02.2025 – 01.04.2025</i>	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	<i>01.04.2025 – 01.05.2025</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу та формування початкових даних</i>	<i>01.04.2025 – 01.05.2025</i>	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	<i>01.04.2025 – 01.05.2025</i>	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	<i>01.05.2025 – 01.06.2025</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>01.05.2025 – 01.06.2025</i>	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>01.06.2025 – 09.06.2025</i>	

Студент

Юрчишин Д.-А.Ю.

(підпис)

Керівник роботи

Татомир А.В.

(підпис)

УДК 004.942:631.563.1:681.5

Кваліфікаційна робота: 64 с. текст. част., 22 рис., 5 табл., 10 слайдів, 25 джерел.

Проектування автоматизованої системи для вирощування овочів закритого ґрунту. Юрчишин Д.-А.Ю. Кафедра ІТ. – Дубляни, Львівський НУВМБ, 2025.

Проведено комплексний огляд сучасних систем автоматизації тепличних господарств, що є однією з ключових складових розвитку агроіндустрії закритого ґрунту. Розглянуто конструкційні особливості теплиць, їх класифікацію, а також проаналізовано основні фізичні процеси, що відбуваються в умовах теплиці, та системи, які забезпечують їх підтримання.

Особлива увага приділяється технологічним режимам функціонування теплиць, зокрема, режимам теплообміну та системам клімат-контролю. Описано впровадження автоматизованих систем регулювання мікроклімату, зокрема з використанням геліокотлів.

Представлено результати розрахунків вентиляційної системи, розробку й автоматизацію процесів вентиляції та поливу, описано основні елементи керування системами автополиву.

Розглянуто питання охорони праці, аналіз потенційно травмонебезпечних ситуацій, безпеки в надзвичайних умовах, а також здійснено розрахунок складного заземлювача.

Виконано техніко-економічну оцінку розробленої автоматизованої системи функціонування теплиці.

Ключові слова: автоматизація теплиць, мікроклімат, система поливу, вентиляція, енергоефективність.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	6
1. ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛИЧНИХ ГОСПОДАРСТВ.....	7
1.1. Сучасна інновація агроіндустрії закритого ґрунту.....	7
1.2. Аналіз конструкції та класифікація теплиць.....	10
1.3. Аналіз фізичних процесів теплиці та системи їх забезпечення.....	13
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕЖИМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛИЦІ ТА ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЯ.....	19
2.1. Режими та схема теплообміну теплиці.....	19
2.2. Автоматизація режимів клімат-контролю та забезпечення мікрокліматичних умов вирощування культурних рослин.....	22
2.3. Застосування геліокотла для регулювання температури теплиці.....	27
3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛИЦІ.....	30
3.1. Результати розрахунку вентиляції у теплиці.....	30
3.2. Автоматизація керування вентиляцією.....	32
3.3. Розробка системи поливу в теплиці	37
3.4. Автоматизація поливу в теплиці.....	39
3.5. Основні елементи контролю і управління автополивом.....	45
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	49
4.1. Структурно-функціональний аналіз та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій.....	49
4.2. Розрахунок складного заземлювача.....	51
4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	53
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЕННЯ РОЗРОБКИ.....	54
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59
ДОДАТКИ.....	61

ПЕРЕДМОВА

Основна мета сучасного агробізнесу в Україні, попри військові дії в певних регіонах, полягає в збереженні сталого виробництва якісної і безпечної аграрної продукції для забезпечення потреб внутрішнього продовольчого ринку, розвитку можливостей імпортозаміщення по окремих товарних позиціях та росту експорту. Також суттєвою є залежність внутрішнього ринку від імпорту овочів. Міжнародний досвід свідчить про те, що рентабельно розв'язати цю проблему можна пришвидшенням розвитку агропромислового виробництва на основі інноваційних технологій захищеного ґрунту. У світі за різними експертними оцінками площі під закритим ґрунтом для вирощування сільськогосподарських культур складають близько 0,5-0,7 млн. га та продовжують щорічно зростати [5].

Водночас нині за даними аналізу державної статистичної інформації загальна площа захищеного ґрунту в усіх категоріях господарств України становить майже 7069,8 га, з яких у господарствах населення розміщено 6694,6 га, або 95% від усієї їх площі, а на підприємствах різних організаційно-правових форм – 2 га, зокрема у фермерських господарствах близько 12,3 га. Це досить небагато, враховуючи наявний значний ресурсний потенціал, ринки збуту та зростання попиту.

Побудова таких тепличних господарств як великого так і малого обсягу виробництва потребує автоматизації відповідних процесів роботи та догляду за рослинами. Виконана нами кваліфікаційна робота присвячена вирішенню одного із таких практичних завдань.

Мета роботи – підвищити ефективність функціонування теплиці для вирощування овочів закритого ґрунту завдяки системі автоматизації створення мікрокліматичних умов.

1. ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛИЧНИХ ГОСПОДАРСТВ

1.1. Сучасна інновація агроіндустрії закритого ґрунту

Як уже зазначалося, останніми роками загальна площа захищеного ґрунту в усіх категоріях господарств України становить майже 7069,8 га, з яких у господарствах населення розміщено 6694,6 га, або 95% від усієї їх площі, а на підприємствах різних організаційно-правових форм – 2 га, зокрема у фермерських господарствах близько 12,3 га [5].

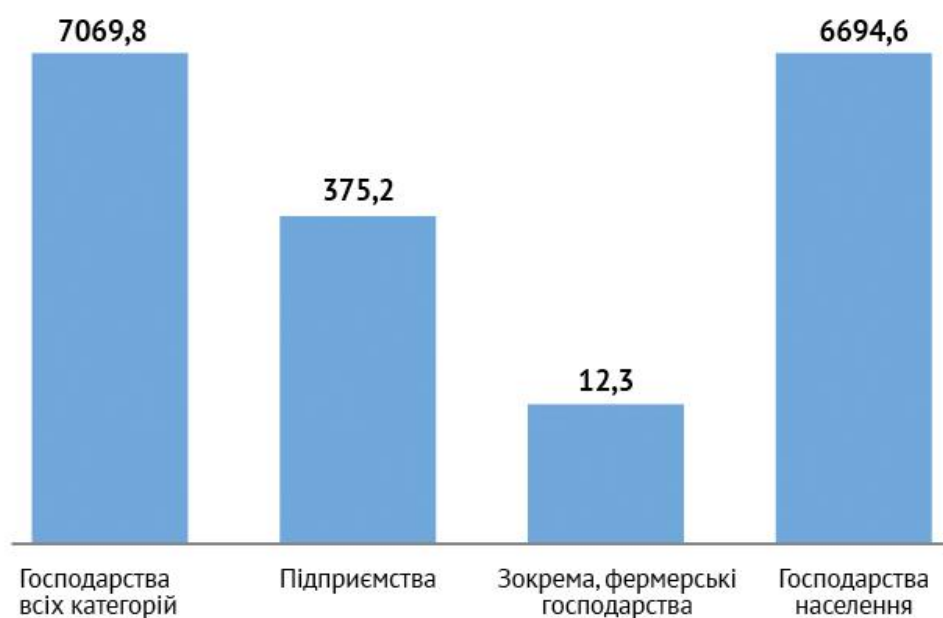


Рис. 1.1. Розподіл категорій господарств за площею закритого ґрунту (2023 рік)

Однак останніми роками, попри військові дії в певних регіонах України, інтерес до тепличного овочівництва (закритого ґрунту) почав знову зростати. Це відбувається через інноваційні технології, що дозволяють пришвидшити зростання і дозрівання рослин, підвищити середню врожайність культур, одночасно знизивши собівартість виробництва.

На регіональному рівні основні площі закритого ґрунту зосереджені навколо великих міст. Адже ця продукція короткого терміну зберігання, попит на

яку формується міським населенням. Нині в цих регіонах розміщено близько 85% усіх площ, зайнятих під закритим ґрунтом. Здебільшого в цих господарствах вирощують овочеві культури, попит на які постійно зростає (рис. 1.2).

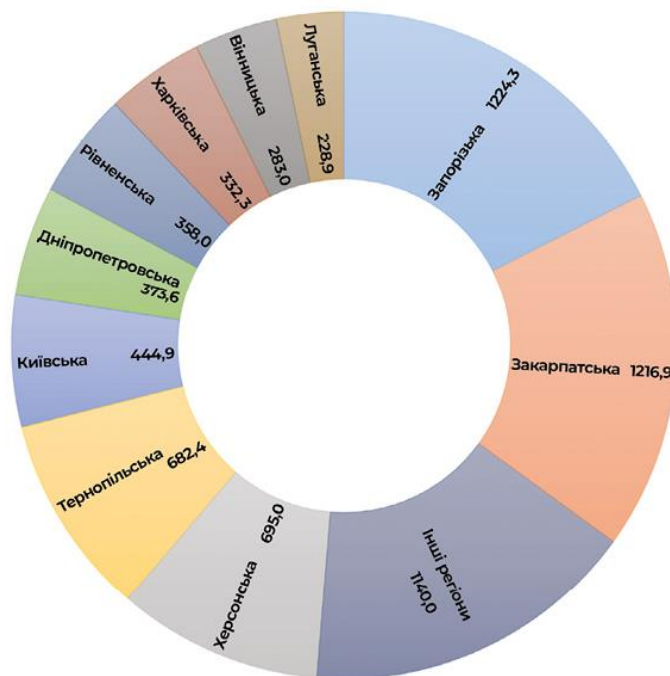


Рис. 1.2. Розподіл найбільшої площі закритого ґрунту за регіонами (до лютого 2022 року)

Водночас внаслідок незначних площ, які нині використовуються для виробництва продукції закритого ґрунту, зростає її імпорт. В основному, особливо в зимово-весняний період, суттєво зростають потреби населення в овочах, які поки що неможливо задовольнити внутрішнім виробництвом, а тільки шляхом розвитку і впровадження інноваційних технологій захищеного ґрунту. Так, у 2023 році лише помідорів було імпортовано на суму 212,7 млн доларів США [5].

В довоєнний період 2022 року наші господарства, які вирощували продукцію рослинництва закритого ґрунту, отримали рекордну продуктивність за багатьма овочевими культурами. За окремими культурами середня врожайність із 1 га досягла більше як 1000 ц (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Виробництво культур закритого ґрунту (до 2022 року) [5]

Культури	Площа зібрана, га	Обсяг виробництва, тис. ц	Урожайність, ц з 1 га зібраної площі
Культури овочеві захищеного ґрунту	7069,8	5255,9	743,4
Овочі листові та стеблові	650,1	271,9	418,9
капуста	588,3	254,0	432,0
капуста головчаста	586,8	253,2	431,7
салат-латук	13,6	6,9	516,2
салат інший	0,3	0,1	443,2
овочі зелені	47,8	10,9	229,8
кріп	25,9	4,2	168,9
петрушка листові	17,9	3,9	216,0
базилік	0,3	0,2	632,8
щавель	0,4	0,1	142,5
Овочі плодові	6297,0	4939,8	784,5
перець стручковий солодкий	98,3	66,8	680,1
перець стручковий грікий	к	к	к
огірки та корнішони	3396,2	2576,2	758,6
баклажани	0,1	0,2	1029,5
помідори	2794,1	2293,9	821,0
кабачки столові	8,2	2,6	312,0
Овочі цибулинні	77,0	20,6	268,7
часник	0,0	0,0	96,8
цибуля	0,0	0,0	343,3
цибуля ріпчаста	0,0	0,0	343,3
цибуля порей та овочі цибулинні інші	77,0	20,6	268,6
Овочі коренеплідні	41,1	21,2	518,6
морква столова	0,0	0,0	500,0
буряк столовий	0,0	0,0	7437,5
редиска	41,1	21,2	518,5
Культури ягідні захищеного ґрунту	5,6	0,7	126,9
Суниці та полуниці	5,6	0,7	126,9

Сьогодні у світі є кілька тенденцій, що визначають розвиток технологій закритого ґрунту. Одним із передових способів вирощування є малооб'ємна технологія – коли рослини вирощують в спеціальних місткостях наповнених

субстратом в якому створюють сприятливі умови для росту і розвитку. Вирощування сільськогосподарських культур може здійснюватися на торф'яних субстратах, на мінеральній ваті або аеропоніці. До того ж внаслідок застосування ресурсозберігаючих технологій і спеціальних матеріалів суттєво зменшуються витрати, що впливає на собівартість виробництва кінцевого продукту.

Важливим трендом є автоматизація та роботизація основних і найбільш трудомістких видів робіт у теплицях. Поки що ці технології перебувають здебільшого на рівні стартапів і дослідних зразків. Однак їх поширення може суттєво пришвидшитися в наступні роки через високу вартість залучення сезонних працівників і їх дефіцит.

Слід також зазначити, що традиційне вирощування рослин у ґрунті має певні обмеження щодо екологічно чистої продукції – через нагромадження шкідників та хвороб. У цьому разі створити сприятливе середовище для рослин можна тільки за умови ретельного очищення ґрунту. Це досить трудомісткий і дорогий підхід і потребує значних матеріальних, трудових і фінансових витрат.

Окрім цього підвищується інтерес до тепличного овочівництва ще й через використання інноваційних біологічних методів. Зокрема, вказані підходи передбачають повну або часткову відмову від пестицидів для боротьби зі шкідниками й застосування тільки біологічних засобів і методів захисту рослин (наприклад, біопрепаратів і ентомофагів), а також органічних регуляторів росту.

1.2. Аналіз конструкції та класифікація теплиць

Теплиці й парники – найбільш захищені види споруд для вирощування у закритому ґрунті овочевої продукції. На відміну від парників, теплиці мають великі розміри, що дає змогу всі роботи виконувати в споруді. У теплицях легше створювати сприятливий для рослин мікроклімат і є можливість механізувати всі виробничі процеси. Основним призначенням їх є вирощування у несезонний період овочевої продукції та вирощування розсади у закритих й відкритих

грунтах. Теплиці будують з різних матеріалів. Термін їх експлуатації з дерев'яним каркасом становить 10 – 15, а з металевим 25 – 30 років і більше.

Основним конструктивним елементом теплиць та парників є світлопроникний дах. Проникання світла в теплиці залежить від кута падіння сонячних променів, прозорості покривних матеріалів, співвідношення прозорих і непрозорих частин покриття, розмірів конструкцій (ферм, опор, балок) усередині споруди, а також розміщення їх відносно сторін світу.

Прозорий дах теплиці влаштовують майже під прямим кутом до напрямку сонячних променів. До каркаса прикріплюють шпроси, на які кладуть скло. Важливим елементом даху теплиць є влаштування вентиляційної системи (фрамуг, кватирок). Сучасні теплиці будують на несучих конструкціях без внутрішніх стоек [8].

Орієнтування тепличних підприємств, окремих теплиць та парників відносно сторін світу встановлюється нормами технологічного проектування [2, 25]. Теплиці повинні розміщуватись з навітряного боку відносно джерела забруднення їх світлопрозорих огорожень і з підвітряного боку – до перешкод обдування їх вітром.

Теплиці й парники поділяються за функціональним призначенням, технологією вирощування рослин, за часом експлуатації, конструктивним рішенням та типом покрівлі (рис. 1.3).

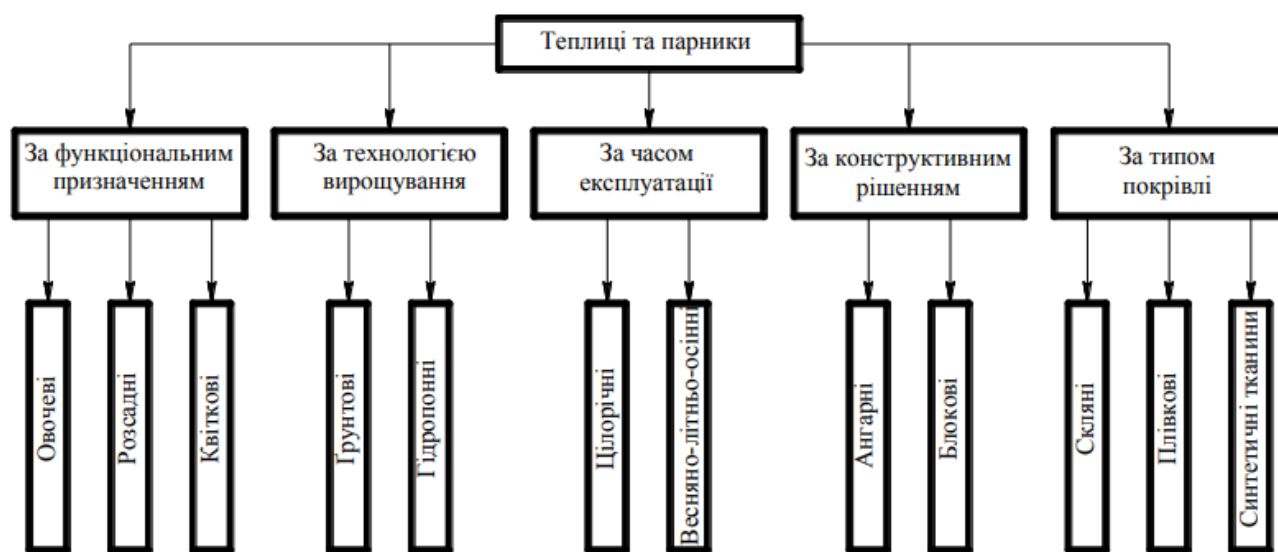


Рис. 1.3 – Класифікація теплиць та парників

Ангарні теплиці – це двосхилі неспарені споруди, які не мають стояків. Кут похилу даху в них $25 - 30^\circ$. Ангарні теплиці характеризуються постійним сприятливим температурним режимом і пристосовані для механізації та автоматизації всіх процесів. Вони рекомендуються переважно для районів, де часто випадає багато снігу і сильні вітри. Якщо будують кілька ангарних теплиць, їх розміщують через 3,5 – 6 м і з'єднують з північного боку або посередині загальним коридором.

Останнім часом набули поширення плівкові ангарні теплиці. Конструкції їх значно полегшені й виготовляються з дерева, металевих або пластмасових труб, що значно здешевлює їх будівництво.

Пересувні теплиці – здебільшого малогабаритні споруди. Площа однієї секції – 15 м^2 , висота їх – 1,6 – 1,8 м. При монтажі таких теплиць секції ставлять упиртул одна до одної, в результаті чого утворюється тунель довжиною 30 – 36 м.

Обладнання теплиць складається з таких систем: для обігріву ґрунту й повітря; зрошення; внесення рідких мінеральних добрив, позакореневих підживлень та обробки рослин пестицидами й подачі вуглекислого газу (у гідропонних – автоматичної подачі живильного розчину до субстрату, його випускання).

В Україні поширені гідропонні двосхилі теплиці ангарного типу площею 1000 м^2 , вони побудовані за типовими проектами 810-13, 810-14, 810-29, 810-30, 810-31. Субстрат засипають у бетонні піддони, покриті бітумом. Рівень живильного розчину у субстраті регулюється автоматично.

Переваги плівки як покрівельного матеріалу порівняно зі склом полягає в наступному. Перш за все плівка значно легша, має еластичність, гнучкість. Тож для неї не страшні просідання ґрунту.

Перевага ПВХ-плівки полягає в тому, що нічна температура на 2 C° вища, ніж під поліетиленовою. Крім того, така плівка послаблює надходження жорсткого ультрафіолету. Це збільшує врожай огірків на 10 – 30%.

Вітчизняні й закордонні господарства застосовують теплиці різних габаритних схем (рис. 1.4).

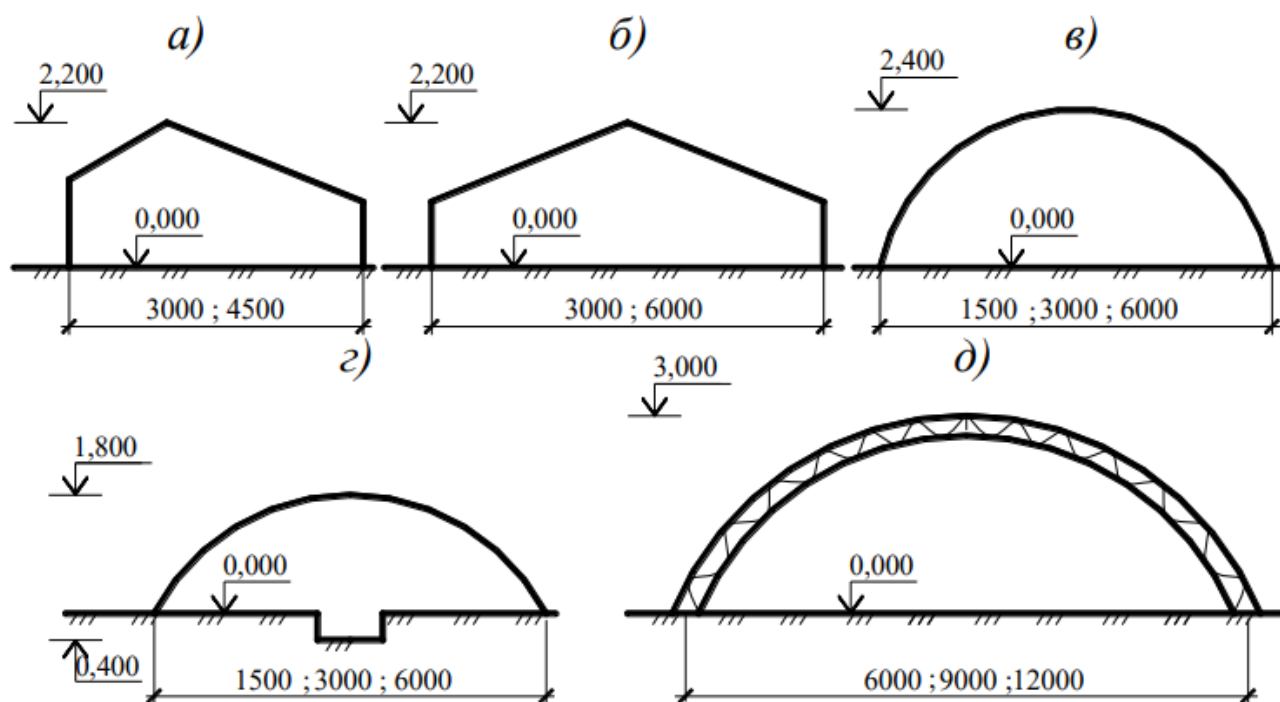


Рис. 1.4 – Габаритні схеми для плівкових покриттів: а – односхилі; б – двосхилі; в – аркові прохідні; г – аркові напівпрохідні; д – аркові ангарні

Різні види плівкових покриттів мають свої переваги і недоліки залежно від їх марки, матеріалу виготовлення, товщини тощо, встановити фактори, що впливають на їх вартість і довговічність. Підвищення врожайності й особливо довговічності укриттів з армованої поліетиленової плівки можливе при застосуванні способу трансформації теплиць і парників за принципом: тепло і сонячно – відкрито, вітряно і прохолодно – закрито.

1.3. Аналіз фізичних процесів теплиці та системи їх забезпечення

Система клімат-контролю в теплиці включає набір автоматизованих засобів які можна поєднати у: 1) систему обігріву; 2) поливу; 3) досвічування; 4) зашторювання; 5) вентиляції; 6) подачі CO_2 ; 7) створення штучного туману тощо. Для контролю параметрів мікроклімату використовуватися кліматичний

комп'ютер з встановленим програмним забезпеченням, котре і забезпечує керування цими системами (рис. 1.5).

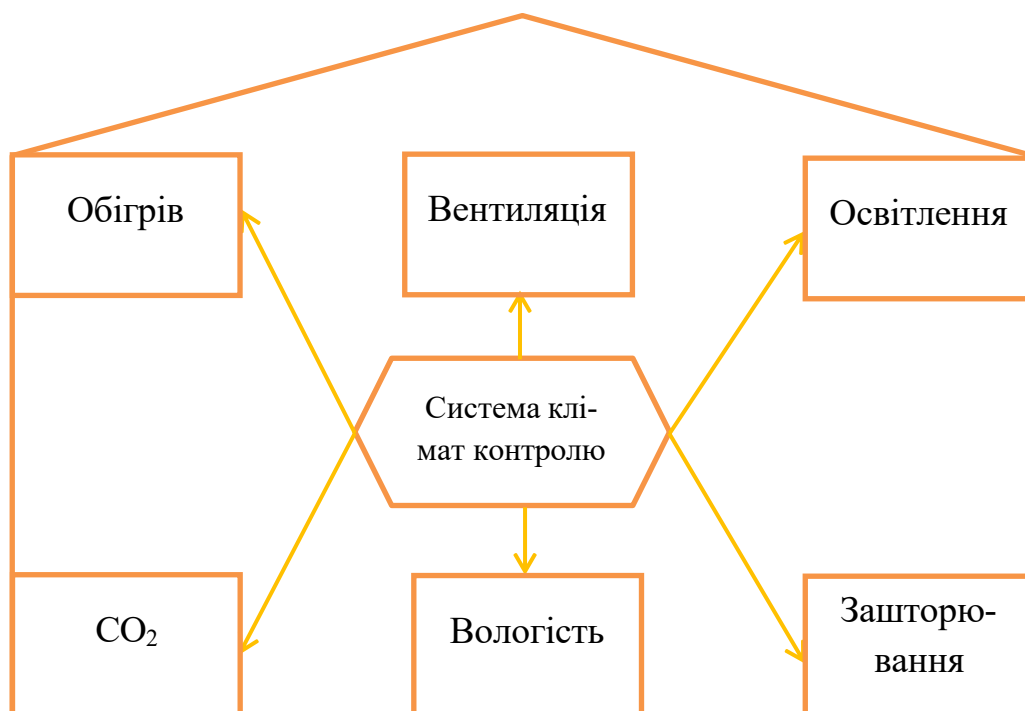


Рис. 1.5 – Фізичні процеси та система клімат-контролю

Такі системи сприяють значній економії ресурсів, адже на ріст, розвиток рослин сукупно впливають декілька факторів (кількість тепла, радіації, світла тощо). Тому для контролю цих основних показників встановлюються по периметру датчики, а навулиці встановлюється метеовежа. В залежності від технології вирощування та кількості культур, які одночасно вирощуються в теплиці, можна обрати різні моделі системи клімат-контролю, що забезпечують керування мікрокліматом в одному або одночасно в декількох окремих блоках тепличного комплексу. Основним недоліком використання таких систем є їх висока вартість та великий термін окупності.

Система опалення – найголовніша складова будь-якої теплиці, до вибору якої необхідно підходити з урахуванням кліматичних умов регіону, наявності і вартості енергоресурсів (палива) та рівня розходів на пальне, планів щодо експлуатації протягом року, об'єму опалювального приміщення, ступеню теплоізоляції будівельної конструкції, наявності обслуговуючого персоналу та

частоти обслуговування, наявність альтернативних джерел тепла та можливість до них під'єднатись, а також особливостей культур, які будуть вирощуватися.

До ефективних способів обігріву теплиць відносять [16, 18]:

- пічне опалення, в тому числі з повітряним і водяним контуром;
- водяне опалення на основі твердопаливного, газового, або електричного котла;
- обігрів за допомогою газової пушки;
- бігрів за допомогою конвекторів, або інфрачервоних обігрівачів;
- підігрів ґрунту за допомогою гріючого кабелю, або трубами водяного опалення.

Система підживлення рослин вуглекислим газом. Ріст рослин зумовлений перебігом фотосинтезу. Листочки рослини поглинають вуглекислий газ (адже є хлорофіл) і утворюють органічні речовини, а це майже 95% від всієї маси сухої речовини і лише 5% з мін. добрив. І коли світла стає більше, то фотосинтез пришвидшується і якщо є достатня кількість вуглекислого газу в приміщенні, то все це і призводить до швидшого росту та розвитку рослин ($\text{CO}_2 + \text{світло} + \text{вода} = \text{органічна речовина} + \text{кисень} + \text{вода}$). Тому необхідно постійно вимірювати склад повітря по периметру теплиці за допомогою датчиків, котрі можуть з'єднуватись з кліматичним комп'ютером.

Полив рослин в теплиці. Широкий вибір іригаційних систем включає в себе: обладнання для крапельного поливу, дощування, туманоутворення, поливу методом підтоплення. Незалежно від обраного типу поливу, для функціонування системи необхідно облаштувати так звану іригаційну кімнату для підготовки води, приготування, зберігання маточних розчинів, добрив та управління процесами поливу та живлення рослин (рис. 1.6).

Для дозованого поливу рослин використовується система крапельного зрошення (рис. 1.7), яка найкращим чином підходить для вирощування томатів. Вона складається з пластикових труб, шлангів та крапельниць.



Рис. 1.6 – Автоматизований комплекс підготовки живильного розчину

Існує декілька типів таких систем, всі вони забезпечують оптимальний полив та подачу поживного розчину індивідуально кожній рослині.

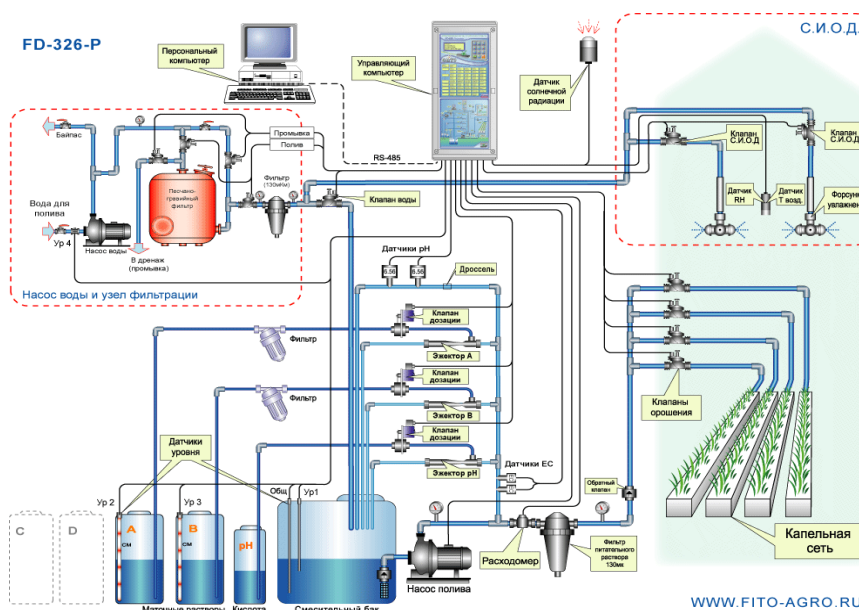


Рис. 1.7 – Технологічна схема системи приготування живильного розчину для крапельного поливу

Туман. При вирощуванні культур особливо вимогливих до підтримання високої вологості повітря в теплиці використовується система туманоутворення. Сам принцип функціонування такої системи досить простий – за рахунок підвищення тиску води в декілька десятків атмосфер, вона перетворюється в

дрібненькі краплини, котрі під сильним тиском розпилюються і утворюють туман. Зазвичай система складається зі спринклерів, встановлених над рослинами. Вода до спринклерів подається по пластиковим або сталевим трубам. Тиск, що забезпечується насосною групою, котра вподальшому і розпилює воду на дрібні краплини.



Рис. 1.8 – Застосування штучного туману в теплиці

Полив підтопленням. Така система може бути реалізована як у вигляді заливної підлоги, так і у вигляді заливних столів. Система працює за принципом тимчасового затоплення субстрату з кореневою масою та наступним відводом води. Операція затоплення або зливу води виконується за допомогою насосів, які закачують поживний розчин з загального резервуару у піддон (на підлогу), де вирощується культура, потім заливши розчину повертаються назад в загальний резервуар самопливом.

Вентиляція в теплиці. Для забезпечення необхідних параметрів температури та вологості в теплиці використовується система вентиляційних фрамуг та рециркуляційних вентиляторів (рис. 1.9). Природне провітрювання забезпечується фрамугами розташованими на даху і на бокових та фронтонних стінках теплиці. Кут підняття та площа отвору регулюється в залежності від температури повітря, швидкості вітру та опадів. Керування відкриванням та

закриванням забезпечується автоматично системою клімат-контролю, або за допомогою ручного приводу.



Рис. 1.9 – Вентиляційні фрамуги та тепличний вентилятор

Система освітлення. У зимовий період, коли мало природного світла, для нормального росту рослин використовується система додаткового освітлення. Вона складається з платформи, рефлекторів, ламп, кабелів та електричних щитів керування. Залежно від культури, яка вирощуватиметься, та періоду освітлення, обирають лампи оптимального типу та потужності. Важливо зазначити, що збільшення тривалості світлового дня для рослин та забезпечення світлового стимулювання росту дозволяє отримувати якісну розсаду в мінімально короткий термін.

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕЖИМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛИЦІ ТА ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЯ

2.1. Режими та схема теплообміну теплиці

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 [19, 20]. 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.

Під час складання 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 приміщення 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.

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.

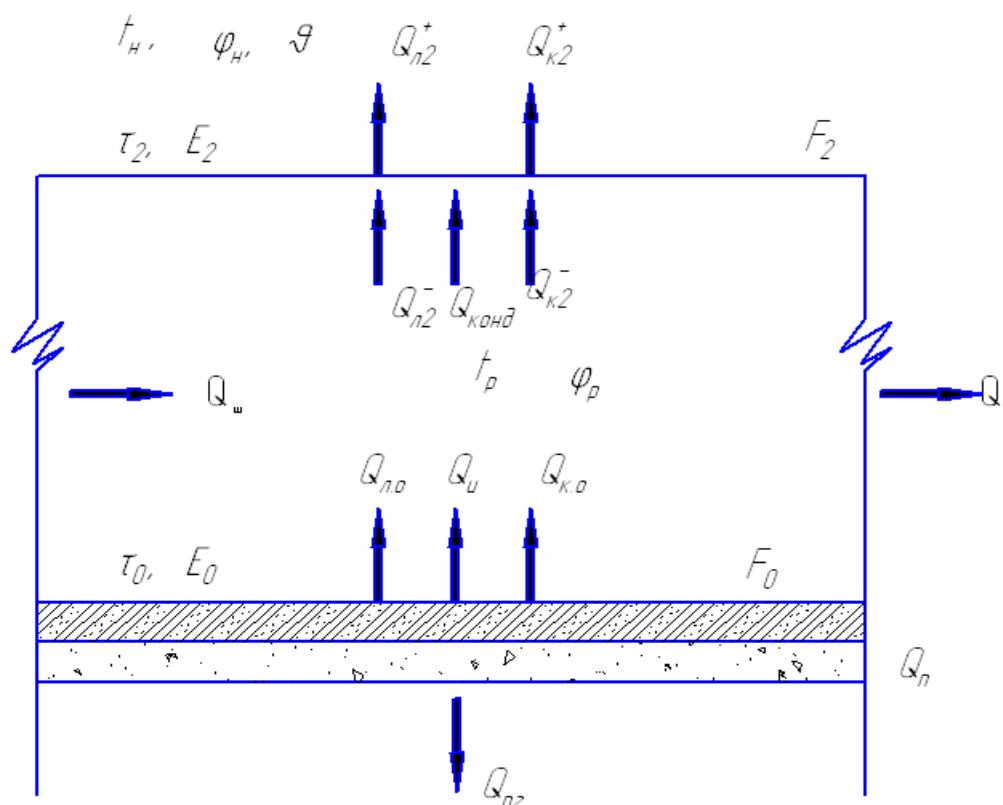


Рис. 2.1 – Схема енергетичного балансу теплиці з технічним обігрівом

На підставі прийнятої розрахункової схеми енергетичного режиму теплиці складаємо систему рівнянь теплового балансу, в якій враховуємо потоки двох категорій [20].

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 [13].

Рівняння теплового балансу для теплиці в цілому:

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

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

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

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

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

Рівняння теплового балансу для поверхні ґрунту в теплиці:

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

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

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

$Q_{\text{І}}$ – тепловий потік, що характеризує витрату теплоти на випаровування вологи з ґрунту, Вт.

Рівняння теплового балансу на поверхні огорожі теплиці:

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

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

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

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

2.2. Автоматизація режимів клімат-контролю та забезпечення мікрокліматичних умов вирощування культурних рослин

Автоматизація режимів клімат-контролю та забезпечення відповідних параметрів мікроклімату дозволяє підтримувати в теплиці необхідні умови росту та розвитку рослин. 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 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 кваліфікаційній 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. 2.2). 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.

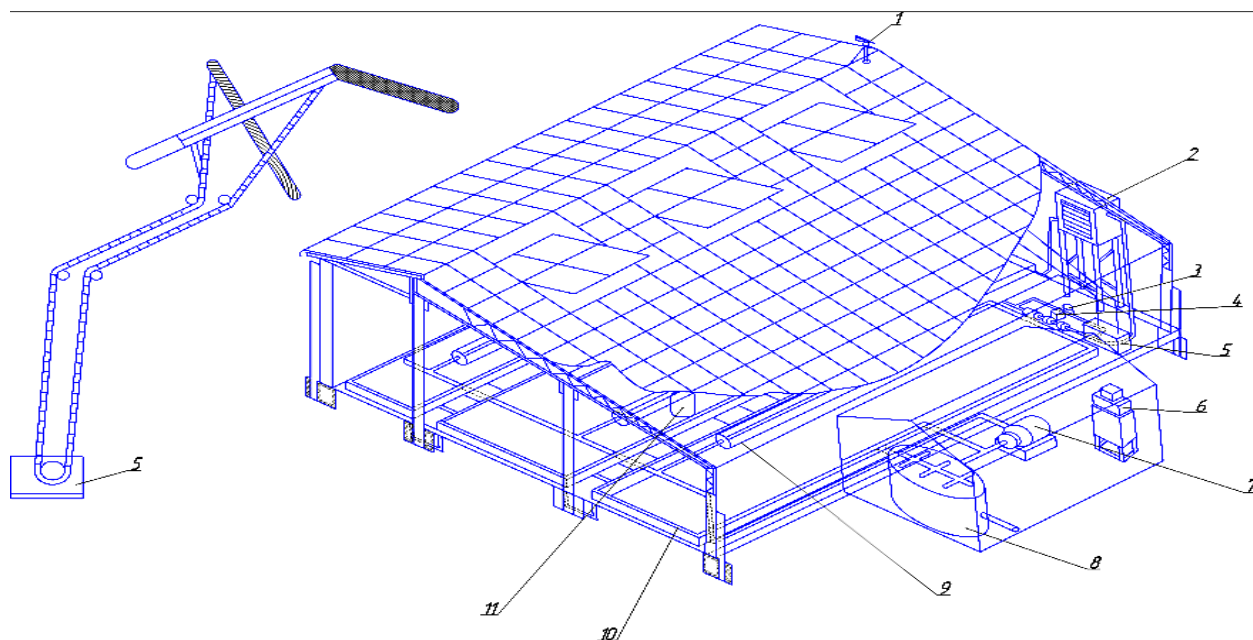


Рис. 2.2 – Загальна схема теплиці: 1 – електроконтактний флюгер; 2 – калорифер; 3 – ручний вентиль; 4 – електромагнітний вентиль; 5 – привід відкривання кватирок; 6 – шафа управління; 7 – насос; 8 – водонагрівач; 9 – жолоб; 10 – розпилювачі води; 11 – шафа з датчиками

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 покрівлею вздовж теплиці в три лінії з відстанню 3 ... 3,5 м від покрівлі теплиці і з кроком в лінії 3 м.

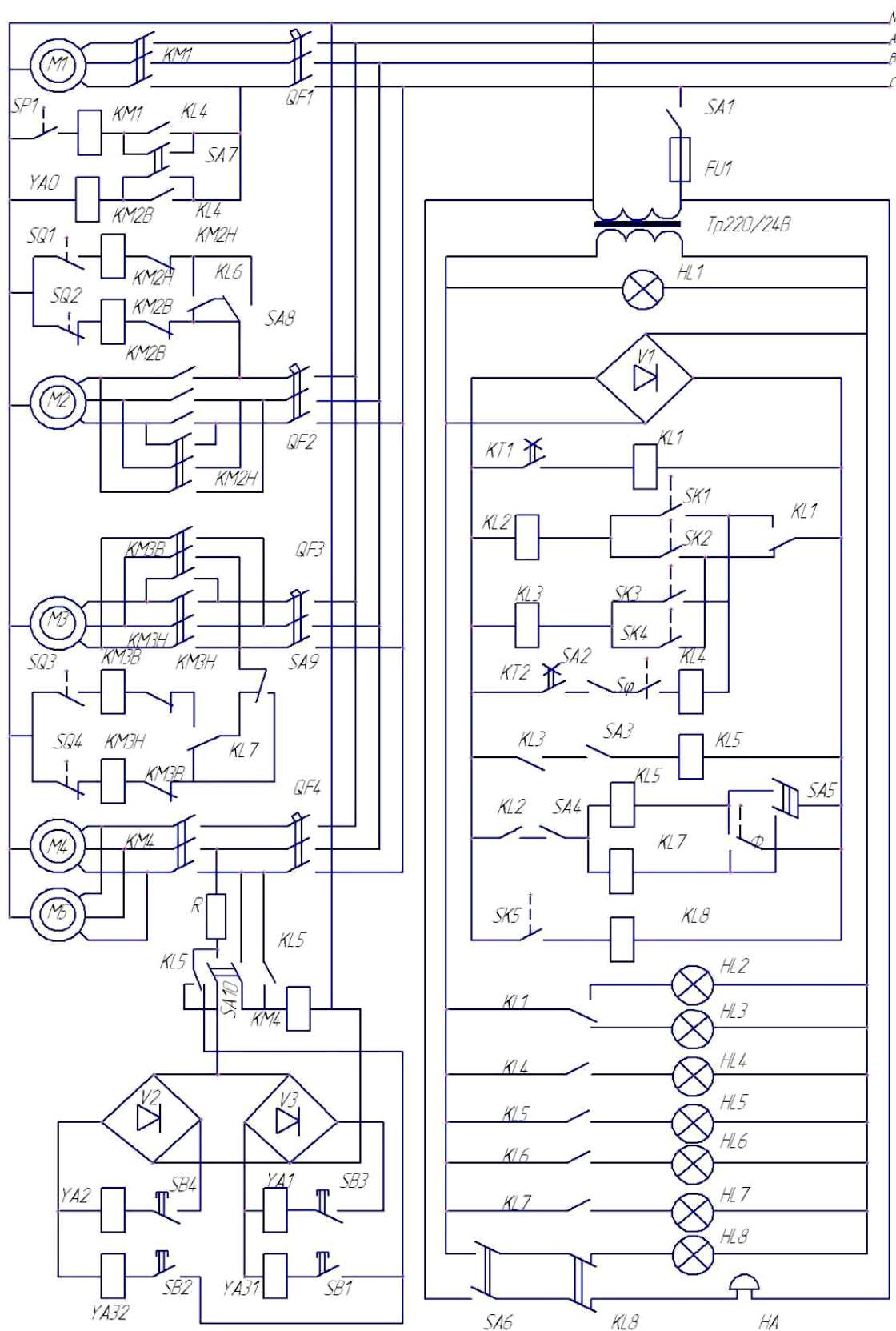
Розпилювачі 10, що прикріплюються до труб, являють собою капронові насадки з двома отворами (діаметром 0,4 мм кожна), завдяки чому потоки води, що виходять з них під тиском, стикаючись, розбиваються в дрібний пил, яка утворює навколо розпилювачів віяло, що досягає 2 м у діаметрі. Розпилювачі закріплюються 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 змійовика, 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. 2.3), 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 мікрореле, замикаються кола живлення реле, які включають коло відповідних програм.



8

Рис. 2.3 – Функціональна схема клімат-контролю та автоматизації мікрокліматичних процесів

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. 2.3 приведено розроблену схему електричну функціональну управління обладнанням мікроклімату теплиці.

У денному режимі роботи замикаються контакти реле часу КТ1, спрацьовує реле КЛ1 і включає кола датчиків температури дня SK1, SK3 і вологості повітря Sp. 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 спрацьовування 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 квартирки.

Шайби на тросах квартирок натиснуть на кінцевий вимикач SQ1 або SQ3 і зупинять двигуни, залишаючи квартирки відкритими. Коли температура знизиться до 28 °С, коло живлення реле КЛ2 розірветься, контакти його в колі реле КЛ6 і

KL7 відкриваються, реле KL6 або KL7 втрачає живлення і його контакти замкнуться коло пускача КМ2Н або КМ3Н, двигуни виконують реверс, кватирки закриваються.

Після цього вимикач SQ2 або SQ4 відключить двигун. При зниженні температури до аварійно низької розімкнуться контакти датчика SK5, виводячи з кола струму реле KL8, ввімкнуться звуковий і світловий сигнали. Коли закриваються контакти реле часу KT2 за другою програмою і в разі зменшення відносної вологості повітря в теплиці по відношенню до заданої, замикаються контакти датчика вологості Sф. Реле KL4 включає пускач КМ1 двигуна приводу насоса бака водопідігрівача і електромагнітний вентиль УАО системи зволоження – вода надходить до розпилювачів. Через заданий час контакти реле часу KT2 розмикаються, реле KL4 відмикає живлення пускача і електромагніт вентиля УАО. Вприскування припиняється. Про роботу системи сигналізують лампи HL1 ... HL7.

У нічному режимі роботи контакти KT1 розімкнуті, тому кола реле KL1 і KL4 відкриті, система зволоження не працює, системою обігріву управляють датчики SK2 і SK4. Автоматичні вимикачі QF1 ... QF4 служать для включення і захисту двигунів.

2.3. Застосування геліокотла для регулювання температури теплиці

Конструкція геліокотла (рис. 2.4) представляє собою теплоізоляційну камеру, орієнтовану на південь, з метою захоплення максимуму енергії Сонця. Конструкція представляє собою теплицю, з розташованим під заскленим дахом геліокотлом, що забезпечує можливість регулювання температури в середині приміщення. 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.

У разі виникнення високої температури 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.

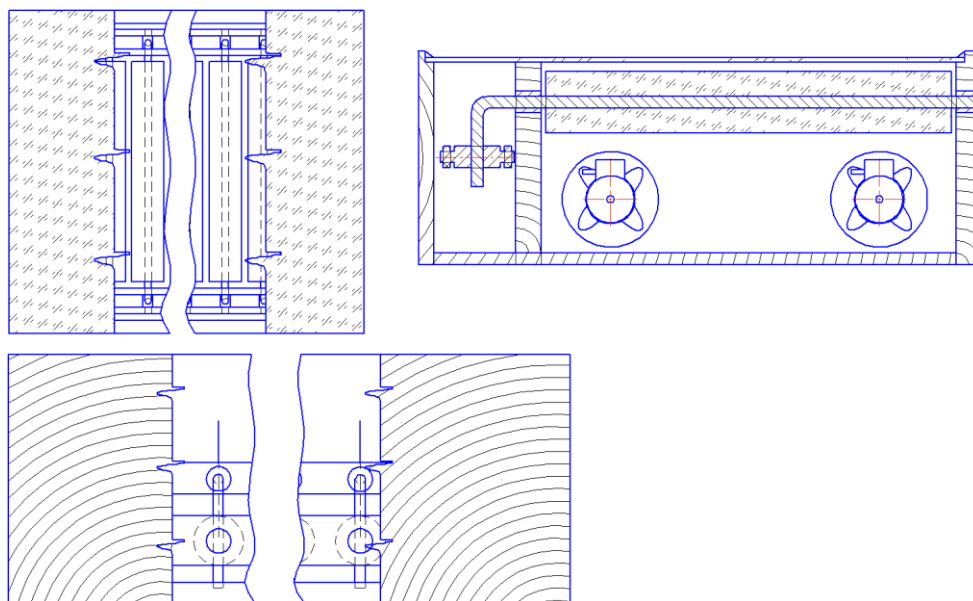


Рис. 2.4 – Загальна схема розташування геліокотла

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.

Розрахунок теплового балансу геліоустановки теплиці передбачає аналіз теплового балансу геліоустановки, обчислення середньої температури 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 [12, 19]:

$$t_{f1} = \frac{E_0 \cdot F_1 \cdot D_c \cdot A_k \cdot J}{C_b \cdot T_b \cdot C \cdot T + K \cdot Y_1 \cdot Y_2 \cdot F_2 \cdot J} + \frac{t_{f2}}{2} \quad (2.4)$$

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). Початкові параметри для розрахунку приймаємо:

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

$D_c = 0,88$; $A_k = 0,92$; $C_e = 0,25$ 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.

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$t_{f1} = \frac{500 \cdot 134 \cdot 0.88 \cdot 0.92 \cdot 8}{0.25 \cdot 156 \cdot 0.5 \cdot 345 + 0.21 \cdot 500 + 5 \cdot 1.5 \cdot 1.25 \cdot 1440 \cdot 8} + \frac{5}{2} = 6,2^\circ \text{C}, \quad (2.5)$$

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

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

3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛИЦІ

3.1. Результати розрахунку вентиляції у теплиці

Для визначення основних елементів системи вентиляції визначаємо повітрообмін L_{BO} , необхідний для видалення зайвої вологи з приміщення теплиці за формулою [2, 12]:

$$L_{BO} = \frac{\sum W}{q_1 \cdot \phi_{\text{в}} - q_2 \cdot \phi_{\text{н}}}, \quad (3.1)$$

де $\sum W$ – сумарна кількість вологи, що виділяється з вологоємних місць:

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

Відповідно до загальної площі теплиці (1440 м²) і середньозваженого вологовиділення з 1 м² площі 50 г/год:

q_1 – вологість зовнішнього повітря;

$q_2 = 3,1 \text{ г/м}^3$;

$\phi_{\text{в}}, \phi_{\text{н}}$ – відносна вологість внутрішнього і зовнішнього повітря, відповідно,

$\phi_{\text{в}} = 75\%$, $\phi_{\text{н}} = 40\%$.

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

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

Мінімально допустиму кратність повітрообміну $R_{\text{в}}$ визначаємо з відношення:

$$R_{\text{в}} = \frac{L_{BO}}{V_{\text{пов}}}. \quad (3.2)$$

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

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

$$Q_p = k_3 \cdot L_{BO}, \quad (3.3)$$

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:

$$k_2 = \frac{Q_p}{V_{\text{пов}}}. \quad (3.4)$$

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 припливно-витяжну систему вентиляції. Визначаємо подачу витяжних вентиляторів за формулою:

$$Q_{\text{внт}} = (2 \div 3) \cdot L_{BO}, \quad (3.5)$$

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

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

Подачу вентиляторів приймаємо на 20÷25% менше подачі витяжних вентиляторів, тобто:

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

Кількість вентиляторів визначимо:

$$n = \frac{Q}{q}. \quad (3.6)$$

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

Використовуючи результати отриманих розрахунків, виконаємо розробку електричної схеми і системи автоматичного управління вентиляцією теплиці [3, 14]. В кваліфікаційні роботі використаємо стандартну припливно-витяжну установку (ПВУ), керування якою буде здійснюватися за допомогою розробленої системи автоматичного управління [18].

3.2. Автоматизація керування вентиляцією

На рис. 3.1 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.

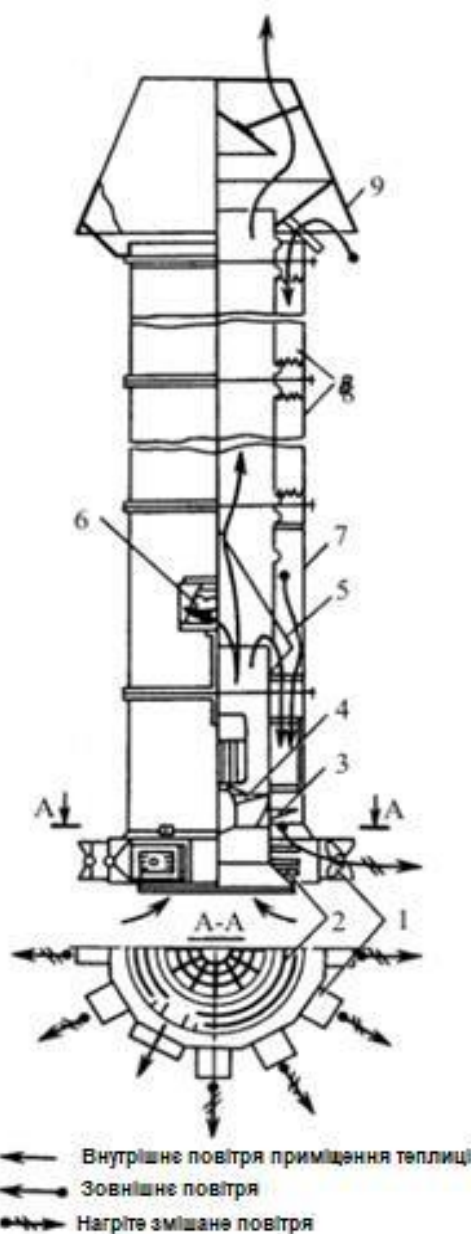


Рис. 3.1 – Припливно-витяжна установка (ПВУ): 1 – приточні насадки; 2 – електронагрівальні секції; 3 – вентиляторна секція; 4 – колесо вентилятора; 5 – рециркуляційна засувка; 6 – електропривід засувок; 7 – секція рециркуляційних засувок; 8 – проміжні секції; 9 – парасоля.

За розміщення вентиляторів в витяжних шахтах свіже повітря зазвичай подається без його попереднього підігріву. Якщо вентилятори монтують в припливних 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 припливний 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.

Припливно-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 нашій роботі виконаємо модернізацію ПВУ, представленій на рис. 3.1, впровадивши в її роботу систему автоматичного управління. На рис. 3.2 представлена розроблена електрична схема автоматичного управління вентиляцією в приміщенні теплиці.

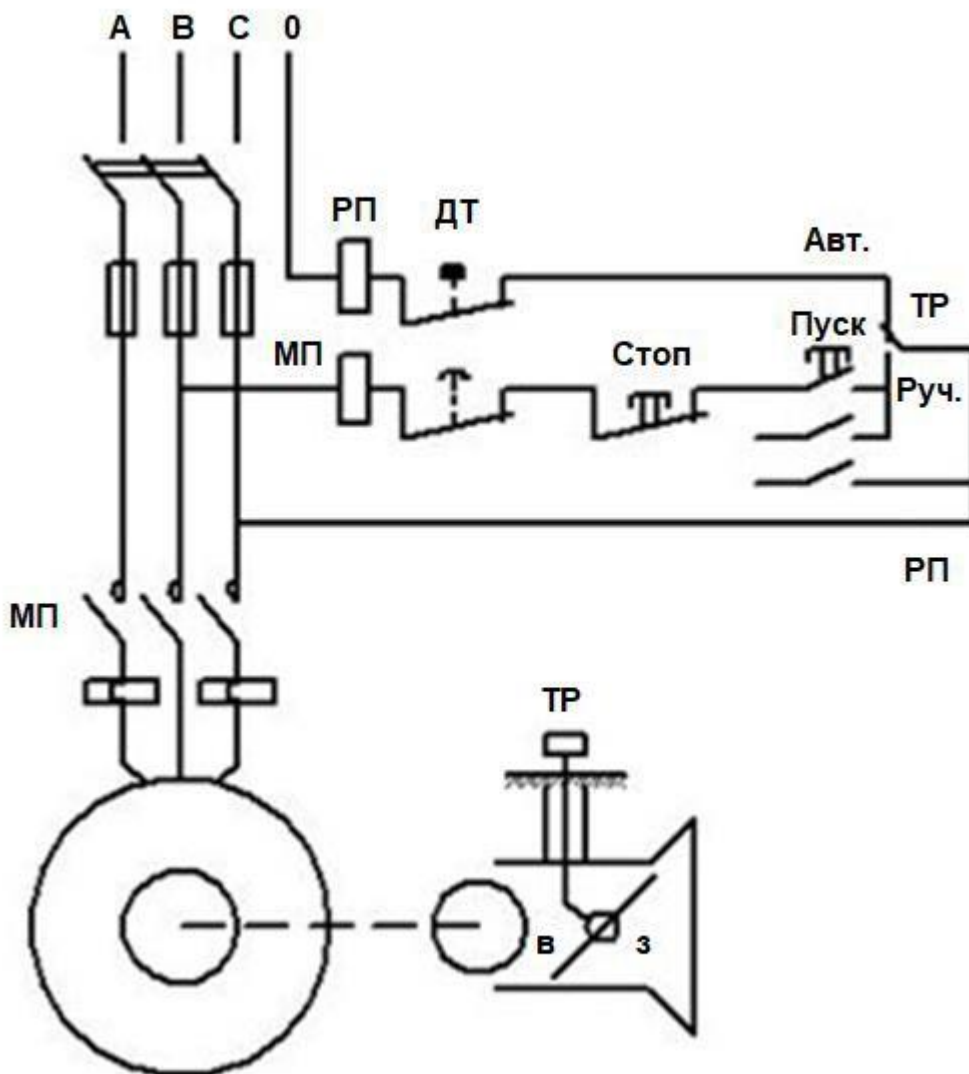


Рис. 3.2 – Електрична схема управління вентиляцією в теплиці: ДТ – давач температури; ТР – температурне реле; В – вентилятор; З – засувка

Принцип роботи наступний: вентилятор В монтуємо в головному припливному 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. 3.3.

Щоб здійснити автоматичне керування калорифером, треба перемикач встановити в верхнє положення (рис. 3.2), 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 замкнутися, 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.

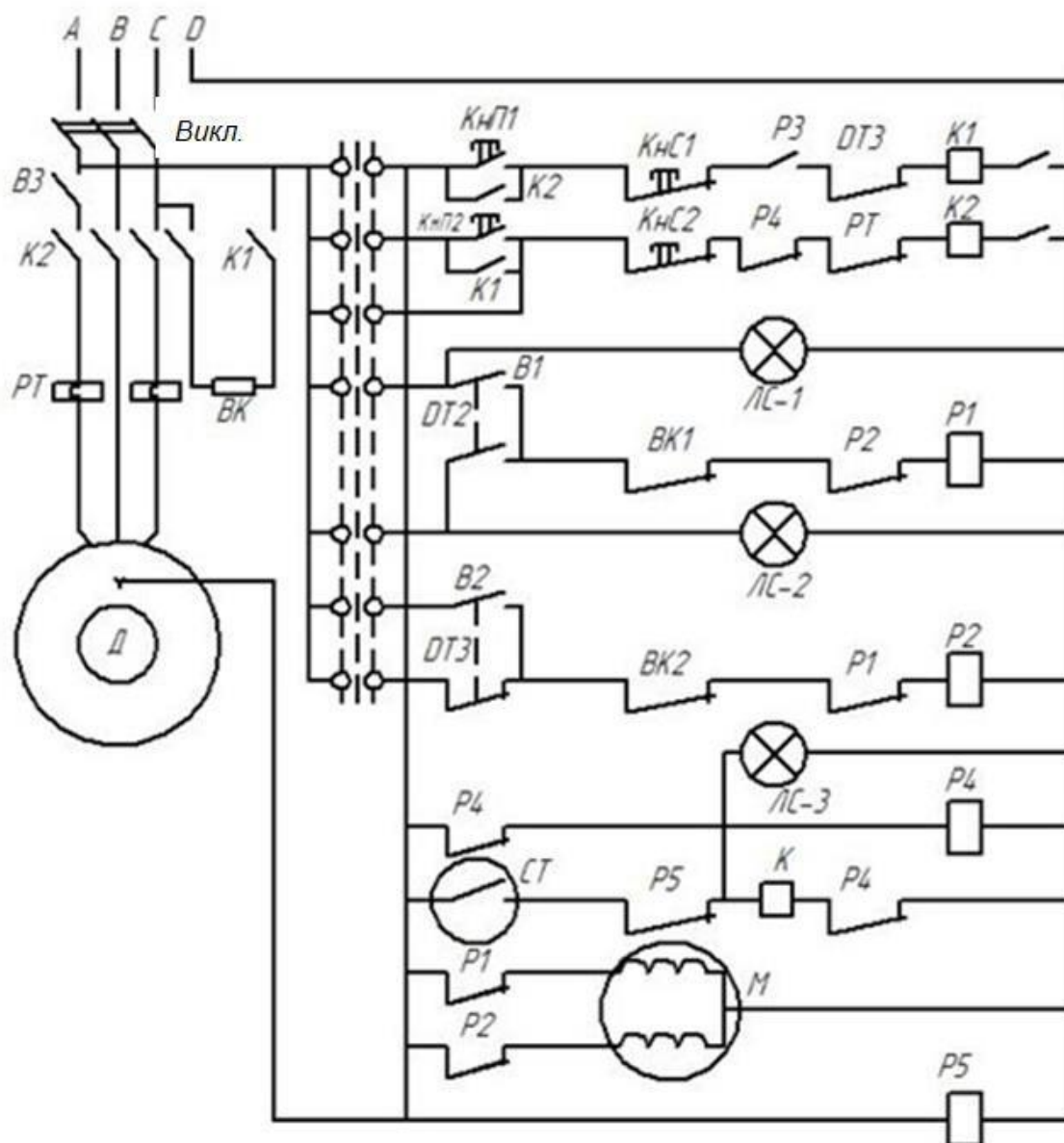


Рис. 3.3 – Електрична схема управління калориферною системою: КНП1 і КНП2 – кнопки; В1-В3 – тумблери; ВК1 і ВК2 – кінцеві вимикачі; ДТ2 і ДТ3 – датчі температури; СТ – стартер; Р4 – аварійне реле; КНС – кнопка зняття напруги; Р – реле; ЛС – лампа сигнальна

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 вентилятора і калорифер. Одночасно загориться сигнальна лампа

ЛС3. 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. 3.2). Потім кнопками КнП1 і КнП2 і тумблерами В1 і В2 включають електродвигун вентилятора, калорифер і привід заслінки.

3.3. Розробка системи поливу в теплиці

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 22-25°C, 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:

$$P = \frac{Q}{3600} = \frac{k \cdot G \cdot c \cdot (t_k - t_n)}{\eta \cdot \Phi \cdot 3600} \quad (3.7)$$

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·°C);

t_k і t_n – температура нагрівання води кінцева і початкова, °C;

η – ККД водонагрівача.

Визначити встановлену потужність проточного електроводонагрівача для нагрівання води від $t_n = 4$ °C до $t_k = 25$ °C 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:

$$G = \frac{\gamma \cdot 10 \cdot 1440}{2} = \frac{1 \cdot 10 \cdot 1440}{2} = 7200 \text{ л.} \quad (3.8)$$

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

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

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]:

Оптимізація витрат води під час поливу – 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 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.

3.4. Автоматизація поливу в теплиці

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 3.1 за характеристиками, що пропонується «заводськими» системами автоматичного поливу.

Таблиця 3.1 – Характеристика заводських систем для 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	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

Отже, 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.
5. На основі словесної моделі розробляємо блок-схему логіки роботи системи поливу (рис. 3.4).

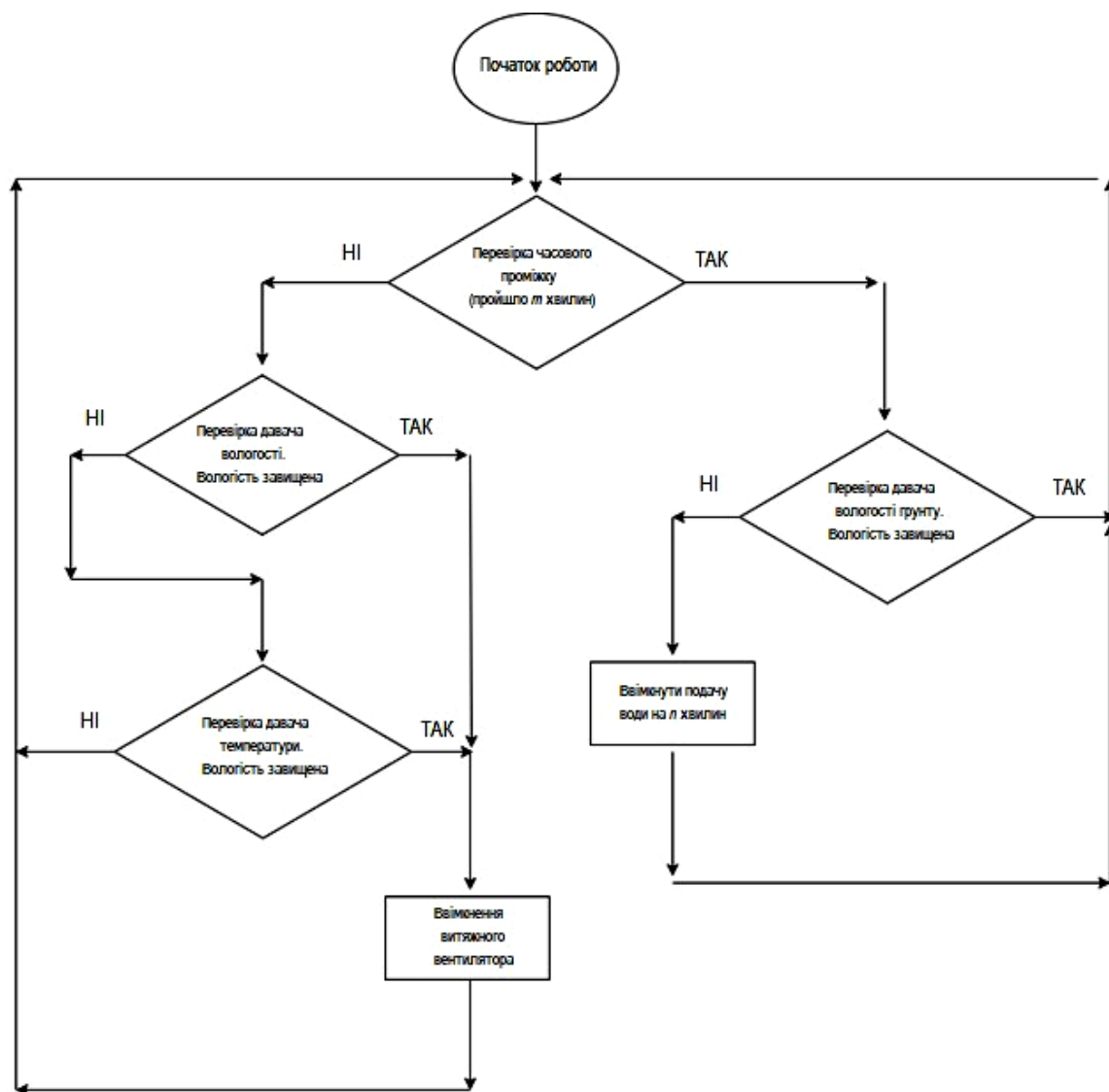


Рис. 3.4 – Блок-схема логіки автоматизованої системи поливу

Цю схему роботи може реалізувати будь-який програмований пристрій. Серед програмованих пристроїв ми можемо виділити два типи: 1) персональний комп'ютер; 2) програмовані контролери (Arduino і тощо).

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. 3.3).

Таблиця 3.2 – 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 давачі зі спеціальними інтерфейсами COM або USB. Складність в узгодженні роботи вхідних інтерфейсів з інтерфейсами датчиків.	Велика кількість давачів. Просте підключення давачів. Робота давачів 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	9 000 – 15 000 грн.	Біля 3 000 грн., разом з давачами.

У виборі апаратної платформи зупинимося на Arduino Nano (рис. 3.5), основні характеристики якої наведені в табл. 3.3 [15].



Рис. 3.5 – Програмований контролер Arduino Nano

Таблиця 3.3 – 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 В. На рис. 3.6 зображено логічну схему розробленої автоматизованої системи поливу води в теплиці, а на рис. 3.7 – Схему підключення датчиків до плати.

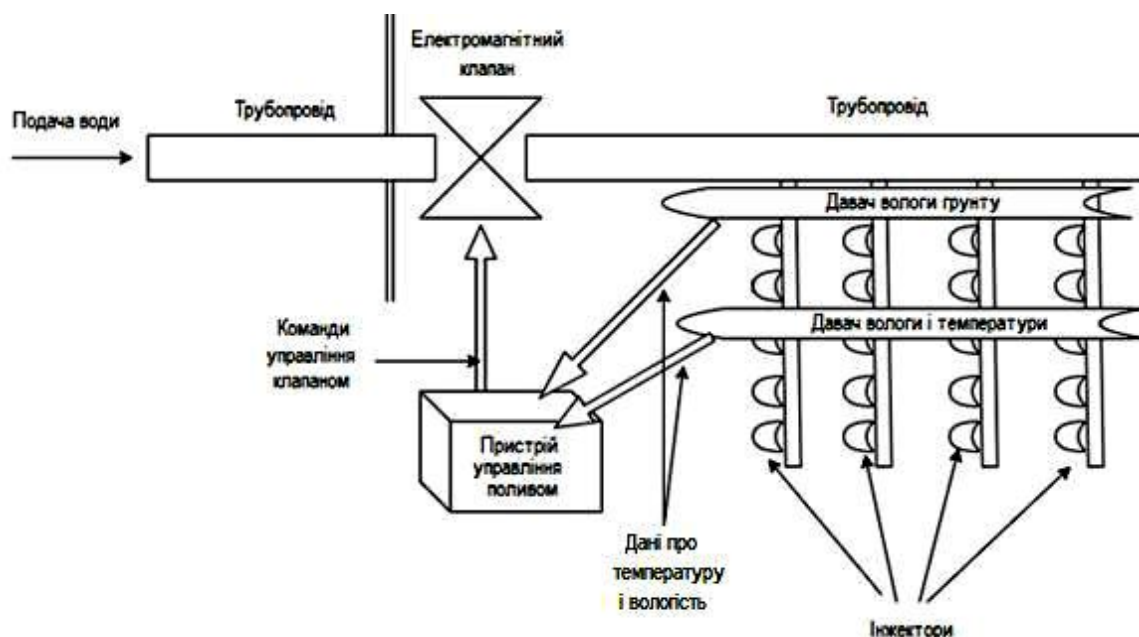


Рис. 3.6 – Логічна схема автоматизованої системи автополиву

Відображення інформації за показами датчиків можна реалізувати завдяки рідкокристалічному дисплею (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.

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. 3.8.



Рис. 3.8 – 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 початкових кодів програми 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.

Слід зазначити, 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.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Структурно-функціональний аналіз та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій

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

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

Працівники, що обслуговують електрообладнання вентильної системи, зобов'язані знати Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів відповідно до займаної посади або роботи, як вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки [7, 8, 11].

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

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

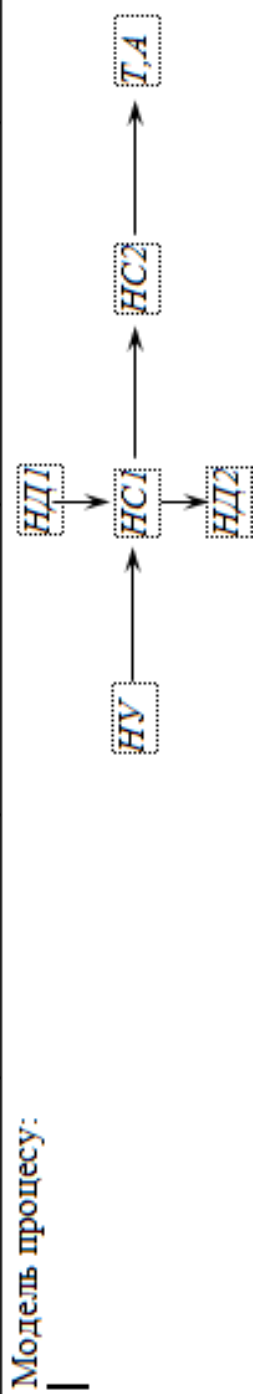
Працівнику, який пройшов перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок, видається посвідчення встановленої форми, яке він зобов'язаний мати при собі під час роботи.

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

Вид робіт	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заход безпеки	апобіганням ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)			
Використання механічної вентилляції	Оператор не перевірив обладнання НУ	Пошкоджений трубопровід мережі НД1 Закупорений трубопровід шланга НД2	Відмова вентилляційної системи (двигуна) НС	Аварія	Розв'язати, провести експлуат системи	лакати, структажі із обладнання

Модель процесу:

Використання електронних пристроїв регулювання	Пошкоджена ізоляція провідників з'єднання НУ	Пробій на корпус НД1 Коротке замикання НД2	Ураження людини електричним струмом НС1 Виведення обладнання із ладу НС2	Травма Аварія	Заміна п установл обладнан (запобіж ураженн струмом)	ідників, ня захисного сів, захист від юдини що
--	--	---	---	---------------	--	--



4.2. Розрахунок складного заземлювача

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

Опір розтіканню кожного із заземлювачів можна визначити за формулами. Заземлювач розміщений біля поверхні ґрунту [8, 13]:

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

$$R_0 = 0.366 \frac{0.9 \cdot 10^4}{20} \cdot \lg \frac{4 \cdot 250}{40} = 183 \text{ Ом.}$$

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

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

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

$$R_0 = 0.366 \frac{0.9 \cdot 10^4}{250} \left[\lg \frac{2 \cdot 250}{40} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 125 + 250}{4 \cdot 125 - 250} \right] = 21,4 \text{ Ом.}$$

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

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

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

$$R_u = 0.366 \frac{0.9 \cdot 10^4}{250} \lg \frac{2 \cdot 250^2}{125 \cdot 4} = 302,9 \text{ Ом.}$$

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

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

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

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

де R_δ — допустимий опір заземлювача проектного об'єкта або об'єкта, для якого проектується заземлення, Ом; η_c — коефіцієнт використання заземлювачів.

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

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

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

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

$$R_{up} = \frac{R_{ui}}{\eta_{ui}}, \quad (4.6)$$

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

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

$$R_{c3} = \frac{R_{cp} R_{up}}{R_{cp} + R_{up}}, \quad (4.7)$$

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

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

4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

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

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

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

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

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

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЕННЯ РОЗРОБКИ

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

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

де T – число днів роботи теплиці; 6,2; 3,8 – годинні тарифні ставки оператора і працівника в годину; m_1 , m_2 – число операторів і працівників; в проектованій теплиці безпосередньо (не включаючи прибирання, посадку і доставку добрив) працює 2 людини; 1,9 – коефіцієнт, що враховує нарахування.

Фонд місячної оплати праці в теплиці:

$$Z_{on.мр} = [(240 \cdot 6,2 \cdot 2 \cdot 8) + (240 \cdot 3,8 \cdot 1 \cdot 8)] \cdot 1,9 = 59097,6 \text{ грн/міс.}$$

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

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

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

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

$$K = Cб + B, \quad (5.3)$$

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

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

$$Cб = Vб \cdot K_v, \quad (5.4)$$

де $Vб$ – об'єм приміщення базової теплиці, $Vб = 2160 \text{ м}^3$; K_v – вартість 1 м^3 приміщення теплиці, $K_v = 250 \text{ грн.}$

Для проектованої теплиці:

$$Cб = 2160 \cdot 250 = 540\,000 \text{ грн.}$$

Балансову вартість геліокотла визначаємо за формулою:

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

де K – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування і монтаж обладнання, $K = 1,2$; C – ціна геліокотла, $C = 115\,500$ грн.

$$B = 1,2 \cdot 115\,500 = 138\,600 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення для проектованої теплиці:

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

$$Kn = 540\,000 + 138\,600 = 678\,600 \text{ грн.}$$

Отже, відррахування на амортизацію споруд:

$$Ac = \frac{678\,600 \cdot 4}{100} = 27144 \text{ грн./рік.}$$

Відррахування на амортизацію обладнання:

$$Ao = \frac{138\,600 \cdot 3}{100} = 4158 \text{ грн./рік.}$$

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

$$3p = \frac{540\,000 \cdot 3}{100} = 16200 \text{ грн./рік.}$$

Витрати на електроенергію розраховуються за формулою:

$$3_e = 240 \cdot N \cdot B_e, \quad (5.7)$$

де 240 – кількість днів роботи теплиці; N – добові витрати електроенергії, кВтгод/добу; $B_e = 6,65$ – ціна електроенергії для підприємств, грн/кВтгод.

$$3_e = 240 \cdot 58,8 \cdot 6,65 = 93366,0 \text{ грн.}$$

Загальна сума експлуатаційних витрат складе:

$$3_{екс} = 3_{оп.пр} + 3_a + 3_p + 3_e, \quad (5.8)$$

$$3_{екс.} = 59097,6 \cdot 12 + 27144 + 16200 + 93366 = 845881,2 \text{ грн/рік.}$$

Відповідно, загальні місячні експлуатаційні витрати – $845881,2/12=70490$ грн/міс.

Щоб виявити рентабельність функціонування теплиці під час вирощування томатів, а також окупність витрат на їх вирощування в теплиці об'ємом

$V_0 = 2160 \text{ м}^3$ (висота – 3 м, ширина – 4,8 м, довжина – 150 м) знайдемо головні показники валового прибутку. Валовий прибуток (B_n) залежить від обсягів зібраного врожаю – за середньої врожайності в теплиці 55 ц/га та середньорічної ціни томарів – 30 грн/кг:

$$B_n = 4,8 \cdot 150 \cdot 55 \cdot 30 = 1\,188\,000 \text{ грн/рік.}$$

Тоді чистий прибуток ($Ч_n$) становитиме :

$$Ч_n = 1\,188\,000 - 845\,881,2 = 342\,118,8 \text{ грн/рік.}$$

Рентабельність виробництва (P_{ϵ}) (у співвідношенні до загальних витрат) – $(342\,118,8/845\,881,2) \cdot 100 = 40\%$.

ВИСНОВКИ

Останніми роками загальна площа захищеного ґрунту в усіх категоріях господарств України становить майже 7069,8 га, з яких у господарствах населення розміщено 6694,6 га, або 95% від усієї їх площі, а на підприємствах різних організаційно-правових форм – 2 га, зокрема у фермерських господарствах близько 12,3 га.

Система клімат-контролю в теплиці включає набір автоматизованих засобів які можна поєднати у: 1) ситему обігріву; 2) поливу; 3) досвічування; 4) зашторювання; 5) вентиляції; 6) подачі CO₂; 7) створення штучного туману тощо. Для контролю параметрів мікроклімату використовуватися кліматичний комп'ютер з встановленим програмним забезпеченням, котре і забезпечує керування цими системами.

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. Приміщення розглядають як єдину енергетичну систему, що включає в себе опалення, вентиляцію та теплотехніку огорожувальних конструкцій.

Теплофізичний розрахунок складається з 4-х етапів: 1) складання розрахункової схеми тепло- і масообміну в приміщенні; 2) складання системи рівнянь енергетичного балансу приміщення, що відповідають прийнятій розрахунковій схемі і представляють собою фізико-математичну модель формування енергетичного режиму в теплиці; 3) приведення системи балансових рівнянь до розрахункового виду підстановкою чисельних виразів; 4) чисельний розв'язок системи балансових рівнянь.

Автоматизація режимів клімат-контролю та забезпечення відповідних параметрів мікроклімату дозволяє підтримувати в теплиці необхідні умови росту та розвитку рослин. 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.

Нами розроблено проект системи автоматизації створення і підтримання оптимального мікроклімату в теплицях площею до 1500 м². Виконано аналіз існуючих систем автоматизації теплиць і сучасних систем управління мікрокліматом, вибрано найбільш оптимальний варіанти для вирішення поставленої задачі.

Виконано теплофізичний розрахунок теплиці та запропоновано технологію забезпечення мікроклімату на вибраному об'єкті проектування. Реалізовано розрахунок теплового балансу теплиці з впровадженням геліоустановки. Запропоновано розробку електричної схеми і системи автоматичного управління вентиляцією теплиці.

Розроблено автоматизовану систему поливу на базі логічного програмованого контролера. Розроблено прикладне програмне забезпечення автоматизованої системи поливу для персонального комп'ютера.

Техніко-економічний розрахунок дав змогу встановити головні витрати на створення та функціонування системи, а відтак оцінити загальні експлуатаційні витрати на утримання теплиці – 70490 грн/міс.

Щоб виявити рентабельність функціонування теплиці під час вирощування томатів, а також окупність витрат на їх вирощування в теплиці об'ємом $V_6 = 2160 \text{ м}^3$ (висота – 3 м, ширина – 4,8 м, довжина – 150 м) визначено головні показники валового прибутку $B_n = 1\,188\,000$ грн/рік. Чистий прибуток відповідно становить $Ч_n = 342\,118,8$ грн/рік, а рентабельність виробництва $P_g = 40\%$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація процесів управління мікрокліматом тепличного. URL: <https://www.2d3d.ru/2d-galereia/automatika/465-avtomatizaciya-processov-upravleniyamikroklimatom-teplichnogo-bloka.html> (дата звернення 05.03.2025)
2. Автоматизація теплиць, квіткових господарств і оранжерей. URL: http://poltraf.ua/publications/otrasli_promyshlennosti/avtomatizatsiya_teplits_oranzherey/ (дата звернення 05.03.2025)
3. Автоматизація технологічних процесів. URL: http://studopedia.ru/3_68128_lektsiya-avtomatizatsiya-tehnologicheskikh-protsessov.html (дата звернення 15.05.2025)
4. Автоматичне регулювання споживання теплової енергії. URL: http://www.aiss33.ua/other_fotos/auto_regulate.pdf/ (дата звернення 15.05.2025)
5. Агроіндустрія закритого ґрунту: інновації та продуктивність. 2022. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/22078-ahroindustriia-zakrytoho-gruntu-innovatsii-ta-produktyvnist.html> (дата звернення 15.05.2025)
6. Гіль Л.С. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту [Текст]: в 2 ч., навч. посібник / Л.С. Гіль, А.І. Пашковський, Л.Т. Суліма. Вінниця: Нова Книга, 2008. Ч.: Закритий ґрунт. 368 с.
7. Гряник Г.М. Охорона праці / [Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. та ін.]. К. : Урожай, 2010. 273 с.
8. ДБН В.2.2-2-95. Будинки і споруди. Теплиці і парники / УкрНДІагропроект. К.,1996. 13 с.
9. Довідник нормативних документів у сфері охорони праці, пожежної безпеки, гігієни праці та соціального страхування від нещасних випадків. К.: Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України, 2009. 244 с.
10. Довідник сантехніка / І.А.Бережнов, В.Д. Кузнєцов, В.В. Медведєв та ін. Харків: Прапор, 2017. 205 с.

11. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. [5-е вид.]. Львів : Афіша, 2010. 350 с.
12. Кокорін О.Я. Установки кондиціювання повітря. Основи розрахунку і проектування. К.: Машинобудування, 2018. 264 с.
13. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. / ДБН В.2.6- 31 : 2016. К.: 2016. 96 с.
14. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві / Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев В.І. К. : Урожай, 2013. 270 с.
15. Назарова В. І. Сучасні системи опалення. 2011. 320 с.
16. Оснащення тепличних конструкцій. URL: <http://parnikiteplicity.ua/ustrojstvo/avtomatizaciya.html> (дата звернення 10.05.2025)
17. Світлова культура рослин в теплицях. URL: <http://www.greenhouses.ru/Svetokultura> (дата звернення 15.05.2025)
18. Системи автоматизації теплиць. URL: <http://automation.pro/model-projects/sistemy-avtomatizacii-teplic> (дата звернення 15.05.2025)
19. Системи електричного досвічування в теплицях. URL: <http://www.greenhouses.ru/Sistemy-dosvechivaniya> (дата звернення 15.05.2025)
20. Системи АСУ в тепличному господарстві. URL: <http://elektrocar.narod.ru/doc/4.pdf> (дата звернення 15.05.2025)
21. Системи управління мікрокліматом теплиці. URL: <http://www.fito-system.ru/climate-systems> (дата звернення 22.05.2025)
22. Сучасна теплиця: автоматизована система. URL: <http://vseoteplicah.ru/instrumenty/avtomatizaciya-teplicity-svoimi-rukami.html> (дата звернення 04.06.2025)
23. Сучасні теплиці і парники. URL: <http://mexalib.com/read/486014> (дата звернення 04.06.2025)
24. Укривні матеріали для парників і теплиць. URL: <http://stetsyuk.com.ua/> (дата звернення 04.06.2025)
25. Хазін В.Й. Будівлі і споруди агропромислового комплексу / В.Й. Хазін. К.: Вища школа, 2016. 255 с.

ДОДАТКИ

Додаток А.

Код програми для автоматичного поливу

```

const int relWPin = 3; //Пін для реле поливу
const int relCPin = 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.

Функціональний фрагмент коду програми

```

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.

```