

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

« » 2026 p.

Київ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ
І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

К.Т.Н., доцент _____ / **ОКУШКО О.В.** /
(підпис)
« _____ » _____ 2025 р

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Лєскову Назарію Ігоровичу

Спеціальність 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: „Проектні рішення з розроблення електротехнологічного обладнання для вирощування рослин за технологіями NFT у весняних теплицях ”

затверджена наказом ректора НУБіП України від 30.10.2025 №2607«С»

Термін подання завершеного роботи на кафедру 01. 06 . 2026

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

«Правила улаштування електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Перелік питань, які необхідно розробити

1. Загальна характеристика весняної теплиці.
2. Технологічна частина.
3. Електротехнічна частина.
4. Розробка автоматизованого електрообладнання для мінерального живлення рослин у теплиці.
5. Заходи з експлуатації електрообладнання і охорони праці.
6. Економічна ефективність електрифікації технологічних процесів у весняних теплицях.

Перелік графічних матеріалів

Лист 1. План силової електромережі теплиці.

Лист 2. Плівкова теплиця. Система мінерального живлення рослин.

Лист 3. Принципіальна електрична схема автомату поливання рослин.

Лист 4. Принципіальна електрична схема регулювання вологості повітря і ґрунту.

Лист 5. Схема з'єднань ящика керування вологісним режимом у теплиці.

Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ /**Синявський О. Ю.** /
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ /**Лєсков Н.І.** /

[illegible]

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕСНЯНОЇ ТЕПЛИЦІ.....	9
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Обґрунтування та вибір технологічного процесу вирощування овочів у весняних теплицях	12
2.2 Обґрунтування та вибір технологічного обладнання	14
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	16
3.1 Розрахунок електрообігріву теплиць	16
3.2. Водопостачання весняних теплиць	21
3.3. Розрахунок зовнішнього і внутрішнього освітлення весняних теплиць...	28
3.4. Розрахунок електроприводів.....	36
3.5. Розрахунок і вибір тепличної опромінювальної установки	45
3.6. Вибір апаратів керування і захисту, пультів та ящиків керування.....	52
3.7. Вибір електропроводок.....	56
3.8. Розрахунок електричних навантажень та вибір джерела живлення.....	57
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН	60
4.1. Вимоги рослин до режиму мінерального живлення	60
4.2. Вибір технологічного обладнання для гідропонного вирощування рослин.....	62
4.3. Розроблення системи автоматичного керування приготуванням і подачею живильного розчину в теплицях.....	64
4.4. Розроблення алгоритму керування приготуванням живильного розчину в блоці гідропонних теплиць	68
4.5. Розроблення принципіальних електричних схем керування приготуванням живильного розчину	77
РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ	79
5.1. Енергозбереження у весняних теплицях	79
5.2. Заходи з безпеки праці у весняних плівкових теплицях.....	81

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

РОЗДІЛ 6 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ	
ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ВЕСНЯНИХ ТЕПЛИЦЯХ.....	87
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94
ДОДАТКИ.....	97

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Свіжі овочі є важливим джерелом вітамінів, мінеральних речовин і біологічно активних компонентів, необхідних для нормального функціонування організму людини, її розвитку та підтримання здоров'я. Завдяки високій поживній цінності та відносно доступній вартості вони займають значну частку в структурі харчового раціону населення. Водночас, з урахуванням природно-кліматичних умов України, вирощування овочевих культур протягом усього року у відкритому ґрунті є неможливим, що зумовлює необхідність використання захищеного ґрунту у несезонний період.

Застосування тепличних технологій дозволяє значно подовжити період вирощування овочевих культур, забезпечуючи стабільне постачання продукції протягом року та суттєво підвищуючи загальну врожайність. Середній рівень урожайності тепличних культур в Україні сягає понад 125 тонн з 1 гектара, що значно перевищує показники відкритого ґрунту.

Структура українського тепличного виробництва характеризується переважанням овочевих культур, які становлять близько 79 % від загального обсягу продукції. Вирощування квіткових культур займає приблизно 19 %, тоді як частка грибів та фруктів становить близько 2 %. Це свідчить про орієнтацію тепличного сектору насамперед на забезпечення продовольчого ринку овочевою продукцією.

У тепличних господарствах найбільш поширеними культурами є огірки та помідори, що пояснюється їх високою споживчою популярністю та вимогливістю до стабільних параметрів мікроклімату. У відкритому ґрунті забезпечити необхідні умови для їхнього росту значно складніше, тоді як у закритому ґрунті є можливість точного регулювання температури, вологості та інших параметрів. Частка огірків на ринку становить близько 49 %, помідорів — 45 %, а інші культури займають приблизно 6 %.

За типами конструкцій в Україні переважають плівкові теплиці (весняні), частка яких становить 55,6 %. Полікарбонатні теплиці займають близько 41,7 %, тоді як скляні конструкції використовуються значно рідше — близько 2,8 %,

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що пояснюється їх високою вартістю та складністю монтажу, а також крихкістю матеріалу.

Сучасний ринок тепличної продукції характеризується динамічним розвитком, збільшенням кількості тепличних господарств та підвищенням вимог до якості вирощеної продукції. Водночас собівартість тепличної продукції залишається відносно високою. Її зниження можливе за рахунок впровадження сучасного електрообладнання, автоматизації технологічних процесів, застосування інноваційних технологій вирощування та використання мікропроцесорних систем керування мікрокліматом із високою точністю регулювання параметрів.

Важливим напрямом підвищення ефективності є також впровадження енергозберігаючих технологій, що дозволяє зменшити споживання електроенергії, води та мінеральних добрив, тим самим знижуючи загальну собівартість продукції. Електрифікація та автоматизація технологічних процесів забезпечують своєчасне виявлення відхилень параметрів, оперативне реагування на них, а також сигналізацію про несправності обладнання або вихід параметрів за допустимі межі. Це дозволяє мінімізувати втрати врожаю та підвищити загальну економічну ефективність виробництва у весняних теплицях.

Метою дослідження є обґрунтування параметрів системи електрообладнання для процесів мінерального живлення рослин у весняних теплицях, що дозволяє знизити витрати енергії, води та мінеральних добрив на 10–15 %, а також підвищити врожайність і якість овочевої продукції.

Об'єктом дослідження є процес мінерального живлення рослин у весняних теплицях. Предметом дослідження виступає структура автоматизованого електрообладнання для системи мінерального живлення рослин та параметри відповідних електротехнічних засобів керування.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано обґрунтування вибору технологічного та електротехнічного обладнання для вирощування рослин у весняних теплицях, розроблено автоматизовану систему електрообладнання для мінерального живлення, розглянуто питання електропостачання об'єкта, а

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також розроблено заходи з охорони праці. Крім того, наведено техніко-економічні показники ефективності впровадження системи автоматизованого електрообладнання у тепличному господарстві.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕСНЯНОЇ ТЕПЛИЦІ

Об'єктом проєктування є теплиця тунельного типу марки TEDEN-500, яка призначена для вирощування овочевих культур у захищеному ґрунті з можливістю регулювання основних параметрів мікроклімату. Дана конструкція забезпечує створення оптимальних умов для росту та розвитку рослин протягом вегетаційного періоду, що дозволяє підвищити врожайність та стабілізувати виробництво продукції незалежно від зовнішніх кліматичних умов.

Теплиця даного типу відзначається конструктивною простотою, енергоефективністю та можливістю інтеграції сучасних систем автоматизованого керування технологічними процесами, зокрема систем поливу, вентиляції та мінерального живлення рослин. Це забезпечує більш точне підтримання заданих агротехнічних параметрів та зменшення витрат ресурсів.

Технічні характеристики теплиці TEDEN-500 наведені в таблиці 1.1, що дозволяє оцінити її основні конструктивні параметри та експлуатаційні можливості при подальшому проєктуванні систем електропостачання та автоматизації.

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики теплиці

Параметр	Розміри, м
Ширина	10
Довжина	51
Висота в коньку	4,20
Висота по стіні	2,20
Площа, м ²	510

Металева конструкція теплиці розрахована на сприйняття експлуатаційних навантажень, зокрема вітрового навантаження зі швидкістю до 150 км/год, а також снігового навантаження до 20 кг/м² за умови експлуатації теплиці в режимі обігріву, що запобігає накопиченню снігу на її поверхні. Такий розрахунок

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує необхідну міцність та стійкість конструкції в різних кліматичних умовах експлуатації.

Як покриття теплиці використовується поліетиленова плівка зі спеціальним захистом від ультрафіолетового випромінювання та антиконденсатним шаром, що підвищує її довговічність та покращує світлопроникність. Додатково застосовується фітозахисна сітка, яка виконує функцію захисту від проникнення шкідників та комах всередину теплиці, що зменшує ризики пошкодження рослин та втрат урожаю.

Каркас теплиці виготовляється зі сталевих труб, що забезпечує високу механічну міцність і довговічність конструкції. Монтаж конструктивних елементів виконується за допомогою болтових з'єднань, що спрощує процес складання, демонтажу та подальшого обслуговування теплиці.

Система вентиляції у теплиці є природною та забезпечується конструктивними особливостями споруди. Для ефективного повітрообміну використовується вся площа бокових стін шляхом підняття поліетиленових штор, що дозволяє регулювати мікроклімат і підтримувати оптимальні умови для росту рослин без додаткових енерговитрат.

У весняній теплиці передбачено систему електрообігріву повітря та ґрунту, яка забезпечує стабільне підтримання температурного режиму протягом доби з мінімальними відхиленнями від заданих значень. Для обігріву повітря використовується електрокалорифер, що дозволяє швидко реагувати на зміну температурних умов та підтримувати необхідний мікроклімат.

Теплиці типу TEDEN-500 призначені для вирощування квіткових культур, зелені, овочів, а також ягідних культур, зокрема полуниці. Дана конструкція відноситься до промислового типу теплиць і передбачає можливість організації систем підв'язки рослин, що є важливим елементом інтенсивного технологічного вирощування.

Висота рослин у даній теплиці, зокрема томатів та огірків, може досягати до трьох метрів, що створює сприятливі умови для формування врожаю та підвищення продуктивності. Завдяки цьому забезпечується більш ефективне

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання внутрішнього об'єму теплиці, що дозволяє підвищити врожайність з 1 м² та зменшити потребу у посівних площах при збереженні загального обсягу виробництва.



Рис.1.1. Грядкове вирощування огірків у теплиці TEDEN-500.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування та вибір технологічного процесу вирощування овочів у весняних теплицях

При вирощуванні сільськогосподарських культур за технологією тонкошарової проточної культури (NFT – Nutrient Film Technique) коренева система рослин розміщується у тонкому шарі живильного розчину, який постійно циркулює по спеціально організованій системі каналів. Така організація живлення забезпечує стабільний доступ коренів до води, поживних речовин та кисню, що створює оптимальні умови для інтенсивного росту та розвитку рослин.

Застосування даного методу дозволяє досягати високих показників урожайності завдяки ефективнішому засвоєнню елементів живлення та зменшенню стресових факторів для рослин. Додатково спостерігається зниження витрат мінеральних добрив, водних ресурсів та електроенергії, що робить технологію економічно та енергетично ефективною. Використання таких екологічно безпечних рішень є особливо актуальним в умовах сучасних проблем забруднення навколишнього середовища та необхідності раціонального використання ресурсів.

Разом із перевагами, технологія NFT має певні недоліки. Зокрема, можливе швидке зниження рівня аерації кореневої зони при порушенні циркуляції розчину, а також існує ризик поширення патогенних мікроорганізмів у системі живлення. У зв'язку з цим виникає необхідність постійного контролю параметрів живильного розчину, включаючи його концентрацію, кислотність (рН) та електропровідність, а також підтримання їх у встановлених оптимальних межах за допомогою автоматизованих систем керування.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2. Вирощування рослин за технологією NFT

Для вирощування огірків у тепличних умовах необхідно забезпечувати оптимальний температурний режим, який у сонячні дні становить 25–28 °С, а в похмуру погоду — 21–23 °С. Встановлено, що для окремих сортів огірків за підтримання нічної температури не нижче 16 °С активно формуються бокові пагони, на яких зосереджується основна частина врожаю, що суттєво впливає на загальну продуктивність культури.

Оптимальна відносна вологість повітря для вирощування огірків становить 80–85 %, що забезпечує нормальний розвиток рослин та зменшує втрати вологи через транспірацію. За несприятливих погодних умов природне запилення може значно погіршуватися, тому в тепличних умовах доцільно застосовувати методи штучного запилення, що дозволяє стабілізувати процес утворення зав'язі. У зв'язку з цим підтримання стабільного мікроклімату в теплиці є одним із ключових факторів ефективного вирощування овочевих культур.

Протягом усього вегетаційного періоду огірків проводяться позакореневі підживлення рослин розчинами мікродобрих, до складу яких входять марганець, залізо та інші мікроелементи. Такі заходи позитивно впливають на фізіологічний

стан рослин, підвищують стійкість до шкідників і захворювань та сприяють збільшенню врожайності.

У весняних теплицях розвиток і досягання плодів відбувається значно швидше порівняно з умовами відкритого ґрунту, тому згідно з технологією вирощування збір урожаю огірків здійснюється через день після досягнення технічної стиглості. Це дозволяє уникнути перезрівання плодів та зберегти їх товарну якість. За такої технології вирощування в умовах обігрівних теплиць середня врожайність становить 20–25 кг з 1 м².

Для томатів у весняних теплицях також встановлюються чітко регламентовані параметри мікроклімату. Оптимальна температура повітря в сонячну погоду становить 22–26 °С, у похмуру — 20–22 °С, а в нічний період — 16–18 °С. Температура субстрату повинна підтримуватися на рівні 20–22 °С, що забезпечує нормальний розвиток кореневої системи. Відносна вологість повітря при вирощуванні томатів повинна знаходитися в межах 60–65 %, що сприяє оптимальному росту та знижує ризик розвитку грибкових захворювань.

2.2 Обґрунтування та вибір технологічного обладнання

У теплицях із малооб’ємною гідропонікою для формування та підготовки основи вирощування застосовується сучасна механізована техніка, зокрема автоматичні вирівнювальні машини з лазерним наведенням, профілювальні машини для підготовки ґрунтової основи, а також гвинтові канавокопачі системи Вейтерінгс. Використання даного обладнання забезпечує високу точність планування поверхні, рівномірність укладання субстрату та створення оптимальних умов для подальшого вирощування рослин.

Для приготування живильних розчинів застосовуються спеціалізовані автоматизовані блоки дозування та змішування, які забезпечують отримання розчинів заданого складу з води, концентрованих мінеральних добрив та кислот. Такі системи оснащуються засобами автоматичного контролю та регулювання показників рН і концентрації поживних речовин, що дозволяє підтримувати стабільні умови живлення рослин упродовж усього вегетаційного періоду.

					02.02.KP.2607”C”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для проведення загального обприскування рослин пестицидами використовується електричний обприскувач ОЗГ-120А, продуктивність якого становить 300–600 м² за зміну. У випадку локального ураження рослин шкідниками або хворобами застосовуються переносні ранцеві обприскувачі Samba ОГ-112А з об'ємом бака 12 л (маса 2,5 кг) або ОГ-115П з об'ємом бака 15 л (маса 2,9 кг), що забезпечує оперативне реагування на осередки ураження.

Додатково для стимулювання процесу запилення томатів двічі на тиждень використовується опилювач ОЦП-65 або його модифікація ОЦП-65А, який має масу 1,3 кг і продуктивність до 2200 квіток за годину. Застосування даного обладнання є найбільш ефективним у хмарну погоду, коли природне відокремлення пилку ускладнене.

Збір овочевої продукції виконується вручну із застосуванням спеціальних візків марки ТУТ-100, розрахованих на вантажопідйомність до 100 кг. Після завершення збору врожаю залишки рослинної маси також видаляються вручну з метою підготовки теплиці до наступного циклу вирощування.

Завершальним етапом технологічного циклу є дезінфекція теплиці, яка здійснюється за допомогою обприскувача ОЗГ-120А. Для видалення рослинних залишків, зокрема шпагату та вусиків зі шпалерної системи, застосовуються газові пальники. Крім того, для знезараження внутрішнього середовища теплиці використовується метод газациї шляхом спалювання сірчаних шашок, що забезпечує ефективне знищення патогенної мікрофлори та шкідників.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок електрообігріву теплиць

Теплиці можуть забезпечуватися теплом за рахунок різних джерел енергії, зокрема сонячної радіації, твердого палива (вугілля), природного газу або інших енергоресурсів. Вибір способу обігріву залежить від техніко-економічних умов, рівня автоматизації господарства та вимог до стабільності підтримання мікроклімату.

Найбільш ефективним та поширеним способом підтримання необхідної температури в тепличних умовах є технічний обігрів. Він може реалізовуватися у вигляді водяних, повітряних, електричних або комбінованих систем опалення. У даному проєкті передбачається використання електричного способу обігріву повітря за допомогою електрокалориферної установки, а також обігріву ґрунту із застосуванням нагрівального проводу типу ПОСХП, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл тепла в об'ємі теплиці.

При вирощуванні овочевих культур у теплицях необхідно забезпечувати параметри мікроклімату, які повинні відповідати вимогам нормативного документа ОНТП-СХ 10-81, що регламентує технологічне проєктування тепличних господарств. Дотримання зазначених норм є важливою умовою отримання стабільної врожайності та якісної продукції.

Для більшості овочевих культур оптимальна денна температура становить 20–25 °С, тоді як у нічний період вона повинна бути на 4–5 °С нижчою. Таке регулювання температурного режиму дозволяє уникнути перегрівання рослин, зменшити втрати вологи та забезпечити оптимальні умови фотосинтезу і росту.

При виборі нагрівальних елементів системи опалення необхідно враховувати, що їх сумарна потужність повинна забезпечувати підтримання заданого температурного режиму у всьому об'ємі теплиці, а також компенсувати теплові втрати через огорожувальні конструкції в навколишнє середовище. Це є важливою умовою стабільної роботи системи мікроклімату та енергоефективності тепличного господарства.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність нагрівної установки визначаю за формулою:

$$P = k \cdot (t_{вн} - t_{зов}) \cdot F_n \cdot 10^{-3} \quad (3.1)$$

де P – потужність електрообігріву теплиці, кВт;

k – коефіцієнт теплопередачі через плівкове перекриття, Вт/м²·°C;

$t_{вн}$ – внутрішня температура теплиці, °C;

$t_{зов}$ – зовнішня температура теплиці, °C;

F_n – площа плівкового огороження теплиці, м²;

Коефіцієнт теплопередачі через двошарове плівкове перекриття $k = 5,50$ Вт/м²·°C.

Згідно з вимогами нормативного документа ОНТП-СХ 10-81, що регламентує технологічне проектування тепличних господарств для вирощування овочевих культур і розсади, у нічний період розрахункова температура повітря всередині теплиці повинна підтримуватися на рівні 15 °C. Дотримання цього температурного режиму є необхідною умовою забезпечення нормального фізіологічного розвитку рослин, стабільної роботи системи мікроклімату та отримання якісної продукції.

Підтримання зазначеної температури дозволяє зменшити температурні коливання протягом доби, забезпечити оптимальні умови для процесів дихання та росту рослин, а також підвищити ефективність використання енергоресурсів у тепличному господарстві.

Розрахункову температуру зовнішнього повітря розраховую за формулою:

$$t_{зов} = t_{\min} - 0,5 \cdot t_{\text{сеп}} \quad (3.2)$$

де $t_{\min}, t_{\text{сеп}}$ – мінімальна і середня температури найхолоднішого місяця в період вирощування овочевої культури, °C.

Березень є найхолоднішим місяцем, $t_{\text{сеп}} = +15$ °C, мінімальна $t_{\min} = +3$ °C.

Для весняних теплиць розрахункова зовнішня температура приймається на рівні середньої температури найхолоднішого місяця за період експлуатації, з урахуванням зниження на половину максимальної добової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря. Такий підхід дозволяє більш точно врахувати

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реальні кліматичні умови експлуатації теплиці та забезпечити коректність теплотехнічних розрахунків системи обігріву.

У результаті визначення зовнішньої розрахункової температури отримують значення, яке використовується для подальших інженерних розрахунків тепловтрат через огорожувальні конструкції та вибору потужності системи опалення, що забезпечує стабільне підтримання мікроклімату в теплиці в холодний період.

$$t_{\text{зов}} = 3 - 0,5 \cdot 15 = -4,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Площу плівкового перекриття теплиці знаходжу за формулою:

$$F_n = \left(\frac{\pi \cdot a}{2}\right) \cdot b + \frac{\pi \cdot a^2}{4} \quad (3.3)$$

де a – ширина теплиці, м;

b – довжина теплиці, м.

Тоді площа плівкового перекриття:

$$F_n = \left(\frac{3,14 \cdot 10}{2}\right) \cdot 51 + \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 879,2 \text{ м}^2$$

Потужність системи електрообігріву теплиці загальною площею 510 м² дорівнює:

$$P = 5,50 \cdot (15 - (-4,5)) \cdot 879,2 \cdot 10^{-3} = 94,29 \text{ кВт}$$

Співвідношення між встановленою потужністю нагрівальних елементів, що використовуються для обігріву ґрунту та повітря в теплиці, приймається на рівні 2:1, що забезпечує більш інтенсивний прогрів кореневої зони рослин порівняно з повітряним середовищем. Такий розподіл теплової енергії є обґрунтованим з точки зору фізіологічних потреб рослин, оскільки оптимальна температура ґрунту має суттєвий вплив на розвиток кореневої системи та засвоєння поживних речовин.

Розрахунок потужності нагрівальних елементів для обігріву повітря та ґрунту виконується окремо, що дозволяє більш точно врахувати теплові втрати кожного середовища та забезпечити ефективне регулювання температурного режиму в теплиці. Такий підхід підвищує енергоефективність системи опалення

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та сприяє стабільному підтриманню необхідного мікроклімату протягом усього періоду вирощування культур.

Потужність нагрівних елементів для обігріву ґрунту:

$$P_{gp} = \frac{P_{zag}}{3} \quad (3.4)$$

$$P_{gp} = \frac{94,29}{3} = 31,43 \text{ кВт}$$

Для обігріву повітря:

$$P_{пов} = 2 \cdot P_{gp} \quad (3.5)$$

$$P_{пов} = 2 \cdot 31,43 = 62,86 \text{ кВт}$$

Для забезпечення повітряного обігріву весняної плівкової теплиці приймається до використання електрокалориферна установка серії СФОЦ, яка забезпечує ефективне нагрівання повітряного середовища та підтримання заданого температурного режиму в автоматичному або напівавтоматичному режимі роботи.

Вибір необхідної потужності електрокалорифера здійснюється на основі теплотехнічного розрахунку, який враховує тепловтрати через огорожувальні конструкції теплиці, нормативні параметри мікроклімату, а також умови зовнішнього середовища. Потрібна потужність визначається за відповідною розрахунковою формулою, що дозволяє забезпечити компенсацію втрат теплоти та стабільне підтримання температури повітря в теплиці протягом усього періоду експлуатації.

$$P_{\kappa} = \frac{P_{пов}}{\eta} \quad (3.6)$$

де η – коефіцієнт корисної дії електрокалорифера; $\eta = 0,98$;

$P_{пов}$ – розрахункова потужність установки для обігріву повітря, кВт.

$$P_{gp} = \frac{62,86}{0,98} = 64,14 \text{ кВт}$$

Вибираю електрокалорифер серії СФОЦ 60/0,5Т [31], технічна характеристика якого наведена в таблиці 3.1.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики електрокалорифера СФОЦ 60/0,5Т

Параметр	Величина
Встановлена потужність, кВт	69,7
Потужність калорифера, кВт	67,5
Кількість нагрівальних секцій, шт	3
Потужність однієї секції, кВт	22,5
Подача повітря, м ³ /с	0,9 – 1,6
Перепад температури повітря, не більше, °С	50
Аеродинамічний опір електрокалорифера, не більше Па	250
Максимально допустима температура повітря на виході, °С	50
Схема з'єднань секцій	«Зірка»
Напруга живлення, В	380



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд електрокалорифера СФОЦ 60/0,5Т.

Для забезпечення рівномірного розподілу нагрітого повітря по об'єму теплиці електрокалориферна установка розміщується у центральній частині споруди, що дозволяє зменшити нерівномірність температурного поля та підвищити ефективність теплопередачі. Розподіл повітря здійснюється за допомогою двох пластмасових перфорованих повітроводів діаметром $d = 0,25$ м,

які підвішуються до несучих елементів конструкції теплиці та забезпечують рівномірну подачу теплого повітря по всій площі вирощування.

Електрокалориферна установка може працювати як в автоматичному, так і в ручному режимах керування, що забезпечує гнучкість експлуатації та можливість оперативного реагування на зміни температурних умов. У схемі керування передбачено систему світлової сигналізації, яка інформує про ввімкнення окремих секцій калорифера та електродвигуна, що підвищує зручність контролю роботи обладнання.

Також реалізовано систему аварійного захисту, яка забезпечує автоматичне відключення установки при досягненні температури нагрівальних елементів 180 °С, що запобігає перегріву та можливому виходу з ладу обладнання. У разі вимкнення установки передбачена послідовність відключення: спочатку вимикаються нагрівальні елементи (ТЕНи), після чого з затримкою відключається електродвигун вентилятора, що сприяє ефективному охолодженню ТЕНів та підвищує ресурс їх роботи.

Регулювання температурного режиму в приміщенні теплиці здійснюється за допомогою терморегуляторів типу ТЭ-3-ПЗ та ТЭ-4-ПЗ, які забезпечують підтримання заданих параметрів мікроклімату з необхідною точністю та стабільністю.

3.2. Водопостачання весняних теплиць

Важливою умовою ефективного вирощування сільськогосподарських культур у захищеному ґрунті є підтримання вологості повітря та ґрунтового середовища на заданому агротехнічному рівні. Стабільність цих параметрів безпосередньо впливає на фізіологічний стан рослин, інтенсивність їх росту та формування врожаю.

Система зволоження ґрунту повинна забезпечувати рівномірний розподіл вологи по всій площі вирощування при мінімально можливих витратах водних ресурсів. Тривалість зрошення визначається агрономічними вимогами залежно від виду культури, фази її розвитку та необхідних значень вологості для

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормального росту. При цьому допускається нерівномірність зволоження в межах $\pm 5\%$ від заданого рівня, що є прийнятним для технологічних процесів тепличного виробництва. Додатково враховуються кліматичні умови регіону та сезонність вирощування культур.

Зволоження повітря та полив рослин здійснюється за допомогою спеціальних форсунок, встановлених у трубопровідній системі в зонах поливу. Розташування форсунок виконується таким чином, щоб забезпечити рівномірне покриття поливом усієї площі вирощування та оптимальний радіус розбризкування води без утворення пересичених або сухих зон.

Водопостачання тепличного господарства здійснюється з артезіанської свердловини, що гарантує стабільну якість води та безперебійність подачі. У системі використовується баштова схема водопостачання із застосуванням водонапірної башти типу Рожновського. Така система є економічно доцільною, оскільки забезпечує рівномірну роботу насосного обладнання, підвищує надійність водопостачання та зменшує ймовірність аварійних режимів.

Застосування водонапірної башти також дозволяє зменшити діаметри трубопроводів і магістральних мереж, що сприяє зниженню капітальних витрат на будівництво системи водопостачання та підвищенню загальної ефективності інженерної інфраструктури тепличного господарства.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

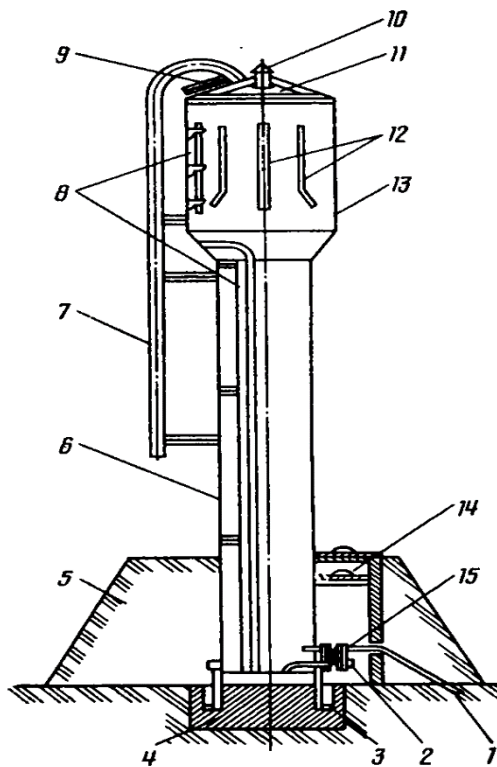


Рис. 3.2. Водонапірна башта А. А. Рожновського: 1 – напірно-розподільча труба; 2 – зливна труба; 3 – анкерні гвинти; 4 – фундамент; 5 – ґрунтова насип; 6 – колона; 7, 8 – зовнішня та внутрішня драбини; 9 – люк; 10 – вентиляційна труба; 11 – кришка бака; 12 – утримувачі криги; 13 – бак; 14 – оглядовий колодязь; 15 – засувка.

Ввід водопроводу у теплицю виконано із чавунних труб діаметром $d = 80$ мм, внутрішня частина водопроводу виконана чавунними трубами діаметром $d = 50$ мм.

Заглибні насоси підбираються на основі їх основних технічних параметрів, зокрема номінальної подачі та створюваного напору, які повинні відповідати розрахунковим вимогам системи водопостачання тепличного господарства. Правильний вибір насосного обладнання забезпечує стабільну подачу води до споживачів та ефективну роботу всієї гідравлічної системи.

При підборі насосів також враховуються умови експлуатації, глибина залягання водоносного горизонту, втрати тиску в трубопроводах та необхідний резерв продуктивності для забезпечення безперебійної роботи системи у пікові періоди водоспоживання. Це дозволяє забезпечити надійність водопостачання та підвищити енергоефективність роботи насосної установки.

Щоб визначити номінальну подачу насоса, для початку визначаємо середньодобове споживання води на полив теплиці за формулою:

$$Q_{\text{сер.д}} = Q_{\text{нор.д}} \cdot S \quad (3.11)$$

де, $Q_{\text{нор.д}}$ – добова норма поливу одного м^2 , м^3 ; $Q_{\text{нор.д}} = 15 \text{ л} = 0,015 \text{ м}^3$;

S – площа теплиці, м^2 ; $S = 510 \text{ м}^2$.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$Q_{сер.д} = 0,015 \cdot 510 = 7,65 м^3$$

Визначаємо максимальне значення годинного водопостачання теплиці за формулою:

$$Q_{max.г.} = \frac{Q_{сер.д.} \cdot \alpha_д \cdot \alpha_г}{24} \quad (3.12)$$

де, $\alpha_д$, $\alpha_г$ – коефіцієнти добової та годинної нерівномірності використання води ($\alpha_д = 1,3$; $\alpha_г = 2,5$) [15].

$$Q_{max.г.} = \frac{7,65 \cdot 1,3 \cdot 2,5}{24} = 1,1 м^3 / год$$

Для визначення повного напору насоса, необхідно визначити втрати напору в водогоні.

Швидкість руху рідини в водогоні визначаємо за формулою:

$$g = 1,27 \cdot \frac{Q_{max.г.}}{3600 \cdot d^2} \quad (3.13)$$

де, d – діаметр труби водогону, м; $d = 0,05$ м.

$$g = 1,27 \cdot \frac{1,1}{3600 \cdot 0,05^2} = 0,15 м / с$$

Втрати напору в водогоні знаходимо за формулою:

$$h = \theta \cdot \frac{L}{K^2} \cdot Q^2 \cdot k \quad (3.14)$$

де, θ – поправка на ступінь турбулентності потоку при температурі води 10 °С; Додаток Б2.

L – довжина трубопроводу водогону, м; $L = 65$ м;

K^2 – модуль витрати ділянки трубопроводу, л/с; Додаток Б1.

Q – витрата води, м³/год;

k – коефіцієнт, який враховує втрати напору в місцевих опорах трубопроводу; $k = 1,1$.

$$h = 1,46 \cdot \frac{65}{104,2} \cdot 1,1^2 \cdot 1,1 = 1,21 м$$

Повний напір насоса визначаємо за формулою:

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H = H_{ск} + H_{б} + h \quad (3.15)$$

де, $H_{ск}$ – глибина скважини, м; $H_{ск} = 100 \text{ м}$;

$H_{б}$ – висота водонапірної башти, м; $H_{б} = 15 \text{ м}$.

$$H = 100 + 15 + 1,21 = 116,21 \text{ м}$$

Для забезпечення стабільної роботи системи водопостачання тепличного господарства вибирається заглибний насос типу 1ЭЦВ6-4-130, який характеризується номінальною подачею $4 \text{ м}^3/\text{год}$ та напором 130 м. Коефіцієнт корисної дії насоса становить 57 %, що відповідає вимогам ефективної експлуатації у складі артезіанської системи водопостачання.

Підбір електродвигуна для приводу заглибного насоса здійснюється з урахуванням необхідної потужності та умов роботи у свердловині. У даному випадку приймається електродвигун типу 7ПЭДВ-2,8-140 з номінальною потужністю 2,8 кВт, який забезпечує необхідний енергетичний ресурс для стабільної роботи насосного агрегату та має відповідний запас потужності для роботи в змінних гідравлічних режимах.

Захист та керування насосним агрегатом виконується за допомогою мікропроцесорного пристрою захисту і контролю «МПЗК-50», який забезпечує комплексний захист трифазних заглибних електродвигунів від аварійних режимів роботи, а також реалізує функції автоматичного керування їх вмиканням та вимиканням. Контроль струму навантаження здійснюється за рахунок пропускання силових провідників через вбудовані вимірювальні елементи пристрою, де розміщені тороїдальні трансформатори струму, що дозволяє здійснювати точний моніторинг споживаного струму в реальному часі.

Схеми підключення пристрою «МПЗК-50» наведені в додатках В1 та В2 пояснювальної записки.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

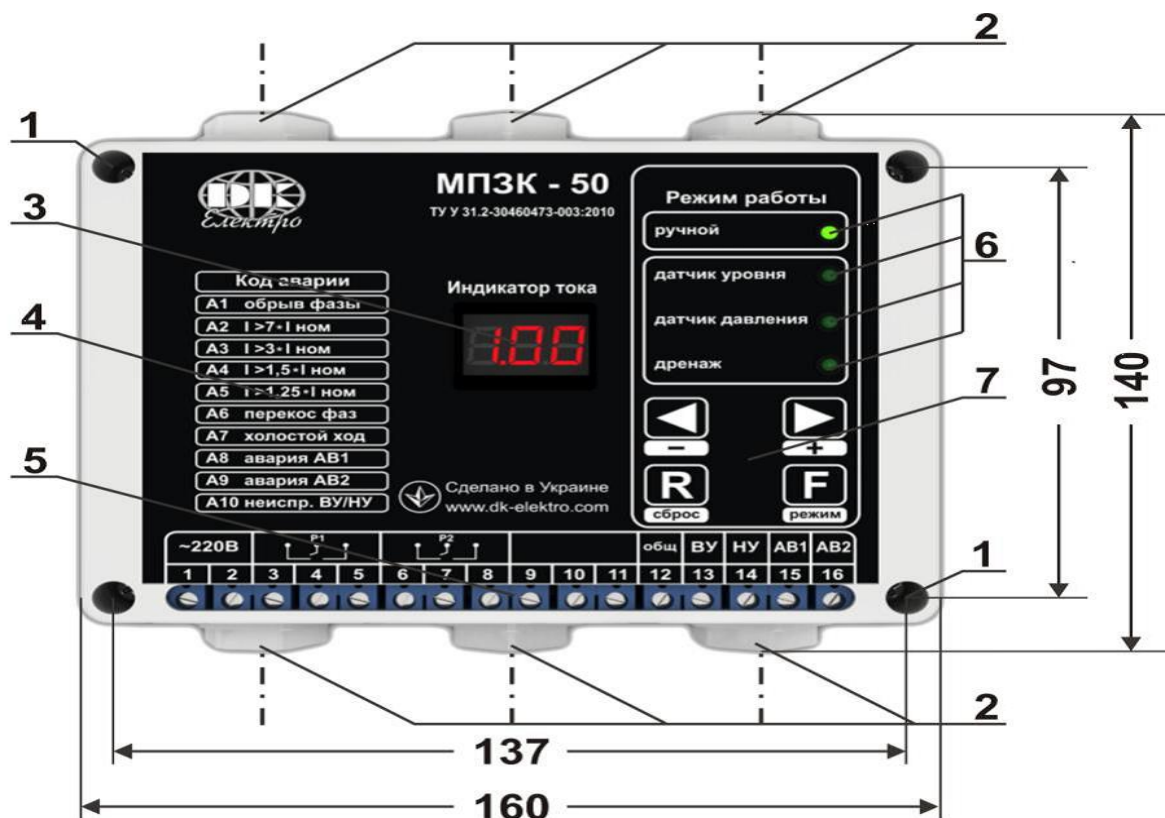


Рис.3.3. Зовнішній вигляд, габаритні та монтажні розміри: 1 – монтажні отвори; 2 – прохідні отвори для силових провідників навантаження; 3 – світлодіодний цифровий індикатор; 4 – інформаційне табло кодів аварій; 5 – клемна колодка; 6 – світлодіод режимів роботи; 7 – кнопки керування.

Для подачі води від водонагрівача до місця поливу, вибираю насос К8/18, технічні характеристики якого наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Технічні характеристики насоса К8/18

Марка насоса	Подача, Q		Напір, Н, м	ККД насоса, %	Частота обертання, об/хв	Момент інерції, кг м ²
	м ³ /год	л/с				
К8/18	8	0,002	18	53	2800	$5 \cdot 10^{-3}$

Водопідігрівач для нагрівання води поливу, вибираю типу ЕПЗ. Вода з температурою $\theta_n = 8^\circ C$ поступає зі свердловини. Потужність водонагрівача визначають за формулою:

$$P = \frac{V_c \cdot c \cdot (\theta_k - \theta_n)}{3600 \cdot t \cdot \eta} \quad (3.16)$$

де V_c – об’єм підігрітої води, = 6000 л;

c – теплоємність води, $c = 4,19$ кДж/(л·°C);

t – час нагріву води, = 1 год;

η – коефіцієнт корисної дії водонагрівача, $\eta = 0,95$;

θ_k – температура води після водонагрівача, 20 °C.

$$P = \frac{6000 \cdot 4,19 \cdot (20 - 8)}{3600 \cdot 1 \cdot 0,95} = 88,2 \text{ кВт}$$

Вибираю електродний водонагрівач типу ЕПЗ-100И2 [31], технічні характеристики водонагрівача наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики електродного водонагрівача типу ЕПЗ-100И2

Параметр	Значення
Номінальна потужність, кВт	100
Номінальна напруга живлення, В	380
Номінальний струм, А	148
Коефіцієнт корисної дії, %	95
Робочий тиск, МПа	0,4
Діапазон регулювання потужності, %	25 – 100
Максимальна температура нагрівання, °C	85
Кліматичне виконання по ГОСТ 15150-69	УХЛ4

Для керування електроводонагрівачем у системі теплопостачання використовується щит керування типу ЩУВ-1М, який забезпечує надійне керування, захист та контроль параметрів роботи обладнання. Максимальний робочий струм щита становить 150 А, номінальна напруга живлення — 380 В при частоті 50 Гц, а діапазон робочих температур експлуатації знаходиться в межах від -5 до +40 °C, що дозволяє використовувати його в умовах тепличного господарства.

До комплексу щита керування входять два термометри типу ТКП-100, які забезпечують контроль температурного режиму нагріву води. Перший термометр

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

виконує функцію основного (робочого) регулятора та підтримує температуру в заданих технологічних межах, забезпечуючи стабільну роботу системи нагріву.

Другий термометр виконує аварійну функцію та використовується як елемент захисту від перегріву. Його уставка спрацьовування встановлюється на 5–10 °С вище від значення робочого термометра, що дозволяє своєчасно відключати систему у разі виходу температури за допустимі межі та запобігати пошкодженню обладнання.

3.3. Розрахунок зовнішнього і внутрішнього освітлення весняних теплиць

За умовами навколишнього середовища теплиця відноситься до категорії особливо вологих приміщень, що необхідно враховувати при виборі електрообладнання та системи освітлення, оскільки підвищена вологість впливає на експлуатаційну надійність світлотехнічних приладів та вимоги до їх захисту.

Розрахунок штучного освітлення теплиці виконується методом коефіцієнта використання світлового потоку, який дозволяє врахувати як світлотехнічні характеристики світильників, так і особливості розміщення обладнання, відбивні властивості поверхонь та геометрію приміщення. Даний метод забезпечує більш точне визначення необхідної кількості світильників для створення нормативного рівня освітленості.

Світловий потік однієї лампи визначається за відповідною розрахунковою формулою, яка враховує задану освітленість робочої поверхні, площу приміщення, коефіцієнт запасу та коефіцієнт використання світлового потоку, що дозволяє забезпечити нормативні умови освітлення у теплиці.

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot k}{N \cdot \eta} \quad (3.17)$$

де Φ – розрахунковий світловий потік лампи;

E – нормована освітленість, лк;

S – площа освітлювального приміщення, м²;

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

κ - коефіцієнт запасу;

N – число світильників, шт;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Для освітлення коридору побутового корпусу приймаються світильники типу НСП-01, оснащені енергозберігаючими лампами, що забезпечує зниження споживання електроенергії при збереженні нормативного рівня освітленості та підвищення енергоефективності системи освітлення.

Кількість світильників у приміщенні визначається виходячи з умови забезпечення рівномірного розподілу освітленості та найдоцільнішої відносної відстані між ними, що дозволяє уникнути зон недостатнього або надмірного освітлення. При розрахунках враховуються геометричні параметри приміщення, зокрема довжина $A = 25$ м, ширина $B = 4$ м, а також розрахункова висота підвісу світильників H_p , яка визначає оптимальні умови розміщення світлотехнічного обладнання.

Такий підхід забезпечує раціональне розташування світильників, підвищує якість освітлення коридору та сприяє дотриманню нормативних вимог до штучного освітлення у службових приміщеннях.

Розрахункову висоту визначаю за формулою:

$$H_p = H - h_c - h_p \quad (3.18)$$

де H_p – розрахункова висота, м;

H – висота приміщення = 3 м;

h_c – відстань від стелі до світлового центру світильника = 0,4 м;

h_p – рівень робочої поверхні над підлогою = 0 м.

$$H_p = 3 - 0,4 - 0 = 2,6 \text{ м}$$

Для прийнятого типу світильника, на основі кривої сили світла (КСС), визначається найвигідніше значення відносної відстані між світильниками, яке характеризує оптимальне співвідношення між висотою підвісу та кроком їх встановлення для забезпечення рівномірного розподілу освітленості в приміщенні.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі цього параметра виконується подальший розрахунок розміщення світильників у плані приміщення та визначається розрахункова відстань між ними L [50], що дозволяє забезпечити нормативний рівень освітлення, рівномірність світлового потоку та економічну доцільність прийнятої системи освітлення.

$$L = H_p \cdot \lambda \quad (3.19)$$

де L – відстань між світильниками, м;

λ – найвигідніша відносна відстань = 1,6.

$$L = 2,6 \cdot 1,6 = 4,2 \text{ м}$$

Визначають кількість світильників у ряду N_a за формулою:

$$N_a = \frac{A}{L} \quad (3.20)$$

де A – довжина приміщення, м.

$$N_a = \frac{25}{4,2} = 6 \text{ шт}$$

Кількість рядів N_b визначаю за формулою:

$$N_b = \frac{B}{L} \quad (3.21)$$

де B – ширина приміщення, м.

$$N_b = \frac{4}{4,2} = 0,95 \approx 1 \text{ шт}$$

Загальну кількість світильників N визначаю за формулою:

$$N = N_a \cdot N_b \quad (3.22)$$

$$N = 6 \cdot 1 = 6 \text{ шт}$$

Коефіцієнт використання світлового потоку є одним із основних світлотехнічних параметрів, що визначає ефективність використання світла, яке випромінюється світильниками, у межах освітлюваного приміщення. Його величина залежить від типу світильника, просторового розподілу світлового

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поток, коефіцієнтів відбиття стелі, стін та робочої поверхні, а також від геометричних характеристик приміщення, зокрема індексу приміщення і [41].

Врахування зазначених факторів дозволяє більш точно оцінити частку світлового потоку, що використовується безпосередньо для створення нормативної освітленості робочих поверхонь, та забезпечити коректність подальших розрахунків системи штучного освітлення.

Індекс приміщення розраховую за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{(H_p \cdot (A + B))} \quad (3.23)$$

де H_p – розрахункова висота підвішування світильника, $H_p=2,6\text{м}$;

A і B – ширина і довжина приміщення, відповідно $A=25\text{м}$ і $B=4\text{м}$.

Тоді індекс приміщення дорівнює:

$$i = \frac{25 \cdot 4}{(2,6 \cdot (25 + 4))} = 1,28$$

Приймаю індекс приміщення рівним 1,5.

За довідниковими даними визначаємо коефіцієнт відбивання стелі $\rho=50\%$, підлоги $\rho=10\%$, стін $\rho=30\%$ [41].

За значенням прийнятого індексу приміщення $i = 1,5$ та з урахуванням обраних коефіцієнтів відбиття стелі, стін і робочої поверхні визначається коефіцієнт використання світлового потоку η . Даний коефіцієнт характеризує ефективність використання світлового потоку світильників у конкретних умовах приміщення та враховує вплив його геометричних параметрів і світловідбивних властивостей огорожувальних конструкцій.

На основі виконаних розрахунків приймається значення коефіцієнта використання світлового потоку $\eta = 0,50$, що використовується у подальших розрахунках системи штучного освітлення для визначення необхідної кількості світильників та забезпечення нормативного рівня освітленості.

Тоді світловий потік лампи дорівнює:

$$\Phi = \frac{10 \cdot 100 \cdot 1,15 \cdot 1,15}{6 \cdot 0,50} = 460,8\text{лм}$$

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За розрахованим значенням світлового потоку Φ виконується підбір стандартної лампи з найближчим нормативним світловим потоком Φ_n , який максимально відповідає отриманому розрахунковому значенню. Такий підхід забезпечує раціональний вибір джерела світла з урахуванням стандартного ряду світлотехнічного обладнання та дозволяє забезпечити необхідний рівень освітленості при мінімальних енергетичних витратах.

В якості джерела світла приймається енергозберігаюча лампа фірми «АСКО» типу T2.AS04.E27.11W, яка має світловий потік $\Phi_n = 540$ лм та номінальну потужність 11 Вт [18]. Використання даного типу ламп дозволяє зменшити споживання електроенергії та підвищити загальну енергоефективність системи штучного освітлення при збереженні нормативних світлотехнічних показників.

Визначаю фактичну освітленість E_ϕ , яку забезпечить потік вибраної лампи:

$$E_\phi = E_n \frac{\Phi_n}{\Phi_p} \quad (3.24)$$

де E_n – нормована освітленість у приміщенні, лк;

Φ_n – світловий потік вибраної лампи, лм;

Φ_p – розрахований світловий потік, лм.

$$E_\phi = 10 \frac{540}{460,8} = 11,7 \text{ лк}$$

Відповідно до чинних нормативних вимог для сільськогосподарських виробничих приміщень допускається відхилення фактичного рівня освітленості від нормованого в межах від -10% до $+20\%$ [41]. Даний діапазон відхилень враховує можливі похибки розрахунків, зміни світлотехнічних характеристик світильників у процесі експлуатації, а також вплив забруднення та старіння джерел світла.

Дотримання зазначених меж забезпечує достатній рівень освітленості для виконання технологічних процесів, збереження зорової працездатності персоналу та відповідність умов праці встановленим санітарно-гігієнічним вимогам.

					02.02.KP.2607”C”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідність допустимому відхиленню фактичного значення визначаю за формулою:

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_n}{E_n} \cdot 100\% \quad (3.25)$$

$$\Delta E = \frac{11,7 - 10}{10} \cdot 100\% = 17\%$$

Розрахункове значення відхилення +17% що знаходиться в межах -10+20%.
Отже, джерело світла вибрано правильно.

Визначаю загальну потужність світильників в приміщенні за формулою:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{л}} \cdot N_{\text{заг}} \quad (3.26)$$

де, $P_{\text{л}}$ – потужність однієї лампи, Вт;

$N_{\text{заг}}$ – кількість світильників, шт.

$$P_{\text{заг}} = 11 \cdot 6 = 66 \text{ Вт}$$

Потужність світильників чергового освітлення приймається на рівні 10 % від загальної кількості світильників, встановлених у приміщенні. Такий підхід дозволяє забезпечити мінімально необхідний рівень освітлення у режимі чергового освітлення при значному зниженні енергоспоживання та експлуатаційних витрат.

Таким чином, кількість світильників чергового освітлення становить 1 шт., що відповідає прийнятій схемі організації освітлення та забезпечує виконання базових вимог до безпеки та орієнтації в приміщенні у неробочий час.

Розрахунок для інших приміщень виконується аналогічним методом з урахуванням їхніх геометричних параметрів та функціонального призначення. Отримані результати зводяться та систематизуються у таблицю 3.5 для подальшого аналізу та використання при проектуванні системи освітлення.

Для визначення потужності та кількості світильників зовнішнього освітлення використовується нормативний показник питомої потужності, який становить 3,0 Вт/м довжини освітлюваної ділянки. Це дозволяє виконати укрупнений розрахунок зовнішнього освітлення та забезпечити необхідний рівень освітленості території підприємства.

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальну потужність зовнішнього освітлення визначаю за формулою:

$$P = P_{\text{поз.м}} \cdot l \quad (3.27)$$

де, $P_{\text{поз.м}}$ – потужність на один погонний метр довжини;

l – довжина території, м.

$$P = 0,003 \cdot 770 = 2,3 \text{ кВт}$$

Для зовнішнього освітлення вибираю світильники типу СПО-200, які монтуються на опорах. Кількість світильників – дванадцять.

Сумарну потужність світильників знаходжу за формулою:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{л}} \cdot N_{\text{заг}} \quad (3.28)$$

$$P_{\text{заг}} = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ кВт}$$

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5.

Світлотехнічна відомість

Назва приміщення	Пло- ща, м ²	Висо- та підві- су, м	Коефіцієнти відбивання, %			Нор- ма освіт- лення лк	Коефі- цієнт запасу	Світильник		Поту- жність лампи, Вт	Встано- влена потуж- ність, кВт	Пито- ма поту- жність, Вт/м ²
			Стелі	Стін	Під- логи			Тип	Кі-сть			
Коридор	100	3	50	30	10	10	1,15	НСП-01х11	6	11	0,066	0,7
Душова	30	3	50	30	10	10	1,15	НСП-01х20	2	20	0,04	1,3
Санвузол	3	3	50	30	10	10	1,15	НСП-01х11	1	11	0,011	3,6
Службове приміщення	60	3	50	30	10	50	1,15	НСП-01х100	6	100	0,6	10
Побутове приміщення	65	3	50	30	10	50	1,15	НСП-01х100	6	100	0,6	9,2
Підсобне приміщення	20	3	50	30	10	50	1,15	НСП-01х20	3	20	0,06	3

3.4. Розрахунок електроприводів

Виконується розрахунок електропривода насоса подачі живильного розчину в теплицю, який є важливою складовою системи мінерального живлення рослин. У якості насосного агрегату приймається насос марки К 8/18, що використовується для перекачування води та живильних розчинів у системах зрошення та гідропонного вирощування.

Розрахунок електропривода виконується з урахуванням необхідної подачі, напору, режиму роботи насосної установки та гідравлічних характеристик системи трубопроводів. При цьому враховуються втрати тиску, особливості технологічного процесу подачі живильного розчину, а також вимоги до стабільності та безперервності роботи системи живлення рослин.

Отримані результати дозволяють обґрунтувати вибір електродвигуна та визначити основні параметри електропривода, що забезпечує надійну та енергоефективну роботу насосного обладнання у складі автоматизованої системи теплиці.

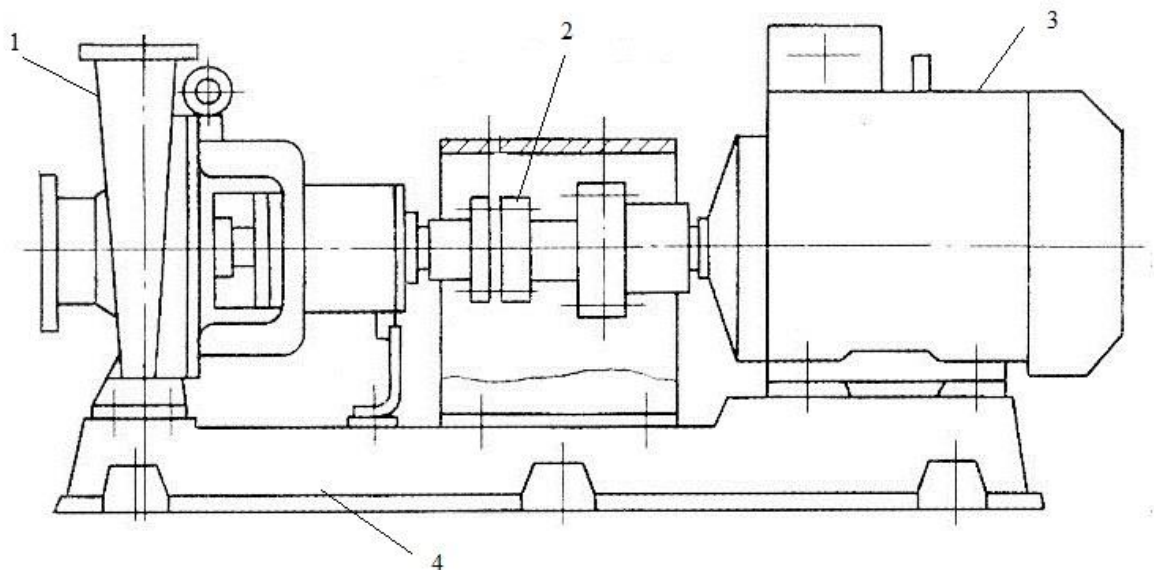


Рис. 3.4. Функціональна схема насосної установки: 1 – насос, 2 – муфта, 3 – електродвигун, 4 – рама.

Насос працює в режимі практично сталого навантаження, що обумовлено стабільними умовами подачі живильного розчину в тепличну систему. У зв'язку з цим його навантажувальна характеристика може бути віднесена до статичної.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тобто такої, що характеризується незмінністю або незначними коливаннями моменту опору в процесі роботи.

Такий режим роботи є характерним для насосних установок систем зрошення та живлення рослин, де гідравлічні параметри системи підтримуються на відносно постійному рівні. Це дозволяє спростити розрахунок електропривода та забезпечити стабільні умови експлуатації електродвигуна без різких динамічних перевантажень.

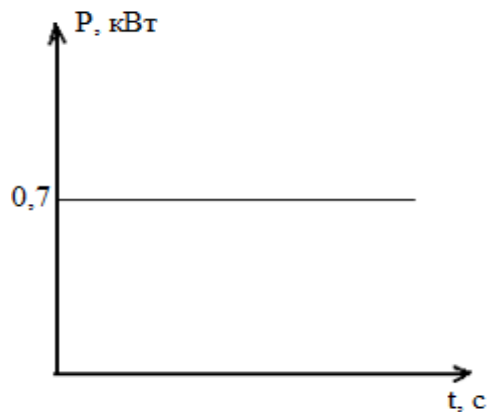


Рис. 3.5. Навантажувальна діаграма насосу.

Потужність насосу розраховується за формулою:

$$P_{\text{нас}} = \frac{Q \cdot H \cdot g \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{нас}}} \quad (3.29)$$

де Q – подача насоса, м/с; H – розрахунковий напір, м; g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\eta_{\text{нас}}$ – ККД насоса; ρ – густина рідини, що подається насосом, кг/м³.

$$P_{\text{нас}} = \frac{0,002 \cdot 18 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 10^{-3}}{0,53} = 0,7 \text{ кВт}$$

Вибір електродвигуна виконуємо за умовою:

$$P_{\text{дв.ном}} \geq P_{\text{дв.розр}} \quad (3.30)$$

Розрахункову потужність двигуна розраховуємо за формулою:

$$P_{\text{дв.розр}} = \frac{k_z \cdot P_{\text{нас}}}{\eta_{\text{пер}}} \quad (3.31)$$

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, k_3 – коефіцієнт запасу, $k_3 = 1,5$ [36];

$\eta_{пер}$ – ККД механічного передавального пристрою, ККД муфти = 1.

$$P_{дв.розр} = \frac{1,5 \cdot 0,7}{1} = 1,05 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.6.

Технічна характеристика електродвигуна приводу насоса

Параметр	Значення
Марка двигуна	АИР71В2
Потужність двигуна, кВт	1,1
Частота обертання ротора, об/хв	2800
Номінальний струм, А	2,55
Коефіцієнт корисної дії, %	79
$\cos\varphi$	0,83
Кратність пускового моменту	2,1
Кратність мінімального моменту	1,6
Кратність максимального моменту	2,2
Кратність пускового струму	6,0
Момент інерції ротора, кг·м ²	$1,1 \cdot 10^{-3}$

Механічна характеристика електродвигуна при номінальній напрузі живлення визначається на основі розрахунку його робочих параметрів у характерних режимах роботи. Для побудови даної характеристики використовують координати п'яти основних характерних точок, які відображають зміну частоти обертання залежно від електромагнітного моменту двигуна [36].

Такий підхід дозволяє з достатньою точністю описати поведінку електродвигуна в усьому діапазоні навантажень, врахувати перехідні та робочі режими, а також забезпечити коректний вибір параметрів електропривода відповідно до умов експлуатації насосної установки.

1) Точка синхронної швидкості $\omega = \omega_0$, $s = 0$, $M = 0$

$$\omega_0 = \frac{n_0 \cdot \pi}{30} \quad (3.32)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де n_0 – синхронна частота обертання, об/хв;

$$\omega_0 = \frac{3000 \cdot 3,14}{30} = 314 \text{ рад/с}$$

2) Точка номінальної швидкості $\omega = \omega_n$, $s = s_n$, $M = M_n$

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} \quad (3.33)$$

де n_n – номінальна частота обертання, об/хв;

s_n – номінальне ковзання.

$$s_n = \frac{3000 - 2800}{3000} = 0,06$$

Номінальну кутову швидкість знаходять за формулою:

$$\omega_n = \frac{n_n \cdot \pi}{30} \quad (3.34)$$

$$\omega_n = \frac{2800 \cdot 3,14}{30} = 293,6 \text{ рад/с}$$

Номінальний момент двигуна знаходять за формулою:

$$M_n = 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n} \quad (3.35)$$

де P_n – номінальна потужність двигуна, кВт.

$$M_n = 9550 \cdot \frac{1,1}{2800} = 3,45 \text{ Нм}$$

3) Точка критичного моменту $\omega = \omega_n$, $s = s_k$, $M = M_k$

Розрахункове значення критичного ковзання знаходять за формулою:

$$s_k = \frac{s_n + \sqrt{s_n \cdot \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_n \cdot \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}} \quad (3.36)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu_k}{\mu_n} \quad (3.37)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де μ_k – кратність максимального моменту двигуна;

μ_n – кратність пускового моменту двигуна.

$$\mu_1 = \frac{2,2}{2,1} = 1,05$$

$$s_k = \frac{0,06 + \sqrt{0,06 \cdot \frac{2,2-1}{1,05-1}}}{1 + \sqrt{0,06 \cdot \frac{2,2-1}{1,05-1}}} = 0,57$$

Критичну кутову швидкість знаходять за формулою:

$$\omega_k = \omega_0 \cdot (1 - S_k) \quad (3.38)$$

$$\omega_k = 314 \cdot (1 - 0,57) = 135 \text{ рад/с}$$

Значення критичного моменту двигуна знаходять за формулою:

$$M_k = \mu_k \cdot M_n \quad (3.39)$$

$$M_k = 2,2 \cdot 3,45 = 7,6 \text{ Нм}$$

4) Точка мінімального моменту $\omega = \omega_m$, $S_m = 0,8$, $M = M_m$

Кутова швидкість двигуна розраховується за формулою:

$$\omega_m = \omega_0 \cdot (1 - S_m) \quad (3.40)$$

$$\omega_k = 314 \cdot (1 - 0,8) = 63 \text{ рад/с}$$

Мінімальний момент електродвигуна розраховують за формулою:

$$M_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_n \quad (3.41)$$

$$M_{\min} = 1,6 \cdot 3,45 = 5,5 \text{ Нм}$$

5) Точка пускового моменту $\omega = 0$, $S = 1$, $M = M_n$

Пусковий момент двигуна розраховують за формулою:

$$M_n = \mu_n \cdot M_n \quad (3.42)$$

$$M_n = 2,1 \cdot 3,45 = 7,3 \text{ Нм}$$

З урахуванням допустимого відхилення моментів виконують побудову механічної характеристики.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M' = 0H_M$$

$$M'_H = 3,45H_M$$

$$M'_K = 0,9 \cdot M_K = 0,9 \cdot 7,6 = 6,84H_M$$

$$M'_{min} = 0,8 \cdot M_{min} = 0,8 \cdot 5,5 = 4,4H_M$$

$$M'_n = 0,85 \cdot M_n = 0,85 \cdot 7,3 = 6,2H_M$$

Розраховуємо механічну характеристику електродвигуна з урахуванням допустимого відхилення напруги $\Delta U = -5\%$:

$$M'' = 0H_M$$

$$M''_H = 0,9 \cdot M'_H = 0,9 \cdot 3,45 = 3H_M$$

$$M''_K = 0,9 \cdot M'_K = 0,9 \cdot 6,84 = 6,2H_M$$

$$M''_{min} = 0,9 \cdot M'_{min} = 0,9 \cdot 4,4 = 3,96H_M$$

$$M''_n = 0,9 \cdot M'_n = 0,9 \cdot 6,2 = 5,6H_M$$

Результати розрахунків заносять у таблицю 3.7.

Таблиця 3.7.

**Розрахункові дані для побудови механічних характеристик
електродвигуна**

s	0	0,06	0,57	0,8	1
ω , рад/с	314	293,6	135	63	0
M , Нм	0	3,45	7,6	5,5	7,3
M' , Нм	0	3,45	6,84	4,4	6,2
M'' , Нм	0	3	6,2	3,96	5,6

Розраховуємо механічну характеристику відцентрового насоса.

Механічна характеристика відцентрового насоса описується рівнянням [36]:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 \quad (3.43)$$

де M_c – момент статичних опорів;

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

M_0 – початковий момент, $M_0 = 0,05 \cdot M_{сн}$;

$M_{сн}$ – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості;

ω , ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості.

Момент статичних опорів насоса визначаємо за формулою:

$$M_{сн} = 9550 \cdot \frac{P_{нас}}{n_n} \quad (3.44)$$

$$M_{сн} = 9550 \cdot \frac{0,84}{2800} = 3 \text{ Нм}$$

Номінальна кутова швидкість насоса:

$$\omega_n = \frac{n_n \cdot \pi}{30} \quad (3.45)$$

$$\omega_n = \frac{2800 \cdot 3,14}{30} = 293,6 \text{ рад/с}$$

Момент зрушення насоса:

$$M_0 = 0,05 \cdot M_{сн} \quad (3.46)$$

$$M_0 = 0,05 \cdot 3 = 0,15 \text{ Нм}$$

Тоді, момент статичних опорів при різній кутовій швидкості буде дорівнювати:

$$M_c = 0,15 + (3 - 0,15) \cdot \left(\frac{\omega}{293,6}\right)^2$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 3.8.

За даними розрахунків будуємо механічні характеристики двигуна і насоса (рис.3.6).

Таблиця 3.8

Дані для побудови механічної характеристики насоса

ω , рад/с	0	40	80	120	160	200	240	280	293,6	314
M_c , Нм	0,15	0,2	0,35	0,61	0,98	1,47	2,03	2,72	3	3,29

Час пуску двигуна визначають графоаналітичним методом [36]. Для цього знаходимо динамічний момент двигуна:

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ					Арк.
										42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$M_j = M_{\partial}'' - M_c \quad (3.47)$$

Інтервал швидкостей розділяють на ділянки $\Delta\omega_i$, для кожної з яких визначають середнє значення динамічного моменту M_{jcp_i} і розраховують приріст часу:

$$\Delta t_i = \frac{j_{зв} \cdot \Delta\omega_i}{M_{jcp}} \quad (3.48)$$

де, $j_{зв}$ – зведений момент інерції привода;

Зведений момент інерції привода:

$$j_{зв} = j_{рот} + j_{нас} \quad (3.49)$$

де, $j_{рот}$ – момент інерції ротора двигуна, $j_{рот} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$j_{нас}$ – момент інерції насоса, $j_{нас} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$j_{зв} = 1,1 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Розрахунок проводять у табличній формі, результати занесені в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9

Розрахунок часу пуску приводу

$\Delta\omega_i$, рад/с	40	40	40	40	40	40	40	13,6
M_{jcp} , Нм	4,725	4,1	4,9	5,2	4,15	2,75	1,25	0,25
Δt_i , с	0,052	0,059	0,044	0,047	0,059	0,089	0,19	0,33

Час пуску привода визначаємо за формулою:

$$t_{пуску} = \sum \Delta t_i \quad (3.50)$$

$$t_{пуску} = 0,052 + 0,059 + 0,044 + 0,047 + 0,059 + 0,089 + 0,19 + 0,33 = 0,87 \text{ с}$$

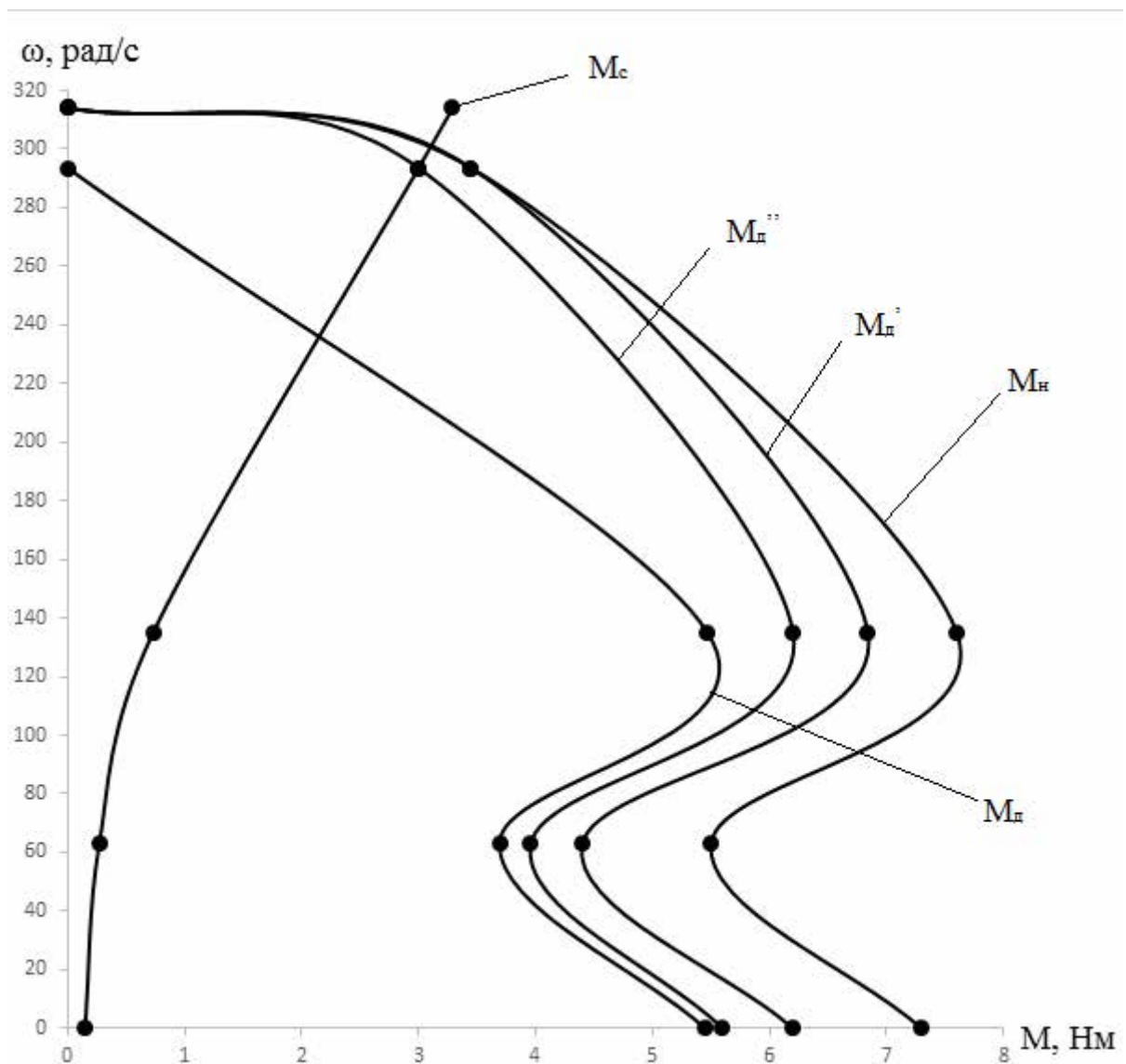


Рис. 3.6. Механічні характеристики електродвигуна та насоса

Вибраний електродвигун підлягає перевірці за тепловим режимом під час пуску, оскільки саме в цей період виникають підвищені струми, які можуть призводити до значного нагрівання обмоток та впливати на надійність і довговічність електричної машини. Така перевірка є обов'язковою складовою розрахунку електропривода і дозволяє оцінити допустимість режиму роботи двигуна в умовах пускових навантажень.

Аналіз теплового стану електродвигуна під час пуску виконується з урахуванням тривалості пускового процесу, кратності пускового струму та теплової інерції обмоток. Це забезпечує коректну оцінку теплового

навантаження та гарантує надійну експлуатацію електропривода насосної установки в заданих умовах роботи.

Визначаємо перевищення температури двигуна під час пуску за формулою [42]:

$$\tau_{\text{пуск}} = v_t \cdot t_{\text{пуску}} \quad (3.51)$$

де v_t – швидкість нагрівання двигуна, $v_t = 7,9 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$.

$$\tau_{\text{пуск}} = 7,9 \cdot 0,87 = 6,873 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допустиме перевищення температури обмоток електродвигунів серії АИР над температурою навколишнього середовища характеризує граничні теплові навантаження, при яких забезпечується надійна та безпечна експлуатація електричної машини. Даний параметр є важливою теплотехнічною характеристикою, що враховується при перевірці двигуна на теплову стійкість у різних режимах роботи.

Для двигунів типу АИР допустиме перевищення температури $t_{\text{доп}}$ приймається на рівні $80 \text{ } ^\circ\text{C}$ [36], що відповідає встановленим вимогам до ізоляційних матеріалів та забезпечує нормальний термін служби електродвигуна за умови дотримання режимів навантаження і охолодження.

Умова перевірки $\tau_{\text{пуск}} < \tau_{\text{доп}}$ виконується, двигун вибраний правильно.

3.5. Розрахунок і вибір тепличної опромінювальної установки

Нині для підвищення інтенсивності росту та розвитку рослин у тепличних господарствах широко застосовуються спеціалізовані тепличні опромінювальні установки. Їх використання дозволяє значно покращити фотосинтетичні процеси та підвищити врожайність сільськогосподарських культур, зокрема збільшити урожай огірків на 20–40 %, томатів на 15–20 %, а зелених культур, таких як салат і цибуля, на 50–70 %.

Під дією оптичного випромінювання за участю молекул води та вуглекислого газу в рослинах відбувається процес фотосинтезу, у результаті якого синтезуються органічні речовини та виділяється кисень. Це безпосередньо впливає на інтенсивність росту та формування біомаси рослин.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У тепличних опромінювальних установках переважно використовуються лампи високого тиску, які мають покращені світлотехнічні характеристики порівняно з лампами низького тиску, зокрема вищу світловіддачу та більш сприятливий спектральний склад випромінювання.

До основних вимог, що висуваються до тепличних опромінювальних установок, належать:

1. Забезпечення спектрального складу випромінювання, оптимального для процесу фотосинтезу, без негативного впливу на розвиток рослин.
2. Виключення перегріву рослин у процесі опромінення.
3. Забезпечення рівномірного розподілу світлового потоку по всій площі вирощування для стабільного росту рослин та формування зав'язі.
4. Відповідність електрообладнання вимогам безпеки експлуатації в умовах підвищеної вологості, характерних для тепличних приміщень.
5. Економічна доцільність, що передбачає мінімізацію витрат на електроенергію та технічне обслуговування.

Для опромінення рослин у тепличних умовах приймається стаціонарна опромінювальна установка типу ЖСП-400-001-УХЛ5, яка призначена для використання в теплицях та оранжереях і забезпечує інтенсифікацію росту рослин шляхом створення сприятливих умов світлового режиму.

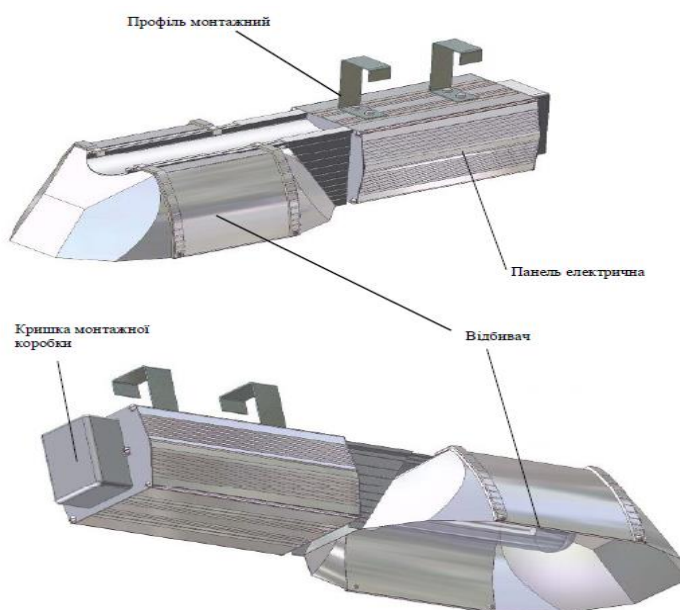


Рис. 3.7. Будова опромінювача ЖСП

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Опромінювач встановлюється на стальку, трос, горизонтальну трубу або профіль. Рекомендована висота встановлення 0,8 – 5 м.

Таблиця 3.10

Технічні характеристики опромінювача

Параметр	Значення
Тип ламп	ДНаТ
Потужність ламп, Вт	400
Напруга живлення, В	Змінний струм, 220 В
Коефіцієнт корисної дії, %	85
Коефіцієнт потужності	0,85
Ступінь захисту	IP21
Кліматичне виконання та категорія розміщення	УХЛ5

У зазначених опромінювальних установках застосовуються спеціальні газорозрядні лампи високого тиску типу SON-T AGRO (PHILIPS) або LUCALOX (GE), які характеризуються підвищеною світловіддачею та оптимізованим спектральним складом випромінювання, що є сприятливим для процесів фотосинтезу. Потужність таких ламп становить 250–600 Вт, що дозволяє підбирати їх залежно від площі теплиці та необхідного рівня опромінення.

Відбивач опромінювача виконується з алюмінію з високим коефіцієнтом відбиття, який становить до 95 %, що забезпечує ефективне спрямування світлового потоку в зону вирощування рослин та підвищує загальну ефективність установки.

Опромінювальна установка підлягає обов'язковому заземленню, яке виконується за допомогою спеціального заземлювального провідника відповідно до вимог електробезпеки для обладнання, що експлуатується в умовах підвищеної вологості.

Конструктивно опромінювач виконується з моноблочним пусковим апаратом, а схема електричних з'єднань наведена у додатку Г пояснювальної записки.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри опромінення тепличних овочевих культур регламентуються відповідними агротехнічними вимогами:

1. Для огірків і томатів рекомендований рівень опромінення становить 120 Вт/м².
2. Основні параметри підвіски опромінювачів наведені в таблиці 3.11, що забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку по площі вирощування.

Таблиця 3.11

Параметри підвіски опромінювачів

Параметри	Томати, огірки	Розсада перед посадкою	Розсада після посадки
Відстань між рядками, м	1,0	1,5...1,7	1,5...1,7
Відстань в рядку, м	1,0	0,91...1,0	0,82...2,0
Висота підвіски, м	0,6	0,9	1,3

3. Тривалість періодів і досвічування при опроміненні огірків та томатів наведено в таблиці 3.12.

4. Параметри мікроклімату для огірків та томатів наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.12

Тривалість досвічування при опроміненні розсади

Назва	Сходи	Перед посадкою	Після посадки
Огірки			
Період, дні	2...3	10...12	10...12
Тривалість дня, години	24	16	14
Томати			
Період, дні	2...3	10...12	12...15
Тривалість дня, години	24	16	14

Параметри мікроклімату для огірків та томатів

Параметр	Огірки	Томати
Температура ґрунту до сходів, °С	27	24
Температура ґрунту після сходів, °С	22	18
Температура повітря в похмурий день, °С	19...20	18...19
Температура повітря в сонячний день, °С	20...23	19...22
Температура повітря вночі, °С	18...20	15...17
Вологість повітря, %	70...75	60...70
Концентрація CO ₂ , %	0,15...0,2	0,15...0,2

Опромінювальна установка розраховується за ефективним потоком випромінювання, тобто фітопоток, який є одним із ключових показників для оцінювання придатності штучних джерел світла у тепличному рослинництві. Фітопотік характеризує ту частину енергетичного випромінювання, яка є доступною для рослин і безпосередньо використовується в процесах фотосинтезу.

Використання даного параметра дозволяє більш точно оцінити ефективність опромінювальних установок з урахуванням біологічної реакції рослин на світлове випромінювання, а також забезпечити раціональний вибір світлотехнічного обладнання для створення оптимальних умов росту та розвитку тепличних культур.

Визначаємо площу опромінення однією лампою:

$$S_{\text{опр.л}} = \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{н}}} \quad (3.52)$$

де $\Phi_{\text{л}}$ – фітопотік лампи, Фт;

$\Phi_{\text{н}}$ – нормована фітоопроміненість, Фт/м².

Для лампи ДНаТ – 400 фітопотік становить $\Phi_{\text{л}} = 62$ Фт [41].

Нормована фітоопроміненість для огірків та томатів дорівнює 8 Фт/м²

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$S_{opr.l} = \frac{62}{8} = 7,75 м^2$$

Кількість опромінювачів які необхідні для опромінення однієї теплиці 510 м², визначаємо за формулою:

$$N = \frac{S}{S_{opr.l}} \quad (3.53)$$

$$N = \frac{510}{7,75} = 65,8шт$$

Приймається до встановлення 68 опромінювачів, що забезпечує необхідний рівень світлового впливу на рослини відповідно до прийнятої схеми розміщення та розрахункових параметрів опромінення.

Опромінювачі розміщуються рядами, при цьому в кожному ряду встановлюється по 17 одиниць обладнання. Монтаж опромінювальних установок виконується на висоті 0,8 м від рівня рослин, що забезпечує оптимальну інтенсивність опромінення та рівномірний розподіл світлового потоку по площі теплиці. Відстань між рядами становить 1,5 м, а крок розміщення опромінювачів у ряду також приймається рівним 1,5 м, що дозволяє досягти рівномірності світлового поля та мінімізувати зони недостатнього освітлення.

Електроживлення опромінювальних установок здійснюється від щита керування РУ-1. При цьому передбачається групове живлення, де чотири основні групи опромінювачів поділяються на підгрупи, кожна з яких складається з чотирьох паралельно підключених опромінювачів. Така схема підключення забезпечує підвищення надійності роботи системи та спрощує її обслуговування.

Навантаження опромінювальних установок рівномірно розподіляється між фазами трифазної мережі, що дозволяє зменшити перекид фаз, підвищити стабільність роботи електричної мережі та забезпечити її енергоефективну експлуатацію.

Потужність однієї групи опромінювачів визначають за формулою:

$$P_{гр} = P_{opr} \cdot n \quad (3.54)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, P_{opr} – потужність одного опромінювача з урахуванням ПРА, кВт;
 $P_{opr}=0,43\text{кВт}$:

n – кількість опромінювачів в групі, штук; $n=17$ шт.

$$P_{ep} = 0,43 \cdot 17 = 7,31\text{кВт}$$

Струм, який споживає одна група опромінювачів, визначається за формулою:

$$I_{ep} = \frac{P_{ep} \cdot 1000}{U \cdot \cos \varphi} \quad (3.55)$$

де, $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності опромінювача; $\cos \varphi = 0,85$

$$I_{ep} = \frac{7,31 \cdot 1000}{220 \cdot 0,85} = 39\text{ А}$$

Згідно цього струму, вибираємо переріз кабелю, за умовою:

$$I_{mp.don} \geq I_{poz} \quad (3.56)$$

де, $I_{mp.don}$ – тривало допустимий струм кабелю, А;

I_{poz} – розрахунковий струм групи, А.

Для підключення групи опромінювачів вибираємо кабель ВВГ-1 (3х6).

$$I_{mp.don} = 42\text{ А} > I_{poz} = 39\text{ А}.$$

Умова електричної та навантажувальної перевірки виконується, що підтверджує правильність вибору перерізу кабельної лінії та її відповідність розрахунковим струмовим навантаженням і умовам експлуатації.

Для захисту групи опромінювальних установок застосовуються автоматичні вимикачі типу ВА-2002 3P+N B 25A, які встановлюються у щиті керування. Дане комутаційно-захисне обладнання забезпечує захист електричних кіл від перевантажень та коротких замикань, а також підвищує загальну надійність роботи системи електроживлення тепличного комплексу.

Загальна встановлена потужність опромінювальних установок у теплиці визначається на основі сумарної потужності всіх джерел випромінювання з урахуванням їх кількості та режиму роботи за відповідною розрахунковою формулою:

$$P_{zag} = P_{ep} \cdot n \quad (3.57)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, P_{ep} – потужність однієї групи опромінювачів, кВт;

n – кількість груп; $n = 4$ шт.

$$P_{заг} = 7,31 \cdot 4 = 29,3 \text{ кВт}$$

Розрахунковий струм щита керування розраховуємо за формулою:

$$I_{розр.щ.} = \frac{P_{заг} \cdot 1000}{U \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}} \quad (3.58)$$

$$I_{розр.щ.} = \frac{29,3 \cdot 1000}{380 \cdot 0,85 \cdot \sqrt{3}} = 52,4 \text{ А}$$

Для живлення щита керування вибираємо кабель марки ВВГ-1 (4х16).

$$I_{тр.доп} = 75 \text{ А} > I_{розр.щ.} = 52,4 \text{ А.}$$

Умова виконується, кабель вибрано правильно.

3.6. Вибір апаратів керування і захисту, пультів та ящиків керування

Вибір апаратів керування та захисту виконується для електропривода насоса як одного з основних елементів системи водопостачання тепличного господарства. Надійність роботи даного електропривода безпосередньо впливає на стабільність подачі живильного розчину та загальну ефективність технологічного процесу.

Для захисту електродвигуна від коротких замикань, а також від струмів перевантаження застосовуються автоматичні вимикачі відповідного типу. Їх вибір здійснюється з урахуванням електричних параметрів двигуна, умов пуску, характеру навантаження та вимог до селективності захисту згідно з нормативними вимогами [30].

- 1) за номінальною напругою автоматичного вимикача:

$$U_{ном} \geq U_{мережі}; \quad 380 \text{ В} \geq 380 \text{ В} \quad (3.59)$$

- 2) за номінальним струмом автоматичного вимикача:

$$I_{н.ав.} \geq I_{н.дв.}; \quad 6 \text{ А} \geq 2,55 \text{ А} \quad (3.60)$$

- 3) за номінальним струмом розчіплювачів максимального струму:

$$I_{н.розч.} \geq I_{н.дв.}; \quad 4 \text{ А} \geq 2,55 \text{ А} \quad (3.61)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) кратність відсічки $K_{відс} = 10$

5) кількість полюсів – 3

Перевірку вибраного вимикача здійснюють за умовою:

$$I_{відс} = K_{відс} \cdot I_{н.розч} \geq K_z \cdot K_{пу} \cdot K_{прс} \cdot K_I \cdot I_{н.дв} \quad (3.62)$$

де $I_{відс}$ – струм відсічки електромагнітного розчіплювача, А;

K_z – коефіцієнт запасу, $K_z = 1,1$;

$K_{пу}$ – коефіцієнт, що враховує розкид уставки теплового розчіплювача, $K_{пу} = 1,25$;

$K_{прс}$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення пускового струму від його каталогового значення, $K_{прс} = 1,2$;

K_I – кратність пускового струму;

$I_{н.дв.}$ – номінальний струм двигуна.

$$I_{відс} = 10 \cdot 4 = 40 \text{ А} \geq 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 6 \cdot 2,55 = 25,2 \text{ А}$$

Вибирається автоматичний вимикач серії ВА-2002 3Р+N С 6А [18], який забезпечує надійний захист електричного кола керування та відповідає розрахунковим параметрам навантаження електропривода. Застосування даного типу автоматичного вимикача дозволяє ефективно захищати обладнання від аварійних режимів роботи, зокрема від коротких замикань і перевантажень, а також підвищує загальну надійність системи електропостачання.

Електромагнітні пускачі вибираються відповідно до встановлених умов, що враховують номінальні параметри електродвигуна, характер навантаження, частоту вмикань, а також вимоги до довговічності та безпеки роботи електропривода [30].

1) за номінальною напругою магнітного пускача:

$$U_{пуск} \geq U_{мережі}; \quad 380\text{В} \geq 380\text{В} \quad (3.63)$$

2) за номінальним робочим струмом:

$$I_{н.пуск} \geq I_{н.дв}; \quad 25\text{А} \geq 2,55\text{А} \quad (3.64)$$

3) реверсивний чи нереверсивний;

4) за наявністю кнопок та сигнальних ламп;

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 5) за кількістю та типом допоміжних контактів;
 - 6) за кліматичним виконанням і категорією розміщення;
 - 7) за родом струму і напругою втягувальної котушки. $U_{кот} = U_{кола\ керування}$.
- Змінний струм, 220 В

Вибирається електромагнітний пускач серії ПМЛ 2100-О4Б [34], який забезпечує надійне комутаційне керування електродвигуном та відповідає вимогам щодо умов експлуатації електропривода. Даний тип пускача характеризується високою надійністю, тривалим ресурсом роботи та можливістю роботи у складі автоматизованих систем керування технологічним обладнанням тепличного господарства.

Застосування пускача ПМЛ 2100-О4Б дозволяє забезпечити стабільний пуск і зупинку електродвигуна, захист від перевантажень у складі системи керування, а також підвищити загальну безпеку та ефективність роботи електропривода насосного обладнання.

Електротеплові реле вибираються за умовами:

- 1) Тип реле, теплове реле вибираю типу РТЛ.
- 2) За номінальним струмом реле

$$I_{ном\ т.р.} \geq I_{н.дв.} \quad 25\text{ А} > 2,55\text{ А} \quad (3.65)$$

де $I_{ном\ т.р.}$ – номінальний струм електротеплового реле, А;

$I_{н.дв.}$ – номінальний струм електродвигуна, А.

- 3) За номінальним струмом двигуна

$$I_{рег\ макс.т.р.} \geq I_{н.дв} \geq I_{рег\ мин\ т.р.} \quad (3.66)$$

де $I_{рег\ макс. т.р.}$ і $I_{рег\ мин\ т.р.}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення діапазону регулювання струму неспрацювання теплового реле, А

$$2,4\text{ А} > 2,55\text{ А} > 4\text{ А}$$

Вибираю теплове реле серії РТЛ 1008-О4 [34].

Кнопки керування вибираю за умовами [34]:

- 1) Номінальна напруга – 220В;
- 2) Номінальний струм – 10А;
- 3) Ступінь захисту – IP40;

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 4) Кліматичне виконання – У;
- 5) Категорія розміщення – 4.

Для керування електродвигуном приймаються кнопки керування типу КЕ 011У4 [34], які забезпечують надійне оперативне керування електроприводом у складі системи автоматизації технологічного процесу. Застосування даного типу кнопочних постів дозволяє виконувати пуск і зупинку електродвигуна в ручному режимі з високим рівнем безпеки та зручності експлуатації.

Апарат керування та захисту розміщується у спеціальному ящику керування, що забезпечує захист електрообладнання від механічних пошкоджень, пилу та підвищеної вологості, характерної для умов тепличного господарства. Для встановлення обладнання обрано ящик типу Я5123-2674-51УХЛ2, який відповідає вимогам експлуатації в сільськогосподарських виробничих приміщеннях та забезпечує зручність монтажу і обслуговування електричних апаратів.

Таблиця 3.14

Основні технічні характеристики ящика керування

Рід струму	Змінний
Номінальна напруга силового кола, В	380
Частота силового кола, Гц	50
Номінальний струм ящика, А	5
Номінальний струм розчіплювача автоматичного вимикача, А	6,3
Межі регулювання струму теплового реле, А	2,4 – 4
Номінальна напруга кіл керування, В	220
Ступінь захисту ящиків за ГОСТ 14254	IP51
Кліматичне виконання та категорія розміщення	УХЛ2
Габаритні розміри, (НхЛхВ) мм	400х400х250



Рис 3.8. Ящик керування асинхронним електродвигуном серії Я5000.

3.7. Вибір електропроводок

Марку проводів і кабелів, а також спосіб їх прокладання вибирають з урахуванням умов навколишнього середовища, характеру електричних навантажень та вимог до надійності й безпеки експлуатації електроустановок [36]. При цьому враховуються такі фактори, як підвищена вологість, можливі механічні впливи, температурний режим та агресивність середовища, що є характерним для тепличних та сільськогосподарських об'єктів.

Правильний вибір кабельно-провідникової продукції та способу її прокладання забезпечує довговічність електромережі, зменшення втрат електроенергії, підвищення електробезпеки та надійності живлення технологічного обладнання протягом усього періоду експлуатації.

Проводи і кабелі вибирають за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{мр}} \quad (3.67)$$

де $I_{\text{доп}}$ – тривало допустимий струм, А;

$I_{\text{мр}}$ – максимальний тривалий робочий струм, А.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Кабелі живлення електродвигунів у процесі експлуатації піддаються впливу вібраційних навантажень, а також тривалому тепловому впливу, що виникає внаслідок проходження робочих струмів. Тому при виборі кабельно-провідникової продукції необхідно обов'язково враховувати умови механічного навантаження, нагрівання та особливості середовища експлуатації, що є характерним для тепличних комплексів та сільськогосподарських об'єктів.

Живлення електродвигуна поливного насоса здійснюється кабелем ВВГ-1 (4×2,5), який забезпечує необхідну пропускну здатність струму та відповідає умовам експлуатації в даній електроустановці.

Для підключення електропроводопідігрівача до мережі вибрано кабель типу АВВГ-1 (3×50+1×50), який розрахований на значні струмові навантаження та забезпечує надійність роботи нагрівального обладнання.

Живлення опромінювальних установок виконується кабелем ВВГ-1 (4×6), що забезпечує стабільну роботу системи штучного опромінення рослин та мінімальні втрати електроенергії в мережі.

Для освітлювальних мереж приміщень тепличного комплексу застосовується провід ППВ-1 (3×2,5), який відповідає вимогам до освітлювальних електричних мереж у виробничих приміщеннях.

Живлення систем обігріву теплиці, зокрема електрокалориферної установки та системи обігріву ґрунту, здійснюється кабелем АВВГ-1 (3×95+1×70), що розрахований на підвищені потужності та забезпечує надійну передачу електроенергії до потужних споживачів.

3.8. Розрахунок електричних навантажень та вибір джерела живлення

Сумарне електричне навантаження тепличного господарства визначається як сума потужностей усіх основних споживачів електроенергії, включаючи технологічне обладнання теплиць, системи внутрішнього та зовнішнього освітлення побутових і допоміжних приміщень, опромінювальні установки, а також системи електрообігріву повітря і ґрунту. Такий підхід дозволяє отримати

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загальну картину енергоспоживання об'єкта та забезпечити коректний вибір електропостачального обладнання.

Потужність трансформаторів споживчих трансформаторних підстанцій типу ТП-10/0,4 кВ визначається на основі розрахункового навантаження з урахуванням коефіцієнта потужності, характерного для трансформаторних підстанцій [23]. При цьому враховуються режим роботи споживачів, можливі пікові навантаження та резерв потужності, що забезпечує надійну та безперебійну роботу всіх електроприймачів тепличного господарства.

У таблиці 3.15 наведені споживачі електричної енергії тепличного господарства.

Таблиця 3.15

Споживачі електроенергії тепличного господарства

Назва споживачів електроенергії	Потужність, кВт
Електричне освітлення побутових і допоміжних приміщень	1,4
Зовнішнє освітлення	2,4
Опромінювальна установка	175,8
Електродний водонагрівач	100
Електрообігрівання повітря теплиці	418,2
Силові обладнання теплиці	3,9
Всього	701,7

Розрахункове навантаження споживачів знаходжу за формулою:

$$S_p = \frac{P_{\text{заг}}}{\cos \varphi} \quad (3.68)$$

де $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, для виробничих споживачів $\cos \varphi = 0,9$ [28].

$$S_p = \frac{701,7}{0,9} = 779,7 \text{ кВА}$$

Потужність трансформаторної підстанції вибираємо за умовою [23]:

$$S_{\text{ТП}} \geq S_p \quad (3.69)$$

							Арк.
						02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$S_{ТП} = 1000 \text{ кВА} \geq S_p = 779,7 \text{ кВА}$$

Виходячи з розрахункової сумарної потужності електроспоживачів тепличного господарства, виконується вибір комплектної трансформаторної підстанції. Для забезпечення надійного електропостачання приймається до встановлення одна трансформаторна підстанція типу КТП-1000-10/0,4-85-У1, яка відповідає вимогам експлуатації в умовах сільськогосподарського виробництва та забезпечує необхідний рівень надійності живлення споживачів.

У складі підстанції використовується силовий трансформатор типу ТМ-1000-10/0,4, що забезпечує перетворення напруги з рівня 10 кВ до 0,4 кВ та дозволяє ефективно жити всі технологічні, освітлювальні та допоміжні електроприймачі тепличного комплексу. Обране обладнання забезпечує необхідний резерв потужності та стабільну роботу електричної системи в умовах змінного навантаження.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

4.1. Вимоги рослин до режиму мінерального живлення

Найбільш важливими технологічними факторами при гідропонному вирощуванні рослин є кислотність (pH) живильного розчину, його концентрація, а також збалансованість та співвідношення поживних іонів. Саме ці параметри визначають ефективність засвоєння елементів живлення кореневою системою та безпосередньо впливають на інтенсивність росту і продуктивність рослин.

Концентрація живильного розчину має важливе фізіологічне значення, оскільки суттєво впливає на процеси поглинання води та поживних речовин коренями, інтенсивність транспірації, а також на баланс іонів у рослині та випаровування вологи з поверхні субстрату. Відхилення концентрації від оптимальних значень може призводити до порушення водно-сольового режиму та загального фізіологічного стану рослин.

Між концентрацією живильного розчину та ростом рослин спостерігається чітко виражена від'ємна кореляція. Підвищена концентрація солей у розчині призводить, з одного боку, до порушення фізіологічної рівноваги живлення, а з іншого — до збільшення осмотичного тиску, що ускладнює поглинання води кореневою системою. У результаті знижується активність коренів, уповільнюється ріст рослин, зменшуються розміри листової поверхні. Також порушується транспорт кальцію в рослині, що може спричинити фізіологічні розлади, зокрема загнивання плодів.

Дослідженнями встановлено залежність урожайності огірків і томатів від концентрації живильного розчину. Оптимальні значення становлять: для огірків — близько 1,6 г/л, для томатів — 2,2 г/л, що забезпечує найкращі показники росту та плодоношення.

Не менш важливим параметром є реакція середовища (pH) живильного розчину, яка визначає доступність поживних елементів для рослин.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимальний діапазон рН для більшості культур становить 5,5–6,5. Зокрема, для томатів оптимальним є рН 5,6–5,8, а для огірків — 5,8–6,0, що забезпечує найкращі умови мінерального живлення.

У процесі росту рослини впливають на рН живильного розчину як через виділення корневих ексудатів (вугільна кислота, органічні кислоти), так і внаслідок різної швидкості поглинання катіонів та аніонів. Це може призводити до зміщення реакції середовища в бік підкислення або підлуження, що потребує постійного контролю.

У зв'язку з цим необхідно регулярно контролювати показники рН. У випадку підлуження розчину, що є однією з основних проблем гідропонних систем, коригування здійснюється шляхом додавання ортофосфорної або азотної кислоти.

Окрему увагу приділяють також співвідношенню поживних елементів у розчині, оскільки вони знаходяться у тісній взаємодії та впливають на засвоєння один одного. Живильні розчини повинні містити всі необхідні макро- та мікроелементи у збалансованих співвідношеннях, що забезпечує нормальний розвиток рослин і високу продуктивність.

Живильні розчини можуть готуватися як робочі, так і концентровані. Найбільш зручним є використання концентрованих розчинів, які зазвичай поділяють на два компоненти (розчини А і Б) для запобігання утворенню нерозчинних сполук і випадання солей в осад.

При приготуванні робочого розчину резервуари заповнюють водою на 75–80 %, після чого додають кислоту, а потім послідовно вводять мінеральні добрива з обов'язковим перемішуванням до повного розчинення кожного компонента. Попереднє змішування добрив перед розчиненням у воді не рекомендується через ризик утворення осаду.

Під час експлуатації гідропонних систем склад живильного розчину поступово змінюється через нерівномірне поглинання елементів живлення, транспіраційні процеси та біологічну активність мікроорганізмів. За період близько шести діб вміст поживних речовин може зменшуватися на 60–70 %,

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при цьому рослини здатні відносно безболісно переносити коливання окремих компонентів у межах 20–30 %.

У зв'язку з цим у процесі експлуатації гідропонних установок контроль рН живильного розчину здійснюється кожні 2–3 доби, а 1–2 рази на тиждень проводиться хімічний аналіз основних елементів живлення з подальшим коригуванням складу шляхом внесення добрив та регулювання кислотності.

4.2. Вибір технологічного обладнання для гідропонного вирощування рослин

Вузол приготування живильного розчину в блоці гідропонних теплиць забезпечує автоматизоване приготування живильних розчинів двох складів (для огірків і томатів) із використанням концентрованих розчинів мінеральних добрив, кислоти та води. Технологічний процес здійснюється у чотирьох змішувальних резервуарах, що дозволяє забезпечити безперервність та стабільність приготування розчинів відповідно до агротехнічних вимог.

До складу розчинного вузла входить обладнання для приготування концентрованих розчинів мінеральних добрив, баки для їх зберігання (розчини А і Б для різних культур), резервуар для зберігання кислоти, насоси-дозатори для подачі концентратів та кислоти, електромагнітні клапани для керування потоками води, кислоти та робочих розчинів, а також змішувальні резервуари об'ємом 120 м³, розташовані безпосередньо у тепличних приміщеннях.

Технологічний процес приготування живильного розчину виконується за заданими рецептурами. Спочатку готуються концентровані розчини мінеральних добрив, для чого сухі добрива завантажуються у спеціальні баки зі змішувачами, де відбувається їх розчинення у воді протягом приблизно 30 хвилин. Після цього отриманий розчин перекачується насосом через фільтрувальний елемент у баки для зберігання концентратів об'ємом 4 м³. 30%-ва ортофосфорна кислота зберігається в окремому баку.

Безпосереднє приготування робочого живильного розчину здійснюється шляхом дозованої подачі кислоти та концентрованих розчинів добрив за

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою насосів-дозаторів у змішувальний резервуар через систему трубопроводів з керованими електромагнітними вентилями. Після цього до системи подається вода з водопровідної мережі до досягнення необхідного об'єму розчину.

Компоненти живильного розчину вводяться у строго регламентованій послідовності: спочатку кислота, далі концентровані розчини добрив А і Б, і в кінці — вода. Такий порядок змішування забезпечує стабільність хімічного складу розчину та запобігає утворенню нерозчинних сполук і випадінню осаду.

Конструктивне виконання розчинного вузла дозволяє реалізувати повністю автоматизований процес приготування живильного розчину. Привід насосів-дозаторів кислоти типу НД 2,5–1000/16–К14БА та насосів-дозаторів добрив НД 2,5–1600/16–К14БА здійснюється електродвигуном типу АІР100S4 (ІМ3014) потужністю 3 кВт. Для керування потоками робочих середовищ використовуються електромагнітні вентиля типу СВМ.

Система електрообладнання передбачає дистанційний та автоматичний режими керування виконавчими механізмами. Блоки керування повинні забезпечувати автоматичне приготування живильного розчину з контролем дозування компонентів, наповнення баків водою, а також безперервний контроль кислотності та електропровідності розчину з високою точністю вимірювання.

Передбачено автоматичний контроль рН розчину з похибкою не більше 0,1 од. рН та контроль концентрації з похибкою не більше 0,1 мСм/см, а також автоматичне регулювання цих параметрів з точністю $\pm 0,2$ од. рН та $\pm 0,2$ мСм/см відповідно.

Додатково система забезпечує контроль технологічного процесу приготування розчину, формування аварійних сигналів та зупинку виконавчих механізмів у разі відсутності потоку в трубопроводі або перевищення аварійного рівня в змішувальному резервуарі. Інформація про стан системи та аварійні ситуації відображається на мнемосхемі.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для реалізації функцій контролю та автоматизації використовуються відповідні первинні перетворювачі кислотності та концентрації, електродні датчики рівня (верхнього та аварійного), а також датчики потоку, встановлені на трубопроводах після електромагнітних клапанів. Датчики рівня та потоку підключаються до триканального електронного реле-сигналізатора типу ESP–50 або ЭРСУ–3, яке працює як тригерний підсилювач і забезпечує перемикання вихідних реле при зміні контрольованих параметрів.

Первинні перетворювачі рН підключаються до проміжного перетворювача типу П210, а датчики електропровідності — до кондуктометричного перетворювача типу АКК–М–01, що забезпечує точне вимірювання параметрів живильного середовища.

4.3. Розроблення системи автоматичного керування приготуванням і подачею живильного розчину в теплицях

На основі закону збереження маси та прийнятої умови ідеального змішування компонентів у резервуарі розроблено математичну модель динаміки зміни питомої електропровідності та кислотності (рН) живильного розчину. Дана модель дозволяє описати процеси формування складу розчину з урахуванням неперервної подачі вихідних компонентів та їх рівномірного розподілу в об'ємі змішувального бака.

Математичний опис базується на припущенні, що концентрація та кислотність у будь-якій точці об'єму резервуара є однаковою, що відповідає моделі ідеального змішування. Це дозволяє звести складні просторові процеси масообміну до системи диференціальних рівнянь, які характеризують зміну контрольованих параметрів у часі під дією вхідних потоків компонентів та вихідного відбору розчину.

Отримана математична модель є основою для подальшого аналізу динамічних режимів роботи системи приготування живильного розчину, а також для синтезу алгоритмів автоматичного регулювання електропровідності та кислотності в гідропонних теплицях.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{d\chi}{dt} = k_{11} \cdot G_y + k_{12} \cdot G_k, \quad (4.1)$$

$$\frac{d\Delta pH}{dt} = k_{21} \cdot G_y + k_{22} \cdot G_k, \quad (4.2)$$

де G_y – подача розчинів добрив;

G_k – подача кислоти;

$k_{11}, k_{12}, k_{21}, k_{22}$ – коефіцієнти передачі.

При використанні розчину Зонневальта та 30%-ї ортофосфорної кислоти відповідні коефіцієнти впливу на питому електропровідність і кислотність живильного розчину становлять: $0,147 \text{ См} \cdot \text{м}^{-4}$ та $-0,025 \text{ См} \cdot \text{м}^{-4}$ для електропровідності, а також $-0,033 \text{ од. рН} \cdot \text{м}^{-3}$ і $-6,5 \text{ од. рН} \cdot \text{м}^{-3}$ для показника кислотності відповідно. Зазначені параметри характеризують ступінь впливу компонентів живильного середовища на формування його електрохімічних властивостей.

У загальному випадку змішувальний резервуар розглядається як об'єкт керування з двома взаємопов'язаними каналами регулювання, що мають перемикальні зв'язки між собою. Така структура системи зумовлює наявність взаємного впливу між параметрами концентрації та кислотності, що необхідно враховувати при синтезі системи автоматичного керування.

У реальних умовах експлуатації також мають місце транспортні та ємнісні запізнення, які обумовлені часом переміщення компонентів по трубопроводах та інерційністю процесів змішування в резервуарі. У зв'язку з цим передаточні функції об'єкта керування по каналах регулювання концентрації та кислотності живильного розчину мають складний динамічний характер і можуть бути представлені відповідними математичними залежностями, що враховують інерційність та запізнення системи.

$$W_{11}(p) = \frac{k_{11}}{p} \cdot e^{-p\tau_{11}}, \quad (4.3)$$

$$W_2(p) = \frac{k_{22}}{p} \cdot e^{-p\tau_{22}}, \quad (4.4)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де τ_{11} , τ_{22} – час чистого запізнення, який складає відповідно 1,28 та 528 с.

У зв'язку з тим, що об'єкт керування характеризується значним часом транспортного запізнення, а також необхідністю дискретної (поетапної) подачі компонентів живильного розчину, найбільш доцільним є застосування імпульсного закону регулювання. Його реалізація здійснюється за допомогою релейно-імпульсного регулятора, який забезпечує керування виконавчими механізмами шляхом періодичного включення та вимикання дозуючих пристроїв.

При визначенні параметрів налаштування регулятора як критерій оптимальності приймається функціонал сумарного квадратичного відхилення регульованої величини від заданого значення. Такий підхід дозволяє мінімізувати інтегральну похибку регулювання та забезпечити високу якість перехідних процесів у системі автоматичного керування.

Шляхом мінімізації відповідного функціонала отримано аналітичний вираз для визначення оптимальної тривалості імпульсу, який використовується для налаштування параметрів релейно-імпульсного регулятора та забезпечення стабільного регулювання кислотності та електропровідності живильного розчину.

$$s = \pm \frac{\Delta}{k_{\text{вм}} \cdot k_{\text{оу}} \cdot U}, \quad (4.5)$$

де s – тривалість імпульсу;

$k_{\text{вм}}$ і $k_{\text{оу}}$ – коефіцієнт передачі відповідно виконавчого механізму та об'єкту керування;

U – напруга на вході виконавчого механізму.

Інтервал квантування по часу визначений із умови абсолютної стійкості системи, яка має дискретну передаточну функцію лінійної частини:

$$W^*(p) = \frac{k_{\text{вм}} \cdot k_{\text{оу}} \cdot k_{\text{вн}} \cdot T \cdot (e^{p \cdot (T - \tau)} - e^{p \cdot (T - \tau - 3)})}{(e^{p \cdot T} - 1)^2}, \quad (4.6)$$

де $k_{\text{вн}}$ – коефіцієнт передачі вимірювального перетворювача;

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

T – інтервал квантування по часу.

Ця умова записується у вигляді нелінійної нерівності:

$$\frac{T}{s} \cdot \sin \frac{\pi \cdot s}{2 \cdot (2 \cdot \tau + s)} + \cos \frac{\pi \cdot T}{2 \cdot \tau + s} - 1 < 0. \quad (4.7)$$

Розв'язання відповідного рівняння дозволяє визначити область допустимих значень параметра, за яких виконується умова абсолютної стійкості системи автоматичного регулювання. Таким чином забезпечується працездатність системи в межах заданих динамічних характеристик та гарантується відсутність нестійких режимів роботи.

Для системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину прийнято інтервал квантування за часом, який становить 1140 с. Даний параметр визначає період дискретизації процесу керування та впливає на точність і швидкодію системи регулювання.

Виходячи з величини часу запізнення, а також тривалості імпульсу керуючого впливу, виконано розрахунок інтервалів квантування за часом для різних каналів регулювання. Отримані значення становлять: для каналу регулювання кислотності живильного розчину — 410,1...1376,2 с, для каналу регулювання концентрації при вирощуванні огірків — 959,1...3205,1 с, а для каналу регулювання концентрації при вирощуванні томатів — 953,1...3183,4 с.

Інтервал квантування по часу визначаємо, виходячи з необхідності окремої подачі кислоти, концентрованих розчинів добрив та води:

$$T_p = 2 \cdot (2 \cdot s_o + s_k + s_e + t_{\text{вм}}), \quad (4.8)$$

де s_o – довжина імпульсів подачі концентратів добрив;

s_k – довжина імпульсу подачі кислоти;

s_e – довжина імпульсу подачі води;

$t_{\text{вм}}$ – час, необхідний для пуску та зупинки виконавчих механізмів ($t_{\text{вм}} = 60$ с).

Розрахункові значення інтервалу квантування за часом становлять: при вирощуванні огірків — 1126 с, при вирощуванні томатів — 1062 с. На основі виконаних розрахунків приймається інтервал квантування по часу 1140 с, який

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знаходиться всередині визначених областей стійкості параметра та забезпечує виконання умов абсолютної стійкості системи автоматичного регулювання.

Амплітудно-фазові частотні характеристики лінійної частини системи автоматичного керування в діапазоні частот від 0 до ... наведені на рис. 4.1 для каналів регулювання кислотності та концентрації живильного розчину. Аналіз отриманих характеристик свідчить, що система автоматичного керування параметрами живильного розчину має властивість абсолютної стійкості у всьому розрахунковому діапазоні частот, що підтверджує коректність прийнятих параметрів налаштування регулятора.

4.4. Розроблення алгоритму керування приготуванням живильного розчину в блоці гідропонних теплиць

Блок-схема алгоритму автоматичного приготування живильного розчину наведена на рис. 4.2 та відображає послідовність роботи системи керування змішувальними резервуарами. Даний алгоритм забезпечує автоматизацію процесу приготування живильного розчину з урахуванням стану виконавчих механізмів та сигналів від датчиків рівня.

Розглянемо процес приготування живильного розчину в резервуарі №1. На початковому етапі контролер здійснює аналіз стану задатчика вибору резервуара ЗР1 та сигналу від датчика верхнього рівня розчину ДВР1, який характеризує ступінь заповнення ємності.

У випадку, якщо резервуар є незаповненим та активований відповідний задатчик, система керування формує команду на відкриття електромагнітного вентиля У7, встановленого на підвідному трубопроводі, а також вентиля подачі кислоти У4. При цьому в роботу вводиться таймер, який забезпечує витримку часу, необхідну для спрацювання виконавчих механізмів, тривалістю 10 с, що гарантує коректний запуск технологічного процесу.

У разі, якщо резервуар уже заповнений живильним розчином або відповідний задатчик не активований, алгоритм передбачає перенаправлення процесу приготування до інших резервуарів відповідно до стану задатчиків

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вибору та сигналів датчиків рівня, що забезпечує безперервність та рівномірність технологічного процесу приготування живильного розчину.

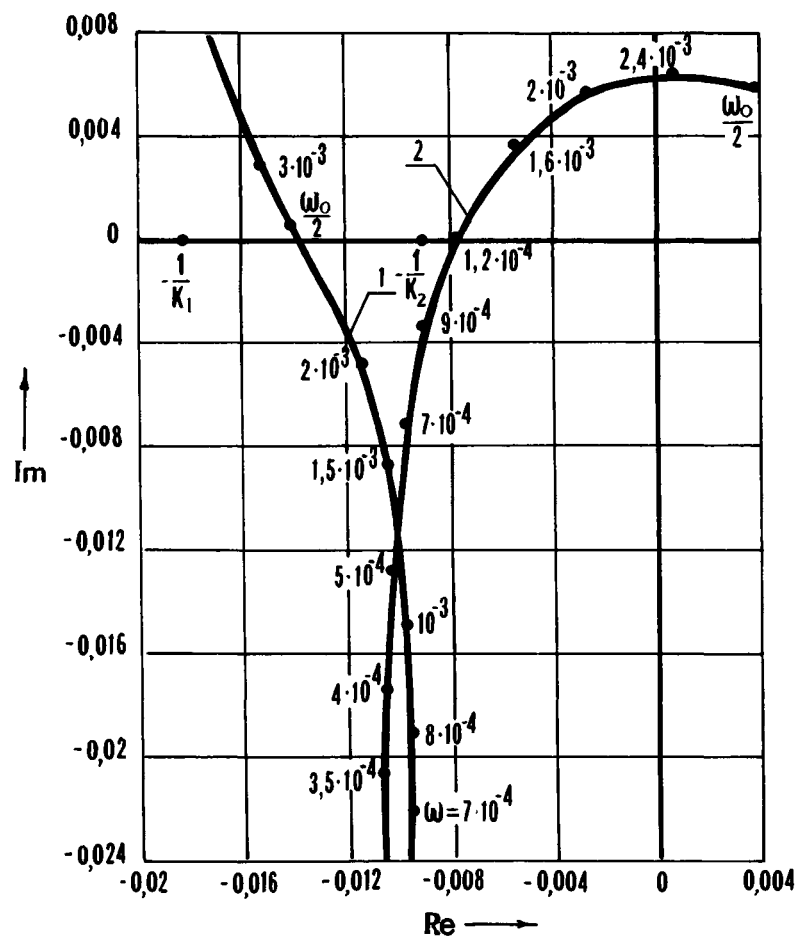


Рис. 4.1. Визначення стійкості систем автоматичного регулювання кислотності (1) та концентрації (2) живильного розчину.

Після відкриття відповідних електромагнітних клапанів контролер здійснює перевірку стану датчика потоку ДП1. У разі відсутності сигналу про наявність потоку формується аварійне повідомлення «Аварія», вмикається звукова сигналізація, а також виконується автоматичне відключення всіх виконавчих механізмів з метою запобігання виникненню аварійних режимів роботи системи.

У випадку наявності сигналу про протікання робочого середовища в системі керування вмикається насос-дозатор кислоти МЗ. При цьому програмний таймер формує витримку часу t_1 , яка відповідає заданій дозі подачі кислоти у змішувальний резервуар. Після завершення дозування насос-дозатор МЗ відключається, а також вимикається електромагнітний вентиль У4, при цьому додатково відпрацьовується витримка часу t_2 , необхідна для повного закриття вентилля (10 с), що забезпечує коректне завершення циклу подачі кислоти.

Далі, за умови наявності потоку в системі, послідовно або одночасно вмикаються насоси-дозатори мінеральних добрив. Контролер формує витримку часу t_3 , яка відповідає необхідній кількості концентрованих розчинів добрив, що подаються у резервуар відповідно до технологічної рецептури. Після завершення дозування насоси-дозатори добрив вимикаються, а через заданий інтервал часу t_4 , за умови стабільного потоку в системі, вмикається електромагнітний вентиль подачі води У1.

Подача води здійснюється до моменту заповнення резервуара, що контролюється датчиком верхнього рівня ДВР1. Після спрацювання датчика подача води припиняється, при цьому автоматично вимикаються вентиль У1 та вентиль змішувального резервуара У7. У процесі подачі всіх компонентів безперервно контролюється стан датчиків потоку та рівня розчину, і у разі виявлення відхилень (відсутність потоку або перевищення допустимого рівня) система формує аварійний сигнал «Аварія» та виконує зупинку виконавчих механізмів.

Після завершення циклу приготування живильного розчину в резервуарі №1 аналогічні операції виконуються послідовно для інших резервуарів згідно з алгоритмом роботи системи.

При приготуванні живильного розчину в змішувальні резервуари компоненти (кислота та концентровані розчини добрив) подаються в кількості, що становить приблизно 80 % від розрахункового об'єму, що

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує резерв для подальшого коригування параметрів розчину. Через одну годину після заповнення резервуара, коли завершується процес гомогенізації компонентів, вводиться в роботу система автоматичного регулювання параметрів живильного розчину, яка підтримує задані значення кислотності та електропровідності.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

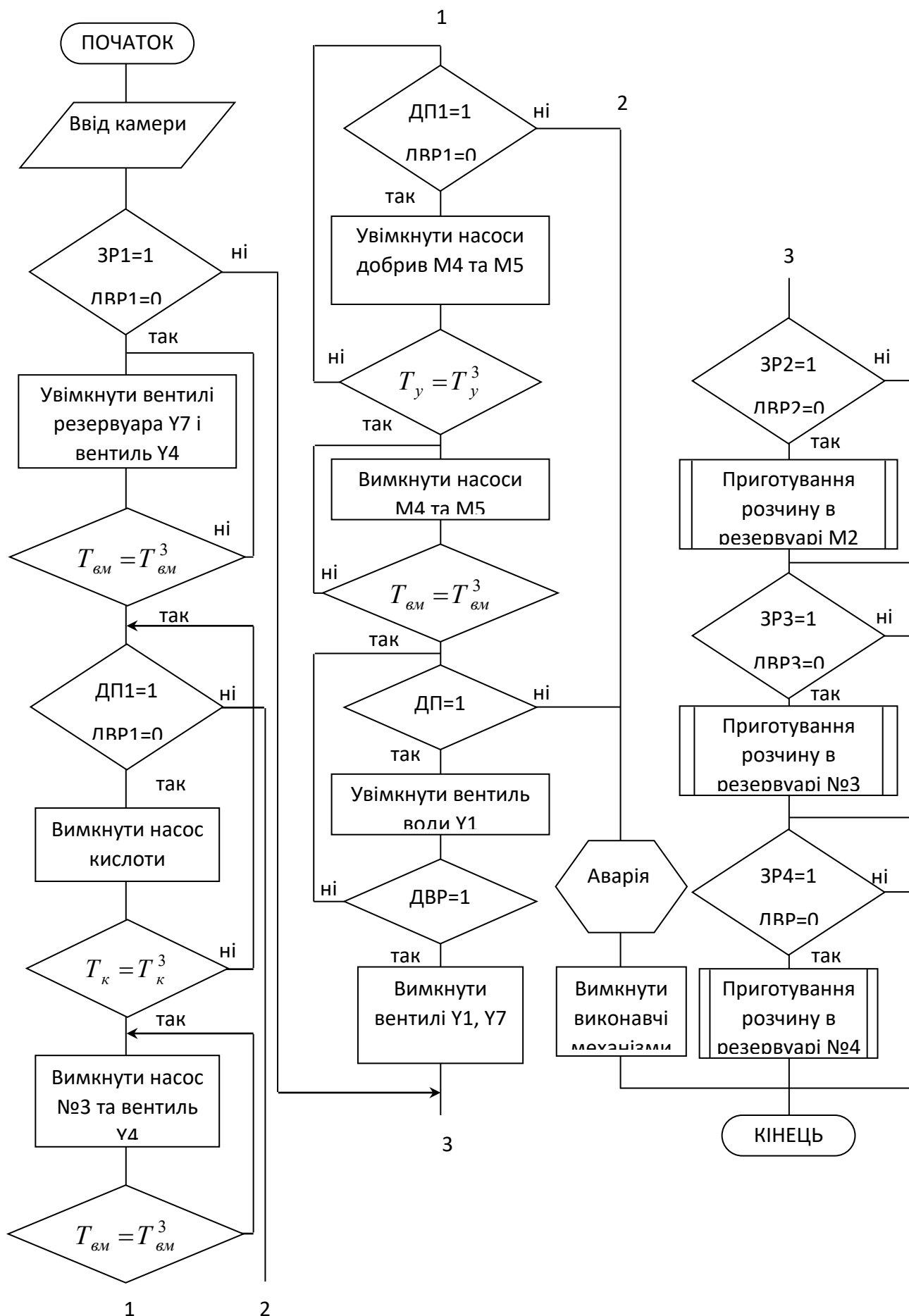


Рис. 4.2. Блок-схема алгоритму автоматичного приготування живильного розчину

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ

Арк.

72

Розглянемо процес автоматичного регулювання параметрів живильного розчину в змішувальному резервуарі №1 (рис. 4.3), який є складовою частиною системи керування гідропонною установкою. Перед початком циклу регулювання виконується опитування стану задатчика резервуара ЗР1. У разі відсутності сигналу від задатчика або при фіксації того, що контрольований процес перенесено до інших резервуарів, система автоматично виключає даний резервуар із поточного циклу регулювання.

При виявленні відхилення параметрів живильного розчину у резервуарі №1 від заданих значень система ініціює відповідні керуючі дії, зокрема вмикається електромагнітний вентиль У7, що забезпечує підключення резервуара до технологічного процесу. У випадку, якщо резервуар заповнений не повністю, та за умови наявності потоку в системі, вмикається вентиль подачі води У1, яка подається до досягнення верхнього рівня заповнення. При відсутності сигналу потоку формується аварійне повідомлення «Аварія» з одночасним відключенням виконавчих механізмів.

Далі в роботу вводиться вентиль подачі кислоти У4, при цьому попередньо вмикається вентиль подачі води У1. Таймер забезпечує витримку часу 10 с, необхідну для стабільного спрацювання виконавчих механізмів. Якщо кислотність живильного розчину знаходиться в допустимих межах, подальше регулювання здійснюється за іншим параметром — електропровідністю (концентрацією).

У випадку перевищення кислотності понад задане значення, за умови відсутності аварійного рівня та наявності потоку в системі, вмикається насос-дозатор кислоти М3, який подає дозовану порцію кислоти протягом заданого інтервалу часу τ . Після завершення дозування насос М3 вмикається, а також вмикається вентиль У4. При цьому додатково відпрацьовується затримка 10 с, необхідна для повного закриття вентиля.

Після завершення регулювання кислотності виконується аналіз значення питомої електропровідності живильного розчину. Якщо вона нижча за заданий рівень, та за відсутності аварійних умов і наявності потоку,

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вмикаються насоси-дозатори добрив M4 і M5, які забезпечують подачу концентрованих розчинів мінеральних добрив у резервуар протягом інтервалу часу τ .

Після цього насоси-дозатори вимикаються, а через заданий інтервал часу τ , за умови стабільного потоку в системі, вмикається вентиль подачі води Y1. Вода подається протягом часу, необхідного для промивки трубопроводів від залишків добрив, після чого вентиль Y1 та вентиль підключення резервуара Y7 вимикаються.

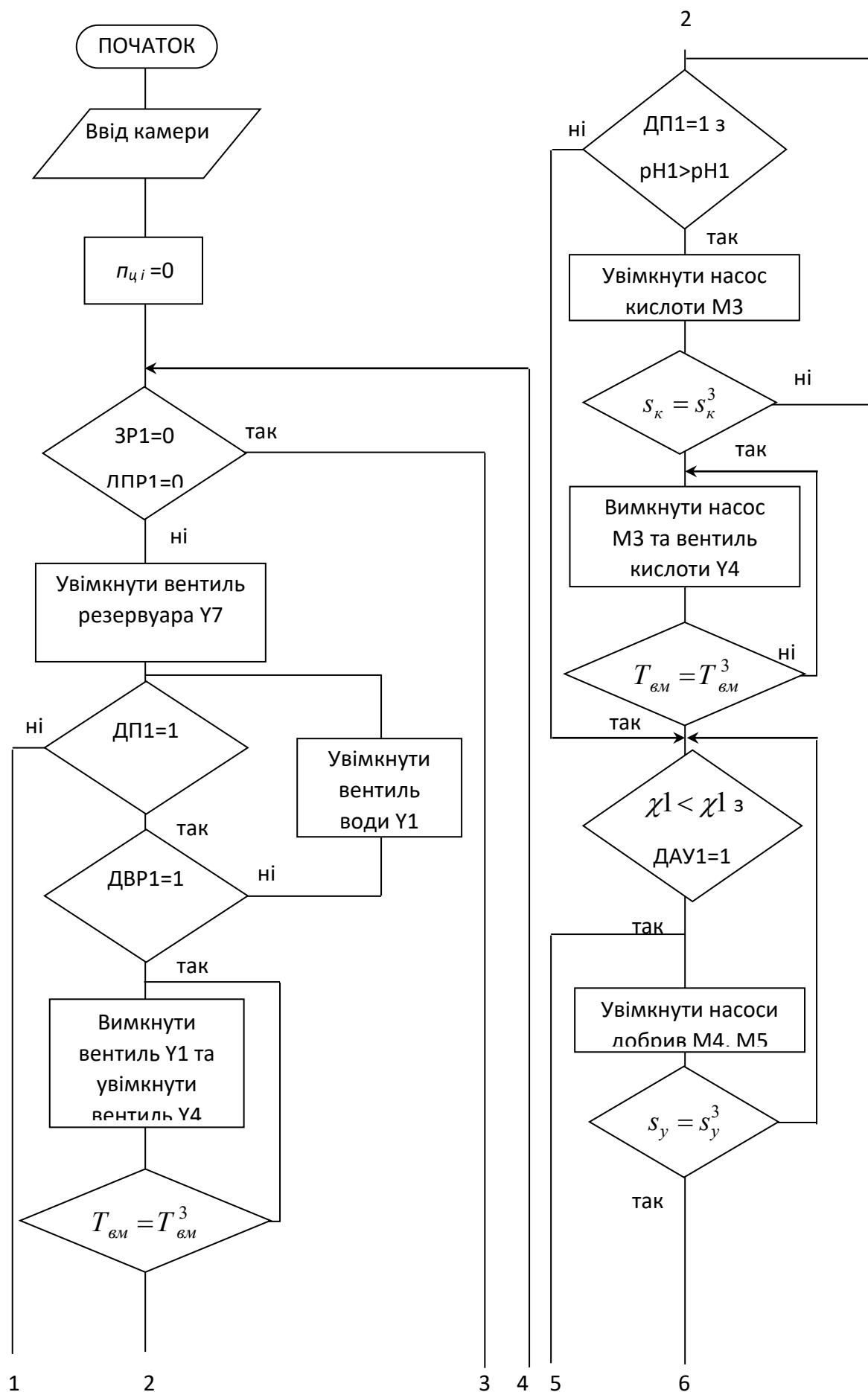
Протягом усього циклу роботи виконавчих механізмів безперервно контролюються рівень розчину в резервуарі та наявність потоку в системі. У разі перевищення аварійного рівня або відсутності потоку формується сигнал «Аварія», вмикається звукова сигналізація та виконується аварійне відключення всіх виконавчих механізмів.

Після завершення циклу подачі компонентів у резервуар №1 контролер переходить до автоматичного регулювання параметрів живильного розчину в наступних резервуарах згідно з алгоритмом роботи системи.

Регулювання параметрів у інших резервуарах здійснюється аналогічно до резервуара №1 з урахуванням їхнього поточного стану та сигналів датчиків.

Після завершення кожного циклу контролер активує таймер паузи, який формує інтервал очікування таким чином, щоб сумарний час циклу регулювання відповідав заданому інтервалу квантування. Після завершення паузи розпочинається новий цикл опитування первинних перетворювачів та керування подачею компонентів живильного розчину.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.02.KP.2607"С".25.10.30.013.ПЗ

Арк.

75

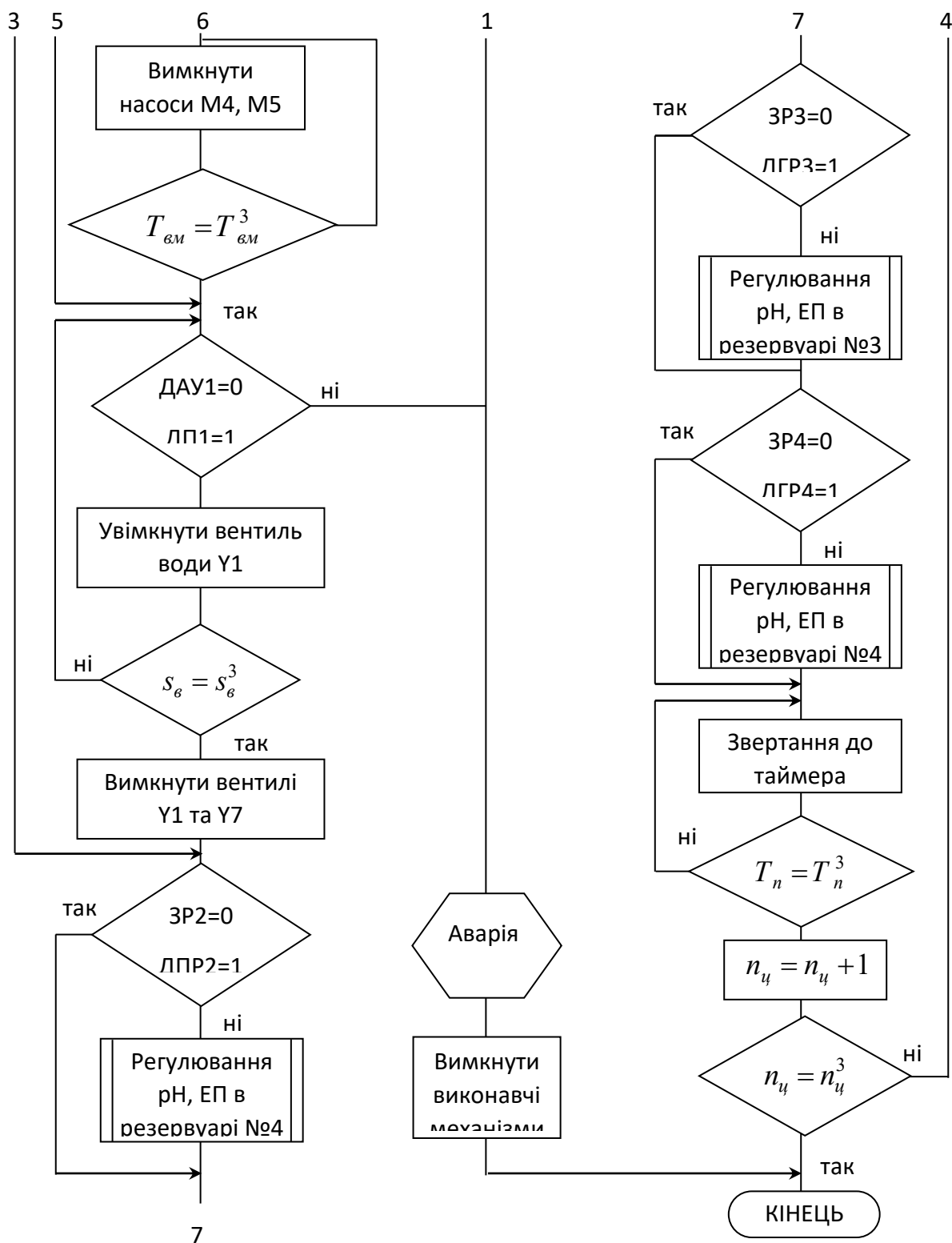


Рис. 4.3. Автоматичне регулювання живильного розчину в резервуарі №1.

4.5. Розроблення принципальних електричних схем керування приготуванням живильного розчину

Оцінивши за розробленим алгоритмом обсяг операцій, які повинна виконувати спеціалізована одноканальна мікро-ЕОМ, встановлено, що система керування забезпечує повний цикл збору, обробки та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів технологічного процесу.

Логічні операції передачі сигналів від датчиків до інформаційних входів Х2–Х4 мікроконтролера реалізуються через блок спряження контролера з датчиками, який виконує функції комутації дискретних сигналів та узгодження рівнів напруги між первинними перетворювачами та цифровою частиною системи.

Сигнал з елемента DD4 та сигнал від датчика верхнього рівня надходять на мікросхему, що реалізує логічну функцію 2АБО–НІ, після чого сформований сигнал е29 подається на вхід восьмиканального мультиплексора DD6. Аналогічним чином формуються сигнали е30–е32, які використовуються для подальшої обробки в мікроконтролері.

Схема спряження контролера з виконавчими механізмами включає оптоелектронні силові ключі А1–А6 та А8–А13, що забезпечують керування насосами-дозаторами та електромагнітними вентилями. Окремий силовий ключ А7 використовується для керування пристроєм аварійної звукової сигналізації. До складу схеми також входять дешифратори кодів керування DD1–DD3 та логічні елементи типу 2АБО–НІ, що формують необхідні керуючі сигнали відповідно до заданого алгоритму роботи.

Програмно заданий код керування виконавчими механізмами або аварійними режимами надходить із виходів контролера Y1–Y8. Коды керування Y2–Y8 подаються на входи дешифраторів DD1–DD3, на виходах яких формується сигнал, що відповідає заданій команді керування.

Виходи 0–2 дешифратора DD1 та виходи 0–6 дешифратора DD2 формують сигнали керування виконавчими механізмами, тоді як виходи 4–6 дешифратора DD1 і виходи 0–6 дешифратора DD3 використовуються для

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формування сигналів відмови відповідних виконавчих механізмів або аварійних ситуацій.

Керуючі сигнали з виходів дешифраторів надходять через логічні елементи 2АБО–НІ на вхід 7 відповідних силових ключів А. Сигнали керування по входу Y1 проходять через логічні елементи DD4.1 та DD9.4 і подаються безпосередньо на силовий ключ А13.

Кожен силовий ключ типу А містить симістор VS1, який забезпечує комутацію виконавчих механізмів. Вмикання симістора здійснюється шляхом формування сигналу відповідної полярності на базі транзистора VT2. Діодна оптопара U1 забезпечує гальванічну розв'язку між силовими та керуючими колами, підвищуючи електробезпеку та надійність системи. Діод VD1 виключає проходження зворотного струму через світлодіод оптопари. Транзистори VT3 та VT4 використовуються для підсилення керуючих сигналів.

Транзистор VT1 виконує функцію аварійного відключення оптопар ключів А1–А13 у разі виникнення аварійних режимів роботи системи.

Керуючий сигнал для транзистора VT1, а також для ключа аварійної сигналізації А7 формується на виході елемента DD4.2, на входи якого подаються сигнали Y2 та Y5, що відповідають аварійним та блокувальним режимам.

Схема передбачає можливість роботи у двох режимах керування — ручному (через кнопкові пости) та автоматичному (від мікроконтролера). Перемикання режимів здійснюється за допомогою перемикачів SA1 та SA2.

Крім того, система забезпечує захист електродвигунів насосів від струмів короткого замикання за допомогою автоматичних вимикачів, а також від перевантажень — за допомогою теплових реле. У разі відсутності потоку в трубопровідній системі спрацьовують реле контролю потоку, що додатково підвищує надійність і безпеку роботи установки.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

5.1. Енергозбереження у весняних теплицях

Перспективним напрямком енергозбереження в тепличному господарстві є впровадження технологій технічної біоенергетики, що дозволяють ефективно використовувати вторинні енергоресурси. Застосування теплових відходів промислових процесів для систем теплопостачання теплиць забезпечує суттєве зменшення капітальних вкладень приблизно на 47 %, експлуатаційних витрат — до 70 %, а також зниження витрати палива у 3–10 разів. У результаті цього собівартість продукції може зменшуватися на 5–20 %, що підвищує економічну ефективність виробництва.

Крім того, важливим напрямком є розвиток та впровадження альтернативних джерел електричної енергії. Зокрема, вітроенергетичні установки у поєднанні з електротеплоакумуляційними системами опалення дозволяють підтримувати стабільну температуру в тепличних приміщеннях на рівні 20–25 °С протягом 14–17 годин, при цьому цикл заряджання акумуляційної системи становить 7–10 годин.

Ефективним також є використання сонячної енергії для обігріву тепличних комплексів. Геліотеплиці з акумулюванням сонячної енергії обладнуються підґрунтовими каналами-акумуляторами розмірами 1×1×9 м, заповненими річковим камінням, а також вентиляційними системами з електродвигунами потужністю 2,5 кВт, які забезпечують циркуляцію нагрітого сонячною радіацією повітря. Додатково поряд з теплицею може встановлюватися геліокотельня. Використання таких конструктивних рішень дозволяє знизити витрати палива до 35 %.

З метою зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції теплиць застосовуються двошарові покриття, підвищення герметичності стиків, автоматизоване регулювання мікроклімату та поливу, а також використання світловідбивних екранів для зменшення втрат інфрачервоного випромінювання.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ущільнення стиків плівкового покриття дозволяє знизити витрати енергоресурсів на 18–20 %. Використання двошарових плівкових конструкцій з повітряним прошарком у порівнянні з одношаровими забезпечує зменшення тепловтрат на 20–30 %, а також покращує мікроклімат за рахунок зменшення конденсації вологи на внутрішній поверхні покриття. Застосування теплоутримуючих полімерних плівок додатково дозволяє підвищити температуру в теплиці на 1–3 °С.

Ефект теплового екранування полягає у відбитті інфрачервоного випромінювання від нагрівальних елементів та ґрунту, а також у формуванні додаткового повітряного прошарку, який зменшує конвективні тепловтрати. У нічний час та в періоди знижених температур ефективним є застосування теплозахисних полімерних екранів, які можуть встановлюватися як на каркасних конструкціях, так і без них. Це дозволяє знизити тепловтрати на 6–7 % при одношаровому покритті та до 15–20 % при двошаровому.

Додатково зменшенню енергоспоживання сприяє мульчування субстрату, що дозволяє підвищити температуру ґрунту на 2–6 °С, прискорити проростання культур та зменшити випаровування вологи.

Модернізація системи опалення теплиць може здійснюватися шляхом екранування нагрівальних регістрів або оптимального їх розміщення всередині тепличного простору, що підвищує ефективність теплопередачі.

Перехід від ручного до автоматичного регулювання мікроклімату забезпечує додаткову економію електроенергії на рівні 15–20 %, за рахунок більш точного підтримання заданих параметрів температури та вологості.

З метою зниження витрат електроенергії в системах освітлення та опромінення доцільним є застосування автоматичних пристроїв стабілізації напруги, що забезпечують роботу електрообладнання в номінальному режимі та зменшують втрати електроенергії.

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2. Заходи з безпеки праці у весняних плівкових теплицях

Усі види робіт у тепличному господарстві повинні виконуватися на справних машинах, механізмах та технологічних агрегатах, які відповідають вимогам чинних нормативних документів, зокрема ДСТУ 2189-93, ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.013.0-91 та ГОСТ 12.2.019-86. Усе обладнання, що використовується в тепличному комплексі, повинно мати чинні сертифікати відповідності та допуск до експлуатації у виробничих умовах. При розміщенні технологічного обладнання необхідно керуватися вимогами ДБН В.2.2-2-95 та СанПіН №5791-91, що регламентують безпечні та санітарно-гігієнічні умови експлуатації.

Територія захищеного ґрунту повинна мати достатні розміри для розміщення всіх споруд тепличного господарства, забезпечуючи зручність обслуговування та безпечні проходи. Вона повинна бути огорожена відповідно до вимог ДБН В.2.2-2-95. Зони підвищеної небезпеки підлягають обов'язковому огороженню та маркуванню попереджувальними знаками згідно з ГОСТ 12.4.026-76.

Зберігання пестицидів і хімічних речовин здійснюється у спеціально обладнаних складах відповідно до вимог ДНАОП 0.03-1.12-98. Приміщення для приготування робочих розчинів пестицидів та добрив повинні бути обладнані ефективними витяжними системами вентиляції відповідно до ГОСТ 12.4.021-75 та СНіП 2.04.05-91, що забезпечує видалення шкідливих парів і підтримання безпечного повітряного середовища.

Територія тепличного комплексу повинна мати достатній рівень освітленості проїздів, доріг та робочих майданчиків згідно з вимогами СНіП II-4-79. Електричне освітлення виконується відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), що гарантує безпечну експлуатацію електромереж.

У тепличному господарстві наявні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть призводити до травмування обслуговуючого персоналу. До них належать гаряча вода та пара, підвищена температура елементів систем обігріву, випромінювання від опромінювальних установок, а також підвищена

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

концентрація газів, парів пестицидів і продуктів їх розпаду у повітрі. Джерелами цих факторів є зовнішні кліматичні умови, технологічне обладнання систем обігріву повітря та ґрунту, обладнання для внесення добрив, установки підігріву води, а також системи, що працюють під тиском.

Після проведення обробки теплиць пестицидами приміщення необхідно закривати, обмежувати доступ персоналу та встановлювати попереджувальні знаки безпеки. Відповідно до вимог ДНАОП 0.03-1.12-98 усі операції з використання пестицидів обов'язково фіксуються в спеціальному обліковому журналі.

Роботи з використанням хімічних речовин виконуються лише спеціально підготовленим персоналом, який забезпечується необхідними засобами індивідуального захисту, інструментом та обладнанням відповідно до вимог безпеки.

Під час збирання врожаю необхідно суворо дотримуватися вимог ДНАОП 0.03-3.28-93. Тара для збирання та транспортування овочевої продукції повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.3.010-82, що забезпечує її безпечну та надійну експлуатацію.

При виконанні будь-яких робіт у теплицях обов'язковим є попереднє вимкнення опромінювальних установок для запобігання ураженню персоналу оптичним випромінюванням.

Роботи, пов'язані з експлуатацією електричних машин та обладнання у захищеному ґрунті, повинні виконуватися відповідно до вимог ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.030-81, ДНАОП 0.00-1.21-98, ПУЕ та ПТЕ. Відповідальність за безпечну експлуатацію електрообладнання покладається на осіб, призначених відповідальними за електрогосподарство підприємства.

Для забезпечення безпеки персоналу під час обслуговування електроустановок необхідно передбачити:

- надійне заземлення корпусів обладнання та вимірювальних приладів;
- захист електричних кіл від перевантажень і коротких замикань;
- захист ізоляції струмоведучих частин від механічних пошкоджень;

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- встановлення попереджувальних знаків і плакатів безпеки (ГОСТ 12.4.026-76);
- наявність експлуатаційної документації, інструкцій та електричних схем;
- забезпечення персоналу засобами індивідуального та колективного захисту.

Ручні електричні машини, що застосовуються у весняних теплицях, повинні підключатися через розподільчі трансформатори з метою зниження ризику ураження електричним струмом. У схемах керування передбачається постійний контроль кола занулення електроінструменту. Пристрої автоматики та системи контролю виконуються на пониженій напрузі та характеризуються малою споживаною потужністю.

Споруди захищеного ґрунту, обладнані системами електрообігріву ґрунту та повітря, належать до об'єктів підвищеної електричної небезпеки, що вимагає суворого дотримання правил електробезпеки та регулярного контролю стану електрообладнання.

За умовами забезпечення електробезпеки тепличні господарства поділяються на дві основні категорії — А та Б, що визначаються рівнем напруги живлення електрообладнання та способом організації електрообігріву ґрунту і повітря.

До категорії А відносяться теплиці, в яких живлення електрообладнання здійснюється напругою вище 65 В, а системи підігріву ґрунту та повітря можуть виконуватися із застосуванням неізольованих електронагрівальних елементів. До таких систем належать електродні та елементні нагрівальні пристрої, а також системи підігріву ґрунту з використанням нагрівальних проводів типу ПОСХВ та ПОСХП без застосування металевих екрануючих сіток, що підвищує вимоги до електробезпеки персоналу.

До категорії Б відносяться споруди захищеного ґрунту, в яких живлення електроспоживачів здійснюється напругою нижче 65 В. У випадку використання нагрівних провідників типу ПОСХВ та ПОСХП із застосуванням металевої екрануючої сітки допускається підвищення напруги живлення системи обігріву

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

понад 65 В, оскільки екранування значно знижує ризик ураження електричним струмом.

У тепличних комплексах категорично забороняється виконувати будь-які роботи у спорудах закритого ґрунту категорії А за умови, що електроустановки перебувають під напругою. У спорудах категорії Б допускається виконання робіт при ввімкненій системі електрообігріву, однак при цьому персонал зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема електроінструмент з діелектричними ручками, гумове взуття (калоші) та діелектричні рукавиці.

Занурення електроінструменту в ґрунт дозволяється на глибину не більше 25 см з метою виключення пошкодження ізоляції та ураження електричним струмом. Опір ізоляції нагрівних елементів відносно землі, корпусу та між фазами повинен становити не менше 0,5 МОм, що є обов'язковою умовою безпечної експлуатації систем електрообігріву.

На опромінювальні установки подається напруга 220 В змінного струму, у зв'язку з чим забороняється їх експлуатація без заземлення, а також виконання монтажу, ремонту чи технічного обслуговування під напругою. Під час заміни ламп необхідно попередньо вимкнути установку та витримати паузу 10–15 хвилин для її охолодження, оскільки температура ртутних газорозрядних ламп у робочому режимі може досягати +400 °С, що створює ризик термічних опіків.

Під час експлуатації систем водопостачання у захищеному ґрунті необхідно керуватися вимогами ГОСТ 12.3.006-75, що регламентує безпечну організацію робіт із водопровідними системами.

Обслуговування систем дощування, подачі пестицидів та внесення добрив виконується відповідно до вимог ДНАОП 0.03-1.12-98 та ДНАОП 0.03-1.08-73, які визначають правила безпечної роботи з хімічними речовинами та технологічними розчинами.

Монтаж водопідігрівача повинен здійснюватися відповідно до проектної документації, розробленої спеціалізованою проектною організацією. Підключення до електромережі дозволяється лише персоналу, який має

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідний допуск до робіт з обладнанням, що працює під тиском. Експлуатація такого обладнання регламентується вимогами ДНАОП 0.00-1.07-94.

Категорично забороняється експлуатувати електроводонагрівач зі знятим захисним кожухом або без належного заземлення. Також не допускається виконання ремонтних і профілактичних робіт обладнання, яке перебуває під напругою. Корпус водонагрівача та трубопровід підлягають обов'язковому заземленню у двох точках: безпосередньо на корпусі електроводонагрівача та на трубопроводі на відстані не менше 5 м від першої точки, що забезпечує вирівнювання потенціалів.

Пошкодження плівкових покриттів у процесі експлуатації усуваються шляхом наклеювання спеціальної поліетиленової клейкої стрічки. Такі ремонтні роботи виконуються щонайменше двома працівниками для забезпечення безпеки та якості виконання.

Пожежна безпека у тепличних господарствах повинна забезпечуватися шляхом комплексу організаційних і технічних заходів відповідно до ДНАОП 0.01-1.01-95 та ГОСТ 12.1.004-91. На дверях приміщень обов'язково розміщуються знаки безпеки із зазначенням класів вибухопожежної небезпеки згідно з ВБН-СНіП-46-3-94. У кожному приміщенні повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння відповідно до додатку №3 ДНАОП 0.01-1.01-95 та ГОСТ 12.4.009-83.

Засоби індивідуального захисту працівників повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.011-89, а їх забезпечення спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту здійснюється відповідно до ДНАОП 0.00-3.01-98. Працівники зобов'язані проходити навчання щодо правил використання засобів індивідуального захисту та перевірки їх технічного стану і придатності до експлуатації.

Перелік необхідного обладнання та електрозахисних засобів для електромонтерів, що виконують обслуговування електроустановок, наведено у таблиці 5.3.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3

Обладнання та електрозахисні засоби для електромонтерів тепличного господарства

Назва обладнання	Тип	ГОСТ або ТУ	Одиниці виміру	Кількість	Місце зберігання
Діелектричні калоші		ГОСТ 13385-78	пар	2	у сухому місці
Боти гумові		ГОСТ 13385-78	пар	2	у сухому місці
Діелектричні рукавиці		ТУ 38.305-05-257-89	пар	2	у сухому місці
Захисні окуляри	O2 SPECTRUM	ГОСТ 12.4.013-97	шт.	2	у шафі
Монтерський пояс	УС-2 ГД	ГОСТ 12.4.205-99.	шт.	2	у сухому місці
Лазі монтерські	ЛУ	ТУ 5296-001-59636331-2004.	пар	1	у шафі
Діелектричний килимок		ГОСТ 4997-75	шт.	2	у сухому місці
Тимчасова огорожа		ГОСТ 12.4.026-76	шт.	3	у сухому місці
Штанга ізолююча	ША-10	ТУ 34.2838-76	шт.	1	у футлярі
Показчик високої напруги	УВНУ - 10	ГОСТ 20493-90	шт.	1	у футлярі
Показчик низької напруги	E119.2	ГОСТ 20493-90	шт.	1	у футлярі
Комплект інструментів з ізольованими ручками напругою до 1 кВ	FIT 65137	ГОСТ 17199-88	пар	1	у футлярі
Переносне заземлення 0,4 кВ		ТУ 16.538-32-74	шт.	1	у шафі
Попереджувальні плакати безпеки		ГОСТ 12.4.026-76	шт.	По 4 кожного	у сухому місці

РОЗДІЛ 6

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ВЕСНЯНИХ ТЕПЛИЦЯХ

Автоматизація виробничих процесів у весняних теплицях суттєво підвищує рівень організації праці, сприяє зростанню кваліфікації та працездатності обслуговуючого персоналу, а також забезпечує підвищення продуктивності праці. Крім того, впровадження автоматизованих систем дозволяє досягти рівномірності та стабільності технологічних процесів при внесенні мінеральних добрив і пестицидів без безпосередньої участі людини, що значно зменшує вплив людського фактору. У результаті цього знижується собівартість продукції та підвищується загальна ефективність тепличного виробництва.

Оцінювання економічної ефективності здійснюється шляхом порівняння традиційного ручного керування процесом подачі живильного розчину з автоматизованою системою керування. Такий підхід дозволяє визначити рівень економії матеріальних ресурсів, витрат часу та трудових затрат, а також оцінити зменшення обсягу ручної праці. На основі отриманих даних визначається строк окупності впроваджених засобів автоматизації та витрат на їх експлуатацію і технічне обслуговування.

Річний економічний ефект від впровадження засобів автоматизації визначається за відповідною розрахунковою формулою, яка враховує різницю витрат між ручним та автоматизованим варіантами ведення технологічного процесу.

$$E_e = (I_1 - I_2) - E_n \cdot (K_2 - K_1) \quad (6.1)$$

де K_1, K_2 – капітальні витрати, грн;

I_1, I_2 – річні експлуатаційні витрати, грн;

E_n – нормований коефіцієнт ефективності, $E_n = 0,15$.

Обладнання, яке використовується в одній теплиці при ручному керуванні процесом подачі живильного розчину, наведено в таблиці 6.1. Даний варіант передбачає значну частку участі обслуговуючого персоналу у виконанні

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічних операцій, що безпосередньо впливає на рівень експлуатаційних витрат та загальну ефективність виробництва.

Експлуатаційні витрати у даному випадку формуються з кількох основних складових. Зокрема, заробітна плата працівника становить $Z_{пл} = 12000$ грн на рік (або за розрахунковий період експлуатації), що є основною статтею витрат при ручному керуванні технологічним процесом.

Додатково до витрат відноситься вартість технічного обслуговування та поточного ремонту обладнання, яка приймається на рівні 18 % від загальних капітальних витрат. Ця складова враховує витрати на підтримання працездатного стану обладнання, заміну зношених елементів, а також проведення регламентних ремонтних робіт протягом усього періоду експлуатації.

$$K_{рем} = \frac{18 \cdot K_1}{100} \quad (6.2)$$

$$K_{рем} = 0,18 \cdot 35000 = 6300 \text{ грн}$$

- Вартості витраченої електроенергії

$$Z_{ел.ен} = c \cdot P_{спож} \cdot T_{год} \cdot n_{роб} \quad (6.3)$$

де c – вартість 1 кВт·год, грн. $c = 2,64$ грн.

$P_{спож}$ – споживана потужність, кВт; $P_{спож} = 1,5$ кВт;

$T_{год}$ – час роботи обладнання за добу, год. $T_{год} = 1$ год;

$n_{роб}$ – кількість робочих днів на рік, дорівнює 274 дні.

$$Z_{елек} = 2,64 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 274 = 1085,04 \text{ грн.}$$

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1

**Обладнання, що використовується при ручному керуванні подачею
живильного розчину**

Назва обладнання	Кількість, шт	Ціна, грн	Сума, грн
Насос подачі розчину	1	9900	9900
Електромагнітний вентиль	6	3700	22200
Пости кнопочі	6	190	1140
Електромагнітний пускач	6	280	1680
Разом	-	-	35000

Тоді експлуатаційні витрати дорівнюють:

$$I_1 = 12000 + 6300 + 1085,04 = 19385 \text{ грн.}$$

Після впровадження автоматизованої системи подачі живильного розчину в теплицю використовується оновлений склад технологічного та електротехнічного обладнання, який наведено в таблиці 6.2. Перехід до автоматизованого керування дозволяє суттєво зменшити обсяг ручної праці, підвищити точність дозування компонентів живильного розчину та забезпечити стабільність параметрів технологічного процесу.

Застосування автоматизації також сприяє зниженню експлуатаційних витрат, зменшенню ймовірності помилок обслуговуючого персоналу та підвищенню загальної надійності системи живлення рослин у гідропонних теплицях.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2

Обладнання, що використовується при автоматичному керуванні подачею живильного розчину в теплицю

Назва обладнання	Кількість, шт	Ціна, грн	Сума, грн
Мікропроцесорний автомат поливання	1	5600	5600
Датчик вологості	6	520	6200
Разом	-	-	11800

При автоматичному керуванні процесом поливу теплиці тривалість роботи обладнання за добу зменшується і становить $T_{\text{год}} = 0,8$ год, що обумовлено високою ефективністю автоматизованої системи керування та зниженням потреби у постійному втручанні обслуговуючого персоналу. У зв'язку з цим необхідність у залученні працівника для виконання даної операції відпадає, що дозволяє суттєво скоротити трудові витрати.

Експлуатаційні витрати в автоматизованому варіанті формуються з таких основних складових:

- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, які приймаються на рівні 18 % від капітальних витрат і становлять $K_{\text{рем}} = 8218,8$ грн;
- вартість спожитої електричної енергії, яка складає $Z_{\text{елек}} = 868,03$ грн за розрахунковий період експлуатації.

Таким чином, сумарні експлуатаційні витрати визначаються як сума вищезазначених складових та характеризують загальний рівень витрат при функціонуванні автоматизованої системи поливу теплиці.

$$B_2 = 9086,83 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект при переведенні з ручного керування на автоматизоване становить:

$$E_e = (19\,385 - 9086,83) - 0,15 \cdot 6850 = 9270,62 \text{ грн.}$$

Строк окупності капітальних затрат:

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T = \frac{K_2 - K_1}{H_1 - H_2} \quad (6.4)$$

$$T = 11800 / (19\,385 - 9086,83) = 1,15 \text{ року.}$$

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

ВИСНОВКИ

У межах виконаного проєкту вибрано та обґрунтовано склад технологічного та електрообладнання для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату та системи мінерального живлення рослин у весняній теплиці. Прийняті технічні рішення спрямовані на підвищення енергоефективності, стабільності технологічних процесів та зниження експлуатаційних витрат.

Для обігрівання повітря в теплиці обрані електрокалорифери типу СФОЦ, які забезпечують підтримання заданого температурного режиму з можливістю автоматичного регулювання та рівномірного розподілу теплого повітря по об'єму теплиці.

Система водопостачання теплиці реалізується від артезіанської свердловини за допомогою насоса типу ЕЦВ, який приводиться в дію заглубним електродвигуном ПЭДВ. Керування насосною установкою здійснюється станцією «МПЗК-50», що забезпечує комплексний захист, автоматичний контроль та стабільну роботу електропривода. Також виконано розрахунок електропривода насоса поливання рослин з урахуванням режимів навантаження.

Проведено розрахунок систем зовнішнього та внутрішнього освітлення тепличного комплексу. Для зовнішнього освітлення прийнято світильники типу СПО-200, а для внутрішнього освітлення застосовано світильники НСП-01 з енергозберігаючими лампами типу T2.AS04.E27.11W, що забезпечують нормативний рівень освітленості та зменшене енергоспоживання.

Для опромінення рослин використовується стаціонарна опромінювальна установка ЖСП-400, оснащена газорозрядними лампами ДНаТ-400, що забезпечують оптимальний спектральний склад випромінювання для інтенсифікації фотосинтезу та підвищення врожайності культур.

У проєкті також розроблено заходи з охорони праці та електробезпеки у весняних теплицях, виконано визначення чисельності працівників електротехнічної служби та розраховано трудові витрати на проведення технічного обслуговування і поточного ремонту електрообладнання.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Детально опрацьовано систему автоматизованого електрообладнання для мінерального живлення рослин при вирощуванні за технологією NFT у весняних теплицях. Розроблено автоматизовану систему приготування живильного розчину, а також систему автоматичного регулювання його кислотності (pH) і концентрації, що забезпечує стабільність параметрів живлення рослин та підвищення ефективності виробництва.

Загалом запропонована система повністю відповідає технологічним вимогам вирощування овочевих культур у тепличних умовах та забезпечує економічну ефективність її впровадження. Розрахунковий строк окупності капіталовкладень для блоку з шести теплиць становить 1,15 року, що підтверджує доцільність реалізації запропонованих рішень.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гіль Л. С., Пашковський А. І., Суліма Л. Т. Сучасні технології овочівництва відкритого і закритого ґрунту : навч. посіб. Вінниця : Нова Книга, 2008.
2. Ванін В. В., Блюк А. В., Гнітецька Г. О. Оформлення конструкторської документації : навч. посіб. Київ : Каравела, 2019.
3. ВНТП-СГіП-46-19.96. Тепличні та оранжерейні підприємства. Київ, 1997.
4. Гончар В. Ф. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок : курсове і дипломне проектування. Київ : Вища школа, 1985.
5. ДБН В.2.2-12:2019. Теплиці та споруди захищеного ґрунту. Київ, 2019.
6. Іноземцев Г. Б. та ін. Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в АПК : навч. посіб. Київ : Аграр Медіа Груп, 2014.
7. Жулай Є. Л., Зайцев Б. В., Лавріненко Ю. М. Електропривод сільськогосподарських машин і агрегатів. Київ : Вища освіта, 2001.
8. Синявський О. Ю., Савченко В. В. Електропривод і автоматизація : підручник. Київ : Компринт, 2019.
9. Шегда А. В. Економіка підприємства : навч. посіб. Київ : Знання, 2005.
10. Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є. Автоматизація технологічних процесів : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2017.
11. Іванюк Р. А., Дусановський С. Л., Білан Є. М. Аграрна економіка і ринок. Київ : Збруч, 2003.
12. Гуржій А. М., Поворознюк Н. І. Електротехніка і електроніка : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2017.
13. ДСТУ ІЕС 61439-1:2021. Низьковольтні комплектні пристрої розподілу і керування.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Кепко О. І. Замкнуті системи опалення та вентиляції в закритому ґрунті : монографія. Умань, 2012.
15. Клименко Б. В. Електричні апарати : навч. посіб. Харків : Точка, 2012.
16. Козирський В. В., Волошин С. М. Аналіз систем природної вентиляції теплиць // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. 2004. №1. С. 30–35.
17. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2011.
18. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (чинна редакція). Лут М. Т. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК : підруч. для студентів ВНЗ / М. Т. Лут, О. В. Мірошник, І. М. Трунова. – Харків: Факт, 2008. – 438 с.
19. Шворов С. А., Опришко О. О. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2018.
20. Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є. Автоматизація технологічних процесів : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2017.
21. Синявський О. Ю., Савченко В. В. Електропривод і автоматизація : підручник. Київ : Компрінт, 2019.
22. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. Електропривод виробничих машин і механізмів : навч. посіб. Київ : Компрінт, 2020.
23. Гуржій А. М., Поворознюк Н. І. Електротехніка і електроніка : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2017.
24. Клименко Б. В. Електричні апарати : навч. посіб. Харків : Точка, 2018.
25. Хазін В. Й. Будівлі і споруди агропромислового комплексу. Київ : Вища школа, 2006.
26. Іноземцев Г. Б. та ін. Дипломне проєктування енергетичних та електротехнічних систем в АПК : навч. посіб. Київ : Аграр Медіа Груп, 2014.
27. Шегда А. В. Економіка підприємства : навч. посіб. Київ : Знання, 2016.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Іванюк Р. А., Дусановський С. Л., Білан Є. М. Аграрна економіка і ринок. Київ : Збруч, 2003.
29. ДБН В.2.2-12:2019. Теплиці та споруди захищеного ґрунту.
30. ДСТУ ІЕС 61439-1:2021. Низьковольтні комплектні пристрої розподілу і керування.
31. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерго України, чинна редакція.
32. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (чинна редакція 2023).
33. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Міненерго України, чинна редакція.
34. Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж. Київ : Держенергонагляд, чинна редакція.
35. ВНТП-СГіП-46-19.96. Тепличні та оранжерейні підприємства. Київ, 1997.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А1

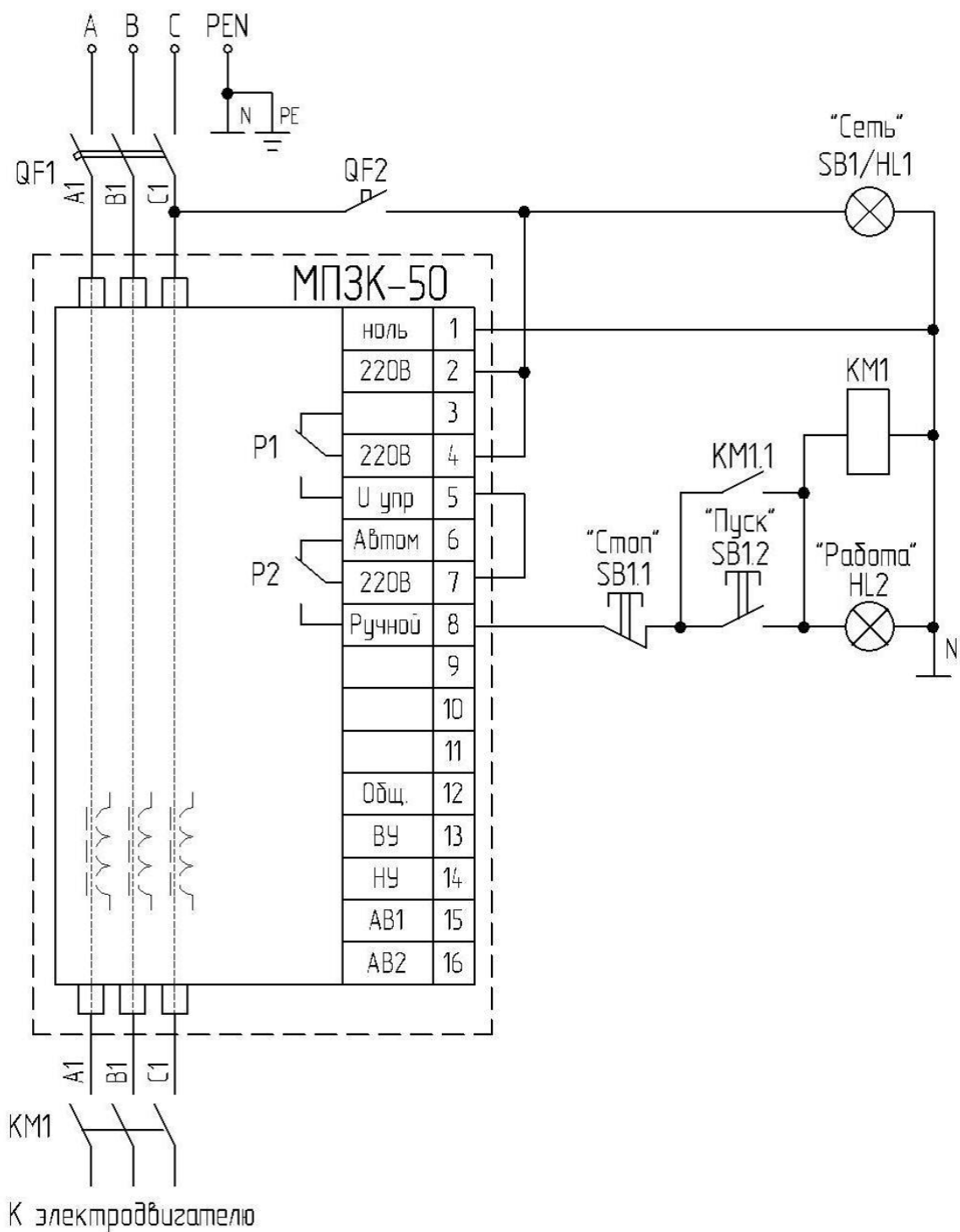


Рис. А1.Схема подключения МПЗК-50 для работы в «Ручном» режиме

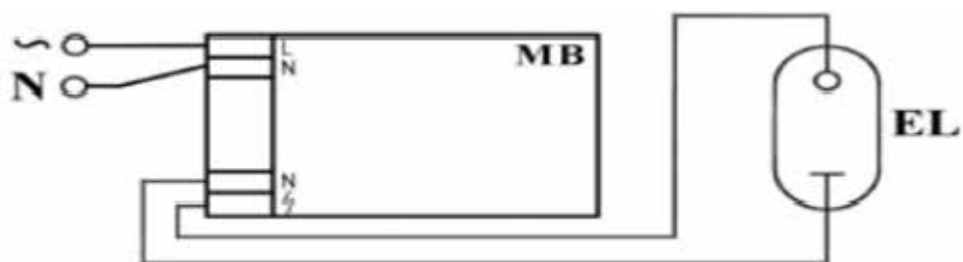


Рис. Б1. Схема електрична опромінювачів ЖСП 250/400/600 з моноблоком: MB – пускорегулюючий апарат (моноблок), EL – лампа газорозрядна.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.013.ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		