

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
Буряку Олександру Вікторовичу

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Проектні рішення з розроблення електротехнологічного обладнання для вирощування рослин у зимових теплицях»

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

Термін подання завершеної роботи на кафедру 01. 06 . 2026

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

«Правила устро́йства електроустано́вок»; «Правила технічної експлуатації електроустано́вок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустано́вок споживачів»; «ДБН В.2.2-2-95 Теплиці і парники».

Перелік питань, які необхідно розробити

1. Характеристика об'єкту
2. Технологічна частина.
3. Електротехнічна частина
4. Розробка системи світлодіодного опромінення рослин у теплиці.
5. Заходи з енергозбереження й безпеки праці.
6. Оцінка економічної ефективності електрифікації виробничих процесів у зимовій теплиці.

Перелік графічних матеріалів

Лист 1. Технологічна схема вузла приготування живильного розчину.

Лист 2. Схема силового електрообладнання теплиці.

Лист 3. Принципіальна електрична схема вузла приготування живильного розчину.

Лист 4. Схема живлення світлодіодної системи опромінення.

Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ /**Синявський О.Ю.**/

Завдання прийняв до виконання _____ /**Буряк О.В.**/

[illegible]

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ.....	7
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
2.1. Обґрунтування та вибір технології вирощування рослин у теплиці	9
2.2 Вибір технологічного обладнання для вирощування рослин у теплиці.....	10
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	14
3.1. Розрахунок і вибір обладнання для створення мікроклімату у теплиці....	14
3.2. Розрахунок водопостачання тепличного господарства.....	15
3.3 Розрахунок освітлення, вибір освітлюваного обладнання.....	19
3.4 Вибір електрообладнання для підживлення рослин вуглекислим газом	21
3.5. Вибір електрообладнання для краплинного поливання рослин.....	23
3.6. Розрахунок електропривода насоса подачі води і розчинів мінеральних добрив	24
3.7. Розробка принципіальної електричної схеми поливання рослин у теплиці і підживлення мінеральними добривами	32
3.8. Вибір апаратів керування і захисту	34
3.9. Вибір пультів керування, проводів та кабелів	38
3.10. Розрахунок електричних навантажень та вибір джерела живлення	39
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ СВІТЛОДІЮДНОГО ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН У ТЕПЛИЦЯХ.....	41
4.1 Порівняльна характеристика та обґрунтування вибору системи опромінення рослин у теплиці	41
4.2 Розробка широкополюсного світильника для захищеного ґрунту	43
4.3 Розробка резонансної системи електроспоживання опромінювачів	44
4.4 Опис схеми системи опромінення	55
РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОГЗБЕРЕЖЕННЯ І БЕЗПЕКИ ПРАЦІ.....	57
5.1 Енергозбереження в зимовій теплиці.....	57
5.2 Заходи з безпеки праці в зимовій теплиці	58
РОЗДІЛ 6 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ	

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СВІТЛОДІОДНОЇ СИСТЕМИ ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН У ЗИМОВІЙ
ТЕПЛИЦІ 60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 68

ВСТУП

Забезпечення населення овочами в зимовий період займаються тепличні господарства, які нині не можуть забезпечити весь попит, тому доводиться імпортувати значну частку цих продуктів.

Побудова або модернізація старих малоефективних виробничих приміщень типу зимових теплиць є важливим етапом розвитку тепличного господарства на території України. Після побудови тепличних господарств в 70-ті та 80-ті роки більшість з них працюють в тих же умовах, тому всі технологічні процеси зв'язані з використанням застірілої техніки.

Зведення нових тепличних комплексів та їх розпоширення не відбулося із-за значних капіталовкладень.

Мета дослідження – розробка і обґрунтування параметрів системи автоматизованого електрообладнання для вирощування овочевих культур у теплицях із застосуванням світлодіодної системи опромінення рослин.

Об'єкт дослідження – технологічний процес вирощування рослин у зимових теплицях із штучним опроміненням.

Предмет дослідження – структура автоматизованого електрообладнання для вирощування рослин у теплицях та параметри відповідного електрообладнання.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі вибране технологічне та електротехнічне обладнання для підтримання мікроклімату та забезпечення режиму мінерального живлення рослин у теплицях, розглянуті питання електропостачання, експлуатації електрообладнання та безпеки праці в тепличному комбінаті, розроблена світлодіодна системи опромінення рослин у теплицях з резонансним електроживленням та наведені техніко-економічні показники її застосування.

					02.02.KP.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Теплиці блокові типу “Venlo” – одні з найдосконаліших споруд для вирощування культур у захищеному ґрунті, які набули значного поширення в країнах Європи завдяки перейняття передових технологій з аграрно розвинених країн північної Європи, таких як Нідерланди, Данія, Фінляндія.

Нині найпоширенішою комплектацією цих теплиць є металевий каркас з сталевих оцинкованих конструкцій, які мають достатню міцність для виконання своїх завдань, а захист від корозії виконано за допомогою гарячого цинкування, товщина покриття складає від 80 до 200 мкм.

Після такої обробки конструкції не потребують додаткового догляду (фарбування та просочування за допомогою спеціальних виробів промислового вжитку, хоча висока вологість в середині цих приміщень сприяє процесам гниття, але цинкування надійно захищає від цих небезпек).

Для створення необхідної світлопроникності зовнішню огорожувальну конструкцію виконують з світлопроникних листів скла, які закріплюються на алюмінієвих шпросах з закріпленням їх в гумових ущільнювачах по боках. Одним з основних елементів звичайно є фундамент, який має виконуватися буронабивними бетонними палями. Цоколь виконують монолітним залізобетонним, але як альтернативний варіант на ринку представлені і збірні залізобетонні цоколі.

Проектування теплиць передбачає попереднє вивчення погодних умов місцевості, де вони будуть споруджуватися (мінімальні температури в зимовий період, максимальні в літній, кількість опадів, сила вітру в даній місцевості, яка буде діяти на конструкцію, його напрямок, кількість сонячного світла і його напрямок). Необхідними характеристиками для ведення сільськогосподарської діяльності також є якість ґрунту, глибина промерзання ґрунту, кут нахилу

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ділянки, глибина підводних вод, способи водопостачання, проведення життєво необхідних комунікацій для функціонування підприємства.

Конструкція теплиці наведена на рис. 1.1. Ширина однієї секції складає 9,6 м, висота до сотка 4 м повна 5 м. Ширина прольотів 4 м. Теплиця площею 5000 м², тобто 0,5 га має довжину 70 м та ширину 70 м без врахування простору для технологічного обладнання та необхідних проходів.

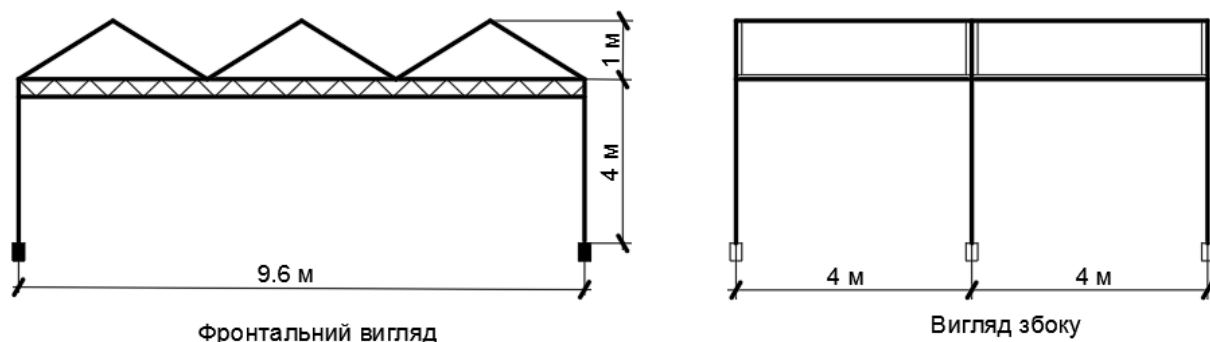


Рис. 1.1 Конструкція теплиці

У теплицях застосовуються ґрунтова технологія вирощування овочів з використанням системи крапельного поливання.

Бажання максимальної оптимізації виробничих процесів вимагає використання передових технологій і реалізації технічних рішень для забезпечення підвищеної врожайності, економічного використання паливно-енергетичних ресурсів, ефективного використання будь яких інвестиційних ресурсів, максимального зниження собівартості продукції з можливістю використання звільнених ресурсів в розширення, або подальшої модернізації по причині незупинного технічного прогресу в сферах аграрного підприємництва. Найважливішим фактором є забезпечення необхідних умов праці та охорона навколишнього середовища [3].

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Обґрунтування та вибір технології вирощування рослин у теплиці

У теплицях вирощуються патернокарпічні гібриди огірка в зимово-весняний період. Принцип, за яким було вибрано саме цей вид, обумовлений певними технологічними перевагами перед бжолозапильними сортами та іншими гібридами:

- вирізняється потужним ростом і високим покриттям листя;
- густина росту рослини в 2-2,5 рази менше, ніж у бджолозапильних;
- економія насіння та розсади;
- скорочення витрат праці на догляд за рослинами (один працівник обслуговує 1100-1300 м², витрачаючи 30-35 люд.-год. на 1 т продукції).

Температурний режим після висадки розсади такий: до початку плодоношення +22 ... +24 °С в сонячний день, +20 ... +22 °С - у похмурий, +17 ... +18 °С вночі.

У період плодоношення температуру підвищують: в сонячний день +24 ... +26 °С, в похмуру погоду +21 ... +22 °С, вночі +18 ... +20 °С. При цьому зниження температури ґрунту нижче +12 ... +15 °С або поливання холодною водою (нижче +15 °С) на ранніх фазах росту може викликати масове відмирання зав'язей. Відносна вологість повітря в період плодоношення має становити 75-80 %. При вологості повітря протягом 7-10 днів понад 95 % з'являються симптоми аскохитозу.

Оптимальна вологість ґрунту в зимово-весняний період залежить від періоду вегетації: при вирощуванні розсади вона становить 50-70 % НВ, від висадки розсади – до початку плодоутворення - 70-80 %, від початку плодоутворення до перших зборів - 75-85 %, від перших зборів до кінця вегетації - 85-95 % НВ.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норма поливання для огірків-гібридів

Місяць	Кількість поливань у місяць	Норма поливання, л/м ²
Січень	8-10	2-3
Лютий	10-12	4-5
Березень	14-16	4-5
Квітень	18-22	5-6
Травень	24-28	5-6
Червень	26-30	5-6

2.2 Вибір технологічного обладнання для вирощування рослин у теплиці

Необхідним фактором для ефективного вирощування сільськогосподарських культур є підтримання оптимальних умов мікроклімату та мінерального живлення.

У теплиці встановлюються обладнання для опалення, зрошення, забезпечення рослин CO₂, зашторювання та електродосвічування.

Системи, які встановлюють у теплиці:

- система кватиркової вентиляції;
- система рециркуляції повітря;
- система зашторювання;
- система крапельного поливання;
- система підживлення рослин CO₂;
- система штучного освітлення та опромінення;
- система опалення теплиці.

1. Для вентиляції теплиці передбачено використання природнього вентилування за допомогою кватирок в стелі теплиці. Процес відкривання і закривання цих механізмів відбувається за допомогою рейкової системи.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізм відкриття є системою валів і зубчастих рейок, які, при взаємодії між собою, приводять в дію штовхаючий елемент, який піднімає кватирки. Стержні отримують силу для руху від моторів-редукторів. Система моторів-редукторів обладнана аварійними вимикачами і регулюючими кінцевими вимикачами.

Для штучного змішування повітря в теплиці використовується система рециркуляції повітря, для зниження перегрівання рослин і ліквідації зон з високою вологістю. Для рециркуляції використовуються осьові вентилятори.

2. Система зашторювання

Найважливішим фактором керування ростом, розвитком і плодоношення рослин є температурний режим. Майже всі процеси, які протікають при житті рослини такі як фотосинтез, дихання, переміщення речовин, ріст і плодоношення, залежать від температурного режиму.

Максимально сприятливим температурним режимом являється для огірків +22...24 °С. Як надзвичайно високі, так і значно нижчі температури дуже негативно впливають на розвиток рослини з усіма її стадіями росту.

Для зашторювання використовуються шторні екрани, які ефективно справляються з поставленими перед ними завданнями, такими як теплозахист, світловідбивання, максимальне енергозбереження в холодний періоди і нічні години, а також для затінення в теплиці під час активної сонячної радіації в весняно-літній сезон року.

Завдячуючи гнучкості матеріалів, з яких виконано екрани, вони компактно складаються і не затіняють рослини в складеному вигляді. Ще однією функцією екранів є недопущання утворення конденсату. Механізм зашторювання виконується окремо для кожної зони блока теплиці [9].

3. Система крапельного поливання необхідна для забезпечення подачі води в заданій кількості з необхідним набором елементів до кореневої зони рослини. Вона забезпечує ефективний удобрюючий і водяно-повітряний режим тепличного субстрату, збільшує врожайність овочевих культур, скорочує витрати води і добрив, знижує захворюваність рослин і зменшує ризик їх

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розповсюдження. Для вирощування овочевих культур монтується система запасу води і збору дренажу. Запас передбачається в металевих ємностях. Вода, що потрапляє в систему крапельного поливання, проходить через систему фільтрації, яка забезпечує очищення від твердих частинок розміром 80-100 мкм, які можуть пошкодити систему.

Розчинення добрив виконують в баках відповідно до хімічної взаємоприйнятності добрив. Розчин фільтрується дисковим фільтром.

Для забезпечення дозування подачі розчину добрив використовуються крапельниці лабіринтного типу з пропускною можливістю 3,1 л/год.

Магістральні поліетиленові труби використовуються для подачі розчину до клапанних груп і від них до вузлів поливання. Клапани в клапанних групах виконанні з електроманітним керуванням [7].

4. Система подачі CO₂.

Оскільки рослини живляться вуглекислим газом (діоксид вуглецю), то важливим фактором при вирощуванні рослин є забезпечення подачі його до місць їх вирощування. Додаткова кількість вуглекислого газу в комбінації з потужним опроміненням позитивно впливають на процес фотосинтезу.

У результаті рослин швидше ростуть, формують більш сильні суцвіття і насичені плоди, з більшим вмістом смако-ароматичних елементів. У свою чергу пришвидшується досягання плодів і значно підвищується врожайність.

Надзвичайно цінна властивість, яку набувають рослини під впливом штучної подачі CO₂, це стійкість до підвищених температур і світлових опіків [11].

У переважаючій більшості для подачі вуглекислого газу використовуються відходи від згоряння газу в котельні, які використовують як паливо природний газ без фітотоксичних добавок.

Централізоване дозування CO₂ від димових газів в котельні виконується встановленням обладнання дозування CO₂. Обладнання встановлюється на рамі, змонтовані при конденсаторі.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частина, якою захоплюється CO₂, приєднується до трійника, змонтованого в димову трубу конденсатора за допомогою гнучкого з'єднання. Між установкою і трійником встановлюють керуючий змішувальний клапан. У процесі дозування CO₂ повітряний вхід цього клапану закритий, і все повітря буде всмоктуватись з димоходу, і подається в теплицю по розподільчим газопроводам.[8].

Подача газу до рослин виконана перфорованими полімерними рукавами, які відходять від розподільчого газопроводу всередині теплиці. Для забезпечення рівномірної концентрації CO₂ в повітрі та покращення газообміну в високих теплицях застосовуються циркуляційні вентилятори, які створюють рівномірний рух повітря в середині теплиці при невеликій швидкості (до 1 м/с) [8].

5. Система опромінення.

Більшість овочевих культур розвиваються і плодоносять ефективно при освітленості 10-20 тисяч люкс. Такий потужний потік в нашому географічному регіоні спостерігається з березня по серпень.

Джерело штучного опромінення необхідне саме в осінньо-зимовий період, оскільки природнього освітлення не вистачає. Сучасна технологія світлокультури, заснована на створенні всіх умов мікроклімату з використанням асиміляційного освітлення якосновного джерела світла [10].

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок і вибір обладнання для створення мікроклімату у теплиці

Використання водяного обігрівання є одним з розпоширених і економічно вигідних методів опалення тепличних приміщень. Для великих об'єктів виконують встановлення газової котельні. У цьому випадку джерелом тепла є гаряча вода, яка циркулює спеціально прокладеним трубопроводом.

Перевагами такого опалення є:

- одночасне прогрівання ґрунту і повітря;
- зручне обслуговування;
- широкий вибір терморегулюючої апаратури та можливість достатньо економічного регулювання.

Для виконання даного виду опалення потрібно провести вибір котельної установки.

Витрату тепла на опалення визначають за формулою:

$$Q = 1,1 L F K_{\text{інф}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}), \frac{\text{ккал}}{\text{год}}, \quad (3.1)$$

де L - коефіцієнт огорожі;

F - площа, м^2 ;

K - коефіцієнт теплопередачі закслених поверхонь (приймається рівний $6,4 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год}$);

$t_{\text{вн}}$ – температура в середині теплиці (приймається рівною для вирощування огірків $+20 \text{ }^\circ\text{C}$)

$t_{\text{зов}}$ – середня температура зовнішнього повітря найбільш холодної доби (для Києва за СНиП 2.01.01-82 ($-5,2^\circ\text{C}$) [6];

$K_{\text{інф}}$ – коефіцієнт інфільтрації.

$$Q = 1,1 \cdot 1,5 \cdot 5000 \cdot 6,4 \cdot 1,25 \cdot (20 - (-5,2)) = 1663200 \frac{\text{ккал}}{\text{год}}$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність котла:

$$Q_{\text{кот}} = 1,13 \cdot 1663200 = 1879416 \frac{\text{ккал}}{\text{год}} = 2185.76 \text{ кВт/год}$$

Вибираємо водогрійний котел TERNOx.

Технічна характеристика TERNOx:

Потужність: 2200 кВт

Робочий тиск – 5 бар.

Робоча температура котлової води – до 110°C.

КПД – більше 93 % (встановлення економайзера підвищує КПД на 3-4%, кондерсаторний блок рекуперації тепла +5-7% (для газу)) [2].

3.2. Розрахунок водопостачання тепличного господарства

Для функціонування теплиці обов'язковим елементом є забезпечення її водою. Для початку проводять вибір системи водопостачання. Уданому випадку вибрано баштову систему. Другим кроком вибирають спосіб подавання води. Для подачі води вибираємо заглибний насос. Ця комбінація є однією з найпоширеніших типів водопостачання на сільськогосподарських об'єктах.

Середньодобове споживання води в теплиці $Q_{\text{сер.д}}$, м³, відповідно ДБН 60 м³/год. Для теплиці площею 0,5 гектар значення рівне $Q_{\text{сер.д}} = 30$ м³/год [4].

Проводимо визначення максимальних годинного $Q_{\text{макс.г}}$, м³/год та секундного $Q_{\text{макс.с}}$, м³/с водоспоживання об'єкту проектування:

$$Q_{\text{макс.г}} = \frac{Q_{\text{сер.д}} \cdot \alpha_{\text{д}} \cdot \alpha_{\text{г}}}{24}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{макс.с}} = \frac{Q_{\text{макс.г}}}{3600}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.3)$$

де $\alpha_{\text{д}}$ і $\alpha_{\text{г}}$ – коефіцієнти годинної і добової нерівномірності використання води ($\alpha_{\text{д}} = 1,3$, $\alpha_{\text{г}} = 2,5$ [5, 6]).

$$Q_{\text{макс.г}} = \frac{30 \cdot 1,3 \cdot 2,5}{24} = 4.06 \text{ м}^3/\text{год};$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$Q_{\text{макс.с}} = \frac{4,06}{3600} = 0,00112 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Розрахунок об'єму бака водонапірної башти $V_{б.р}$, м^3 , проводимо за формулою:

$$V_{б.р} = V_{рег} + V_{ав} + V_{пож}, \quad (3.4)$$

де $V_{рег}$ – регульований об'єм води в баку башти, м^3 ;

$V_{ав}$ – запас води на аварійні потреби, м^3 ;

$V_{пож}$ – вода на застосування при ліквідації пожеж, м^3 .

Визначення регульованого об'єму $V_{рег}$, м^3 в баку автоматизованої водокачки орієнтовно проводять за формулою:

$$V_{рег} = 0,01 \frac{Q_{сер.д} \cdot \alpha_d \cdot \alpha_z}{n}, \quad (3.5)$$

де n – кількісне значення вмикань насоса за годину(приймаємо $n = 3$).

$$V_{рег} = 0,01 \frac{30 \cdot 1,3 \cdot 2,5}{3} = 0,32 \text{ м}^3.$$

Запас води на аварійні випадки $V_{ав}$, м^3 :

$$V_{ав} = Q_{\text{макс.г}} \cdot t_{ав}, \quad (3.6)$$

де $t_{ав}$ – необхідний час для усунення ймовірних аварій, год.

$$V_{ав} = 4,06 \cdot 2,8 = 11,36 \text{ м}^3;$$

Розраховуємо об'єм бака водонапірної башти $V_{б.р}$, м^3 , який становить:

$$V_{б.р} = 0,32 + 6 + 0,083 + 11,36 = 17,76 \text{ м}^3.$$

Водний запас на протипожежні заходи $V_{пож}$, м^3 :

$$V_{пож} = 3,6 \cdot Q_{пож} \cdot n_{пож} \cdot t_{пож}, \quad (3.7)$$

де $Q_{пож}$ – витрати води на гасіння однієї пожежі, л/с; ($Q_{пож} = 10$ л/с [6]);

$n_{пож}$ – розрахункова кількість ймовірних одночасних пожеж ($n_{пож} = 1$);

$t_{пож}$ – час на ліквідацію пожежі, год ($t_{пож} = 10 \text{ хв} = \frac{1}{6}$ год. [6]).

$$V_{пож} = 3,6 \cdot 10 \cdot 1 \cdot \frac{1}{6} = 6 \text{ м}^3.$$

Слід врахувати, що час на наповнення протипожежного запасу не має перевищувати 72 год, в такому випадку запас становить $0,083 \text{ м}^3/\text{год}$.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі ділянки трубопроводу повинні бути виконані в нашому випадку стальними трубами діаметром $d = 125$ мм, швидкість води в трубопроводі приймається $v = 0,75$ м/с.

Втрати напору для протиборства тертя вздовж труби h_T , м, визначаємо за формулою:

$$h_T = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.8)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору, $\lambda = 0,027$;

ℓ – довжина труби, м, $\ell = 250$ м;

d – діаметр труби, м; v – швидкість руху води в трубі, м/с;

$g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с².

$$h_T = 0,027 \frac{250}{0,125} \cdot \frac{0,75^2}{2 \cdot 9,81} = 1,55 \text{ м.}$$

Втрати напору в місцевих опорах h_m , м приймаємо приблизно рівними 5 % від втрат по довжині труби, отже:

$$h_m = 0,05 \cdot h_T, \text{ м;} \quad (3.9)$$

$$h_m = 0,05 \cdot 1,55 = 0,077 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору h , м:

$$h = \sum h_t + \sum h_m; \quad (3.10)$$

$$h = 1,55 + 0,077 = 1,63 \text{ м.}$$

Висоту водонапірної башти $H_{б.р}$, м визначаємо за формулою:

$$H_{б.р} = H_e + h + (Z_o - Z_{б}). \quad (3.11)$$

Необхідний вільний напір при господарському водоспоживанні при одноповерховій забудові вважають не менше 10 м, отже, приймаємо $H_e = 10$ м.

Різницю геодезичних відміток вибирають за структурою розташування теплиці, приймаємо $(Z_o - Z_{б}) = 1,5$ м.

$$H_{б.р} = 10 + 1,63 + 1,5 = 13,13 \text{ м.}$$

За вирахуванням об'ємом бака і висотою башти вибираємо уніфіковану стальну водонапірну башту, у якої місткість бака

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$V_{\bar{o}} = 25 \text{ м}^3$, діаметр бака $D_{\bar{o}} = 3 \text{ м}$, висота ствола $H_{cm} = 15 \text{ м}$, діаметр ствола $D_{cm} = 1,22 \text{ м}$).

Висота рівня води в баку $H_{\bar{o}k}$, м:

$$H_{\bar{o}k} = \frac{V_{\bar{o}.p.} \cdot 4}{n \cdot D_{\bar{o}}^2}, \quad (3.12)$$

$$H_{\bar{o}k} = \frac{17,76 \cdot 4}{3,14 \cdot 3^2} = 2,42 \text{ м.}$$

Розрахунковий діаметр нагнітальної труби d_p , м :

$$d_p = 1,3 \sqrt{\frac{Q_{max.}}{v_{рек.}}}, \quad (3.13)$$

де $v_{рек.}$ – рекомендована СНиП швидкість руху води в трубі, м/с ($v_{рек} = 1,4 \text{ м/с}$).

$$d_p = 1,3 \sqrt{\frac{0,00169}{1,4}} = 0,0452 \text{ м.}$$

Приймаємо трубу діаметром $d = 50 \text{ мм}$.

Швидкість руху води у трубі вибраного діаметра v , м/с визначають за формулою:

$$v = \frac{4 \cdot Q_{max.}}{n d} = \frac{4 \cdot 0,00169}{3,14 \cdot 0,05} = 0,98 \text{ м/с.} \quad (3.14)$$

Втрати напору по довжині труби $\sum h_n$, м :

$$\sum h_m = \lambda \cdot \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}. \quad (3.15)$$

Для даної водопровідної мережі приймаємо довжину труби $l = 150 \text{ м}$, при швидкості руху води $v = 0,98 \text{ м/с}$, приймаємо $\lambda = 0,024$ [5].

$$\sum h_m = 0,024 \frac{150}{0,05} \frac{0,98^2}{2 \cdot 9,81} = 3,53 \text{ м.}$$

Втрати напору в місцевих опорах приймаємо приблизно рівними 5 % від втрат по довжині труби, отже:

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Sigma h_m = 0,05 \times 3,53 = 0,18 \text{ м.}$$

Розрахунковий напір насоса H_p , м, необхідний для подачі води у бак водонапірної башти, визначають за формулою:

$$H_p = (Z_d - Z_b) + H_b + H_{bk} + h_{в.н}, \quad (3.16)$$

де $(Z_d - Z_b)$ – різниця геодезичних відміток землі біля водонапірної башти та мінімального рівня води в джерелі, м.

Різницю геодезичних відміток приймаємо за структурою розташування теплиці, $(Z_d - Z_b) = 55$ м.

$$H_p = 55 + 15 + 2.42 + 0,18 = 72,6 \text{ м.}$$

З врахуванням максимального годинникового споживання води $Q_{\max} = 4.06$ м³/год і розрахунковим напором $H_p = 72,6$ м вибираємо заглибний насос ЭЦВ – 5-5-120 [2] зі значення номінальної подачі $Q_{\text{ном}} = 5$ м³/год і максимальним напором $H_{\text{нап.}} = 120$ м. Для привода насоса вибираємо заглибний електродвигун ПЭДВ – 4 – 114 [2], номінальна потужність $P_n = 4$ кВт, номінальна сила струму $I_n = 11,6$ А, КПД 72 %.

3.3 Розрахунок освітлення, вибір освітлюваного обладнання

У теплицях передбачене освітлення проходів. За ДБН.В.2.5-28:2018 (таблиця Г.1) встановлюємо нормовану освітленість в 100 лк.

Використовуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Для визначення необхідної кількості світильників, визначаємо світловий потік, що потрапляє на робочу поверхню за формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \quad (3.17)$$

де F – світловий потік, розрахунковий, Лм;

E – нормована освітленість, лк; $E=100$ лк;

S – площа освітлювального приміщення ($70 \times 6 = 420$ м²);

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Z – відношення середньої освітленості в відношенні до номінальної (Z=1,1);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку через забруднення світильників під час роботи (K=1,5);

η – коефіцієнт використання світлового потоку

Обчислюємо індекс приміщення за формулою :

$$I = \frac{S}{h(A + B)}, \quad (3.18)$$

де S – площа освітлювального приміщення (70х6 = 420 м²);

h – розрахункова висота підвісу, h = 3,5 м;

A – ширина приміщення, A = 6м;

B – довжина приміщення, B = 70м.

Виконуємо розрахунок з відомими значеннями:

$$I = \frac{420}{3,5 \cdot (6 + 70)} = 1,57$$
$$F = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 420 \cdot 1,1}{0,3} = 231000$$

Для освітлення вибираємо світлодіодний світильник LED MALL Eсо 35W, з світловим потоком $F_{\text{л}} = 4144$ Лм. Розраховуємо потрібну кількість світильників за формулою:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}, \quad (3.19)$$

де N – кількість ламп, що розраховується;

F – розрахунковий світловий потік, F = 231000 Лм;

$F_{\text{л}}$ – номінальний потік лампи, $F_{\text{л}} = 4144$ Лм.

$$N = \frac{231000}{4144} = 55$$

Виконуємо повторно за допомогою програмного забезпечення DIALux. За заданим значенням кількості світильників отримуємо схему їх розміщення (рис. 3.1).

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

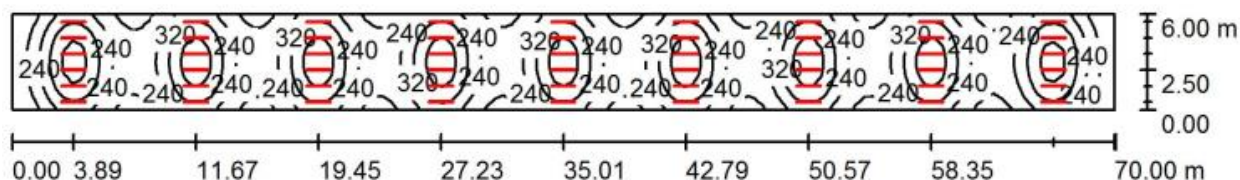


Рис. 3.1. Схема розміщення світильників у теплиці

3.4 Вибір електрообладнання для підживлення рослин вуглекислим газом

Для зменшення затрат на системі підживлення CO_2 використовуємо систему відбору вихлопних газів від котельної установки. Для цього вибираємо для теплиці вентилятор ВР-170-18-8 (ВВД-8).

Для цього вентилятора вибираємо двигун АИР 132М4У2: $P_n = 11 \text{ кВт}$; $n_n = 1450 \text{ об/хв}$; $I_n = 22 \text{ А}$; $I_{\text{пуск}} / I_n = 7,5$, КПД 88,5 %.

Вибираємо автоматичний вимикач для захисту двигуна РКЗМ0-25 Eaton за умовами:

- 1) за номінальною напругою апарата, яка повинна бути не нижче номінальної напруги мережі:

$$U_{na} \geq U_{\text{мережі}}; \quad (3.20)$$

$$380 \text{ В} \geq 380 \text{ В}$$

- 2) за номінальним струмом – так, щоб номінальний струм автоматичного вимикача був не менше номінального струму керованого двигуна:

$$I_{na} \geq I_{n.дв}; \quad (3.21)$$

$$25 \text{ А} \geq 22 \text{ А}$$

- 3) за номінальним струмом розчіплювачів максимального струму – так, щоб номінальний струм розчіплювачів був не менше номінального струму керованого двигуна:

$$I_{n.розч.} \geq I_{n.дв.} \quad (3.22)$$

$$25 \text{ А} \geq 22 \text{ А}$$

- 4) вибирають кратність відсічки $K_{відс}$;

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристика спрацювання С (15-20)

5) за конструктивними ознаками: кількістю полюсів; кількістю і видом розчіплювачів максимального струму, додаткових контактів, додаткових розчіплювачів; видом привода; наявністю пристрою для регулювання струму неспрацювання теплових розчіплювачів;

Автоматичний вимикач триполюсний, з комбінованим розчіплювачем.

6) за ступенем захисту від дії навколишнього середовища IP20 (Захист від проникнення всередину оболонки до струмоведучих і рухомих частин пальців або предметів довжиною більше 80 мм)

7) за кліматичним виконанням і категорією розміщення УХЛ4.

Вибраний вимикач перевіряють на неспрацювання при пуску двигуна за умовою:

$$I_{\text{від}} = K_{\text{від}} \cdot I_{\text{н.розч.}} \geq K_{\text{з}} \cdot K_{\text{ру}} \cdot K_{\text{рпс}} \cdot K_{\text{І}} \cdot I_{\text{н.дв}} \quad (3.23)$$

$$375 = 15 \cdot 25 \geq 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 7,5 \cdot 22 = 321,75$$

Вибираємо електромагнітний пускач серії ПМ2-25-10

1) за номінальною напругою пускача, яка повинна бути не нижче номінальної напруги мережі:

$$U_{\text{п.ном.}} \geq U_{\text{м.}}; \quad (3.24)$$

$$380\text{В} \geq 380\text{В}$$

2) за номінальним робочим струмом – так, щоб номінальний робочий струм пускача був не менше номінального струму керованого двигуна:

$$I_{\text{п.ном.р.}} \geq I_{\text{дв.ном.}}; \quad (3.25)$$

$$25\text{А} \geq 22\text{А}$$

3) за кількістю і видом контактів допоміжного кола;

У пускачі є додаткові блокувальні контакти.

4) за призначенням – нереверсивний

5) за ступенем захисту від дії навколишнього середовища IP20;

6) за кліматичним виконанням і категорією розміщення УХЛ4;

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7) за родом струму і напругою втягувальної котушки. При цьому номінальна напруга котушки повинна дорівнювати напрузі кола керування пускатчем:

$$U_{\text{кот.ном.}} = U_{\text{кер.}}; \quad (3.26)$$

$$220\text{В} = 220\text{В}$$

8) за стійкістю контактів головного кола проти комутаційних спрацювань Б.

Для рівномірного розподілення вуглекислого газу який буде поступати в теплицю, потрібно передбачити встановлення циркуляційних вентиляторів, які будуть як розподіляти рівномірно вуглекислий газ, так і будуть усувати зони підвищеної температури, що дає подвійну користь їх використання.

Принцип вибору полягає у використанні на кожен м³ вентилятор, продуктивністю 20 м³. Для об'єму проектованої теплиці потрібно використати 4 циркуляційні вентилятори JFD – 500 з продуктивністю 5800 м³/год. Цей вентилятор номінальною потужністю 250 Вт, напругою 380В, кількістю обертів за хвилину 950 об/хв.

3.5. Вибір електрообладнання для краплинного поливання рослин

Для краплинного поливання рослин застосовують розчинні вузли.

Вузол приготування живильного розчину складається з чотирьох баків для концентрованих розчинів мінеральних добрив А і Б, мінеральні добрива в яких для запобігання випадання їх в осад розподілені за певною схемою; бака для кислоти; змішувальної камери та насоса подачі води і живильного розчину в теплиці. Концентровані розчини мінеральних добрив А і Б готують окремо в апаратах з мішалками і за допомогою стисненого повітря подають у вузол приготування живильного розчину.

У змішувальну камеру поступає тепла вода, кислота та концентровані розчини мінеральних добрив А і Б. В схемі передбачений інжекційний принцип

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приготування живильного розчину. При роботі насоса подачі води і розчинів мінеральних добрив в інжекторах (трубках Вентурі) створюється вакуум, внаслідок чого компоненти живильного розчину (кислота, розчини мінеральних добрив А і Б) подаються до змішувальної камери у певній пропорції до подачі насоса. Подачею кислоти та концентрованих розчинів мінеральних добрив керують електромагнітні вентиля.

Кислотність живильного розчину контролює рН-метр, а концентрацію – кондуктометр. Якщо рН розчину нижче заданого значення, то вимикається вентиль подачі кислоти, а при підвищенні концентрації розчину вище заданого значення кондуктометр вимикає вентиля подачі концентрованих розчинів мінеральних добрив.

Живильний розчин подається насосом через фільтр у теплицю. Проток в системі контролює електроконтактний манометр, який дає команду на вимикання насоса за відсутності потоку в системі. На вході секції зі зрошувачами - поливними труби «аквадроп» змонтовано електромагнітні вентиля. Роботою електромагнітних вентилів керує автомат поливання рослин.

3.6. Розрахунок електропривода насоса подачі води і розчинів мінеральних добрив

Насос вибираємо за необхідною подачею води та напором. Для розчинного вузла вибраний насос Vitals aqua CP670e з номінальною подачею 4,37 м³/год і максимальним напором 18м.

Для вибору двигуна приводу насоса необхідно мати навантажувальну діаграму і механічну характеристику робочої машини, щоб в подальшому провести вибір за потужністю і виконати необхідні перевірки.

Навантажувальну діаграму насоса (рис. 3.3) можна розрахувати аналітично. Потужність насоса розраховують за формулою:

$$P_{\text{нас}} = \frac{Q \rho H g 10^{-3}}{\eta_{\text{нас}}}, \quad (3.27)$$

					02.02.KP.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ - густина рідини, що подається насосом, $\text{кг}/\text{м}^3$; H – розрахунковий напір, м; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$; $\eta_{\text{нас}}$ – ККД насоса.

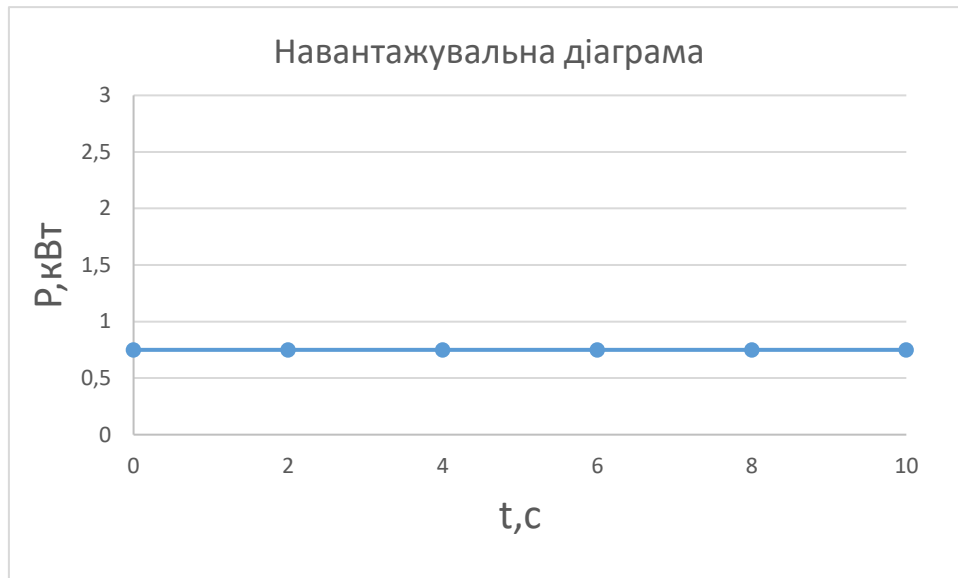


Рис. 3.3. Навантажувальна діаграма насоса

$$P_{\text{нас}} = \frac{4,3 \cdot 1000 \cdot 18 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,36} = 0,59 \text{ кВт}.$$

Для визначення потужності двигуна потужність робочої машини до множують на коефіцієнт запасу K_z , який в даному випадку складає 1,2:

$$P_{\text{ов}} = \frac{1,2 \cdot 4,3 \cdot 1000 \cdot 18 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,36} = 0,7 \text{ кВт},$$

За визначеними значеннями потужності і частоти обертання вибираємо електродвигун АИР71А2У2:

$U=220/380\text{В}$; $P_{\text{н}}=0,75 \text{ кВт}$; $n_{\text{н}}=2850 \text{ об}/\text{хв}$; $\eta_{\text{н}}=75\%$; $\cos \varphi =0,83$; $\mu_{\text{п}}=2,2$; $\mu_{\text{min}}=1,6$;

$\mu_{\text{к}}=2,3$; $\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{н}}}=6,1$; $j_{\text{ром}}=0,0006 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $m= 8,7 \text{ кг}$; швидкість наростання

температури $v_t=8,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електродвигун за тепловим режимом під час пуску перевіряють за умовою:

$$\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{факт}} = v_t \cdot t_n, \quad (3.28)$$

де $\tau_{\text{доп}}$ – допустиме перевищення температури обмотки над температурою охолоджуючого середовища, °С (для класу ізоляції В – 80 °С, для класу F – 100 °С); $\tau_{\text{факт}}$ – фактичне перевищення температури в кінці періоду пуску електродвигуна, °С; v_t – швидкість наростання температури обмотки при загальмованому роторі, °С/с; t_n – час пуску електродвигуна, с. Для двигунів АИР $\tau_{\text{доп}}$ приймають 80 °С.

Час пуску електродвигуна визначають графоаналітичним методом. При цьому розв’язують рівняння руху електропривода в кінцевих приростах:

$$M_{\text{дин}} = M_{\text{д}} - M_{\text{с}} = j \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad (3.29)$$

де $M_{\text{дин}}$ – динамічний момент, Н·м; $M_{\text{д}}$ – момент електродвигуна, Н·м; $M_{\text{с}}$ – момент статичних опорів робочої машини, зведений до вала електродвигуна, Н·м; j – момент інерції системи “електродвигун – робоча машина”, зведений до вала електродвигуна, кг·м²; $\Delta\omega$ – приріст кутової швидкості, рад/с; Δt – приріст часу пуску, с.

Розрахунок проводять у такій послідовності.

Користуючись каталоговими даними, розраховують механічну характеристику електродвигуна $M_{\text{д}}$ (рис.3.4) за координатами п’яти характерних точок:

1) точка синхронної швидкості: $\omega = \omega_0$, ($s=0$), $M=0$.

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}, \quad (3.30)$$

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314$$

де n_0 – синхронна частота обертання, об/хв;

2) точка номінальної швидкості: $\omega = \omega_{\text{ном}}$, ($s=s_n$), $M=M_n$.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}, \quad (3.31)$$

$$s_n = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0,05$$

де s_n – номінальне ковзання; n_n – номінальна частота обертання;

$$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}; \quad (3.32)$$

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot 2850}{30} = 298,3$$

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \quad (3.33)$$

$$M_n = 9550 \frac{0,75}{2850} = 2,51 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.34)$$

де P_n – номінальна потужність двигуна, кВт;

3) точка критичного моменту: $\omega = \omega_k, (s = s_k), M = M_k$.

$$s_k = \frac{s_n + \sqrt{s_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}, \quad (3.35)$$

$$s_k = \frac{0,05 + \sqrt{0,05 \frac{2,2 - 1}{1,047 - 1}}}{1 + \sqrt{0,05 \frac{2,2 - 1}{1,047 - 1}}} = 0,55$$

де $\mu_1 = \frac{\mu_k}{\mu_n}, \quad (3.36)$

$$\mu_1 = \frac{2,3}{2,2} = 1,047$$

μ_k – кратність максимального моменту двигуна; μ_n – кратність пускового моменту двигуна;

$$\omega_k = \omega_0 (1 - s_k); \quad (3.37)$$

$$\omega_k = 314(1 - 0,55) = 141,3 \text{ с}^{-1}$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\kappa} = \mu_{\kappa} \cdot M_n \quad (3.38)$$

$$M_{\kappa} = 2,3 \cdot 2,51 = 5,77 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

4) точка мінімального моменту: $\omega = \omega_{\min}$, ($s_{\min} = 0,8$), $M = M_{\min}$.

$$\omega_{\min} = \omega_0(1 - \omega_{\min}); \quad (3.39)$$

$$\omega_{\min} = 314(1 - 0,8) = 62,8 \text{ с}^{-1};$$

$$M_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_n; \quad (3.40)$$

$$M_{\min} = 1,6 \cdot 2,51 = 4,01 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

5) точка пускового моменту: $\omega = 0$, ($s = 1$), $M = M_n$.

$$M_n = \mu_n \cdot M_n. \quad (3.41)$$

$$M_n = 2,2 \cdot 2,51 = 5,52 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Згідно з ГОСТ 183-84 допускається виготовляти електродвигуни, в яких критичний, мінімальний і пусковий моменти можуть бути меншими від каталогових значень відповідно на 10, 20 і 15 %.

Координати механічної характеристики $s = f(M')$ з урахуванням допустимих відхилень моментів:

- 1) $s = 0$; $M' = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 2) $s_n = 0,05$; $M'_n = 2,51 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 3) $s_{\kappa} = 0,55$; $M'_{\kappa} = 0,9 \cdot M_{\kappa} = 0,9 \cdot 5,77 = 5,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 4) $s_{\min} = 0,8$; $M'_{\min} = 0,8 \cdot M_{\min} = 0,8 \cdot 4,01 = 3,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 5) $s_n = 1$; $M'_n = 0,85 \cdot M_n = 0,85 \cdot 5,52 = 4,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Координати механічної характеристики $s = f(M'')$ з урахуванням допустимих відхилень напруги (– 5%):

- 1) $s = 0$; $M'' = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 2) $s_n = 0,093$; $M''_n = (0,95)^2 \cdot M'_n = (0,95)^2 \cdot 2,51 = 2,26 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 3) $s_{\kappa} = 0,56$; $M''_{\kappa} = (0,95)^2 \cdot M'_{\kappa} = (0,95)^2 \cdot 5,2 = 4,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 4) $s_{\min} = 0,8$; $M''_{\min} = (0,95)^2 \cdot M'_{\min} = (0,95)^2 \cdot 3,2 = 2,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 5) $s_n = 1$; $M''_n = (0,95)^2 \cdot M'_n = (0,95)^2 \cdot 4,69 = 4,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунків заносимо до табл.3.1.

Таблиця 3.1

**Розрахункові дані для побудови механічної характеристики
електродвигуна**

S	0	0,05	0,55	0,8	1
$\omega, \text{рад/с}$	314	298,3	141,3	62,8	0
$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	2,51	5,77	4,01	5,52
$M', \text{Н}\cdot\text{м}$	0	2,51	5,2	3,2	4,69
$M'', \text{Н}\cdot\text{м}$	0	2,26	4,69	2,9	4,23

Механічні характеристики двигуна $\omega=f(M)$, $\omega=f(M')$ $\omega=f(M'')$ будемо на рис.3.4.

Зведену до вала двигуна механічну характеристику робочої машини $M_c=f(\omega)$ розраховують за рівнянням:

$$M_c = \left[M_{o.} + (M_{c.n.} - M_{o.}) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \right], \quad (3.42)$$

де $M_{o.}$ – початковий момент статичних опорів робочої машини, Н·м; $M_{м.н.}$ – момент статичних опорів робочої машини при номінальній кутовій швидкості електродвигуна ω_n , Н·м; ω – кутова швидкість електро-двигуна при моменті M_c , с⁻¹; x – показник степеня, що характеризує зміну моменту статичних опорів робочої машини при зміні швидкості, $x=2$.

Момент статичних опорів робочої машини при номінальній кутовій швидкості визначають за формулою:

$$M_{м.н.} = 9550 \frac{P_{м.н.}}{n_{м.н.}}. \quad (3.43)$$

$$M_{м.н.} = 9550 \frac{0.75}{2850} = 2,51 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Тоді

$$M_c = \left[0,157 + (3,14 - 0,157) \left(\frac{\omega}{298,5} \right)^2 \right]. \quad (3.44)$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані розрахунку механічної характеристики робочої машини заносять в табл.3.2 і за ними на рис. 3.4 будують графік $M_c=f(\omega)$.

Таблиця 3.2

Розрахункова механічна характеристика насоса

$\omega, \text{рад/с}$	0	30	62,8	90	120	141,3	180	210	240	289,5	314
$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$	0,157	0,187	0,297	0,443	0,67	0,825	1,31	1,72	2,2	3,14	3,6

Для визначення часу пуску двигуна графічно знаходять різницю $M_{дин} = M''_d - M_c$ і будують графік динамічного моменту $\omega = f(M_{дин})$.

Графік $\omega = f(M_{дин})$ розділяють на окремі ділянки через довільні проміжки швидкості $\Delta\omega$ і знаходять середнє значення динамічного моменту $M_{дин.сер.}$ на кожній ділянці. Значення $\Delta\omega$ вибирають такими, щоб забезпечити достатню точність визначення $M_{дин.сер.}$

Зведений момент інерції електропривода і робочої машини з обертовими робочими органами до вала електродвигуна, кг/м^2 , визначають за формулою:

$$j_{зв} = j_{рот} + \frac{j_m}{i^2}, \quad (3.45)$$

$$j_{зв} = 0,0006 + \frac{0,005}{1} = 0,0056 \text{ кг/м}^2,$$

де $j_{рот}$ – момент інерції ротора електродвигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; j_m – момент інерції обертових частин робочої машини, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $i = \frac{n_n}{n_{м.н.}}$ – передаточне число механічної передачі.

Вісь кутової швидкості розбиваємо на 11 ділянок з кроком $\Delta\omega = 30 \text{ рад/с}$. На кожній ділянці визначаємо динамічний момент привода $M_{дин}$ за формулою: $M_{дин} = M_{dv} - M_c$ (табл. 3.3).

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3

.Розрахунок динамічного моменту привода насоса

$M_{\text{дов}},$ Н·м	4,23	3,5	2,9	3,4	4,6	4,69	4,3	3,9	3,4
$M_c, \text{ Н·м}$	0,157	0,187	0,297	0,443	0,67	0,825	1,31	1,72	2,2
$M_{\text{дин}},$ Н·м	4,07	3,31	2,6	2,95	3,93	3,86	2,99	2,18	1,2

Усереднюємо динамічний момент на ділянках за виразом:

$$M_{\text{дин}} = \frac{M_{\text{дин1}} + M_{\text{дин2}}}{2} = \frac{4,01 + 3,31}{2} = 3,66 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результати заносимо в табл.3.4.

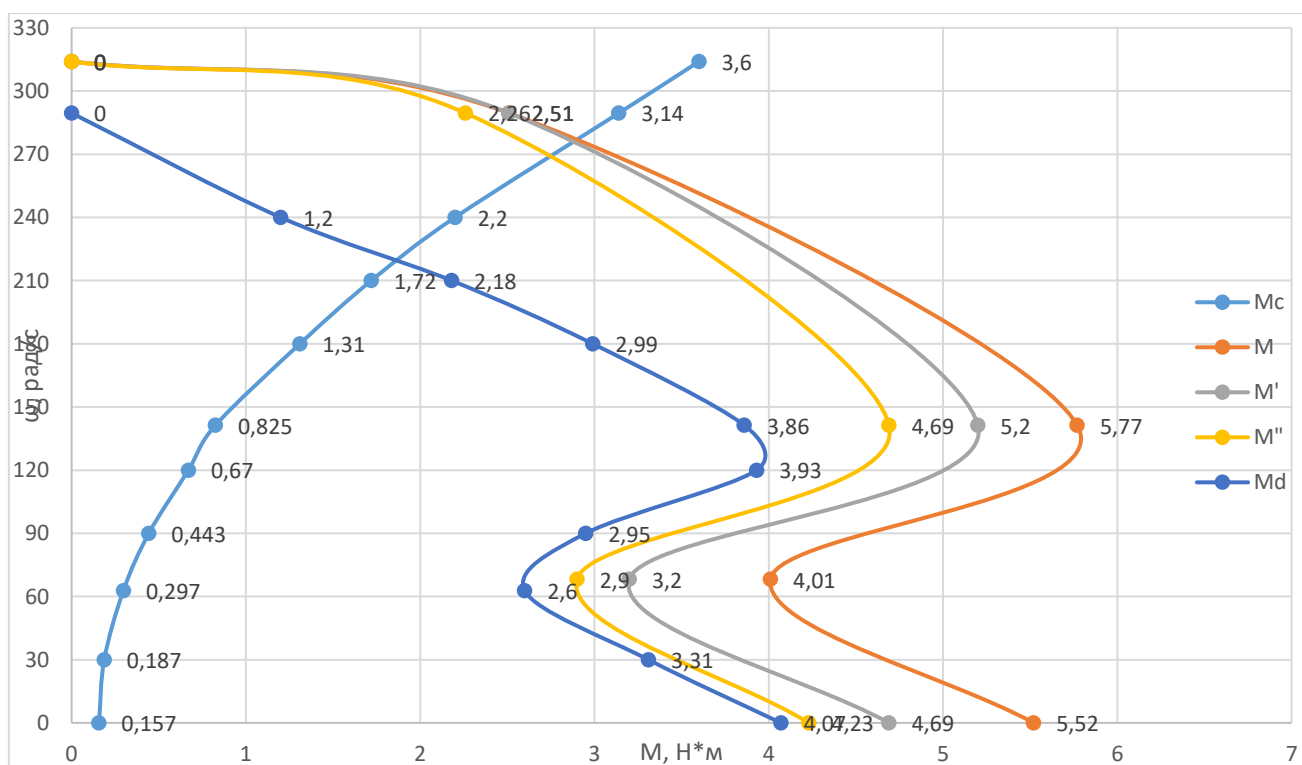


Рис. 3.4. Визначення часу пуску електродвигуна

Таблиця 3.4

Розрахунок часу пуску привода

$\Delta\omega$, рад/с	30	30	30	30	30	30	30	30
$M_{\text{дин.ср}}$, Н·м	3,6	2,9	2,7	3,44	3,9	3,4	2,6	1,69
Δt , с	0,045	0,055	0,06	0,047	0,041	0,047	0,062	0,095

Визначаємо приріст швидкості Δt на кожній ділянці:

$$\Delta t = j_{36} \cdot \frac{\Delta\omega i}{M_{\text{дин}}} = \frac{0,0056 \cdot 30}{3,6} = 0,045 \text{ с}$$

Результати заносимо в табл.3.4.

Визначаємо час пуску електродвигуна:

$$t_{\text{пуску}} = \sum \Delta t_i = 0,045 + 0,055 + 0,06 + 0,047 + 0,041 + 0,047 + 0,062 + 0,095 = 0,392 \text{ с.}$$

Перевірку за тепловим режимом під час пуску виконуємо за формулою (3.28):

$$150 > 8,1 \cdot 0,457 = 3,7 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Таким чином, двигун під час пуску не перегріватиметься.

Перевірку вибраного двигуна на перевантажувальну здатність не проводимо, оскільки двигун працює з постійним навантаженням, меншим за його номінальну потужність [4].

3.7. Розробка принципіальної електричної схеми поливання рослин у теплиці і підживлення мінеральними добривами

Принципіальна електрична поливання рослин у теплиці і підживлення мінеральними добривами показана на листі 3. Схема може працювати як в ручному, так і автоматичному режимі. Перемикання режимів роботи здійснюють

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перемикачами SA1 та SA2.

Для автоматичного керування перемикач SA1-2 ставлять у положення “А”. Керування насосом подачі води і живильного розчину ініціюється за допомогою автомату поливання рослин КТ1. Замикання контакту КТ1.1 відбувається в запрограмовані проміжки часу, що призводить до спрацювання пускача КМ1 вимикання двигуна насоса М одночасно з цим відбувається замикання контакту КТ1.2 і спрацювання проміжного реле КV4, його роль в вмиканні вентиля подачі живильного розчину в першу секцію теплиці. Якщо потік відсутній в системі для цього передбачено електроконтактний манометр SP який розриває коло живлення насоса

Під час поливання водою перемикач SA3 в розімкненому положенні. Для перемикачання на поливання з розчинами мінеральних добрив перемикач SA3 переводять у ввімкнене положення. Живильний розчин готується за допомогою пристроїв контролю рН-метра А1 і кондуктометра А2. При перевищенні рівня рН спрацьовує контакт рН-метра А1 і замикається, також спрацьовує проміжне реле КV1, воно забезпечує керування електромагнітним вентилем YА1, який подає кислоту.

Можливе зниження концентрації розчину контролюється кондуктометром А2, який замикає свій контакт, спрацьовують проміжні реле КV2 і КV3, які вмикають вентиля для подачі концентрованих розчинів з ємностей А та Б у систему поливання (YА2 і YА3).

У протилежному випадку зниження рН відносно заданого призводить до розмикання контакту рН-метра А1, і вентиль YА1 припиняє подачу кислоти. При перевищенні концентрації живильного розчину розмикається контакт кондуктометра А2 і вентиля YА2 і YА3 припиняють подачу концентрованих розчинів добрив.

Поливання рослин в теплиці виконується автоматом поливання, цей пристрій через задані проміжки часу керуючи своїми контактами КТ1.2...КТ1.7 вмикає проміжні реле КV4...KV9, що дає можливість проходження води і

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живильного розчину.

Ручне керування реалізоване за допомогою кнопок SB1...SB18, які при керують насосом подачі води і живильного розчину. Всі вентиля для подачі кислоти, розчинів концентрованих мінеральних добрив, подачі води також керуються за допомогою вище згаданих кнопок (SB1...SB18).

3.8. Вибір апаратів керування і захисту

Для побудови силової схеми та схеми керування потрібно провести вибір елементів принципової електричної схеми.

Автоматичні вимикачі вибирають за умовами:

1. за номінальною напругою апарата

$$U_{на} \geq U_{мережі};$$

$$380V \geq 380V$$

2. за номінальним струмом

$$I_{на} \geq I_{н.дв};$$

$$6A \geq 1,77A$$

3. за номінальним струмом розчіплювачів максимального струму

$$I_{н.розч.} \geq I_{н.дв.}$$

$$6,78A \geq 1,77A$$

4. вибирають кратність відсічки $K_{відс}$: характеристика спрацювання C.(5-10)

5. за конструктивними ознаками: автоматичний вимикач триполюсний з комбінованим розчіплювачем

6. за ступенем захисту від дії навколишнього середовища: IP20

7. за кліматичним виконанням і категорією розміщення УХЛ4

Вибраний вимикач перевіряють на не спрацювання при пуску двигуна за умовою:

$$I_{від} = K_{від} \cdot I_{н.розч.} \geq K_z \cdot K_{ру} \cdot K_{рпс} \cdot K_I \cdot I_{н.дв}$$

$$70 = 10 \cdot 7 \geq 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 8 \cdot 1,77$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови вибору виконуються.

Вибираємо автоматичний вимикач (QF1) ВА47-29 С 3р.

Вибираємо автоматичний вимикач (QF2) для захисту кола керування електромагнітних клапанів: ВА47-29 3р 3А , IP20, УХЛ4.

Електромагнітний пускач вибираємо за умовами:

- 1) за номінальною напругою пускача

$$U_{п.ном.} \geq U_{м.};$$

$$380В \geq 380В;$$

- 2) за номінальним робочим струмом:

$$I_{п.ном.р.} \geq I_{дв.ном.};$$

$$6А \geq 1,77А;$$

- 3) за призначенням – нереверсивний;

- 4) за ступенем захисту від дії навколишнього середовища IP20;

- 5) за кліматичним виконанням і категорією розміщення УХЛ4;

- 6) за родом струму і напругою втягувальної котушки

$$U_{кот.ном.} = U_{кер.};$$

$$220В = 220В;$$

- 8) за стійкістю контактів головного кола проти комутаційних спрацювань

Б.

Вибираємо електромагнітний пускач (KM1) ПМ 0-06-01.

Теплові реле вибирають за умовами::

- 1) тип реле – за типом магнітного пускача (ПМ).

- 2) номінальний струм реле повинен бути не менше номінального струму двигуна: $I_{т.р.н} \geq I_{н.дв.};$

$$2,5А \geq 1,77А$$

- 3) номінальний струм двигуна повинен бути всередині діапазону регулювання струму неспрацювання реле: $I_{р.макс.} \geq I_{н.дв} \geq I_{р.мін.}$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2,5A \geq 1,77A \geq 1,6A$$

Вибираємо теплове реле (КК-1) РТИ 13-07.

Вибираємо три електромагнітні клапани (YA1,YA2,YA3) для регулювання подачі концентрованих добрив і кислоти. Принцип вибору в залежності від пропускної спроможності клапанів. Вибираємо електромагнітний клапан E107BB10///301 з пропускною спроможністю 1,5 м³/год з можливим перепадом тиску 0,15...25 бар. Котушка змінного струму на 24В. Захист з конектором IP65 (6 – повний захист від проникнення пилу, 5 – захист від потоків води під будь-яким кутом)

Вибираємо вісім проміжних реле (KV1...KV9) для комутації схеми в автоматичному і ручному режимах. Принцип вибору від значення напруги котушки, струму який здатні комутувати контакти, кількості і виду контактів. Вибираємо проміжні реле РП-21 напругою котушки 220В, здатністю комутації струму в межах 0,01...6А, кількість нормально розімкнутих контактів 2 шт.

Вибираємо дев'ять (SB1-SB18) 2-клавішних APBB-22N, IP40 кнопових постів:

- за напругою кноповий пост розрахований на 220 В, що відповідає напрузі кола керування, де він буде встановлений;
- за кількість контактів один замкнений і один розімкнений;
- колір: “СТОП” – червоний; “СТАРТ” – зелений.

Вибираємо перемикач (SA1) пакетний CS-10-53-PN «1-0-2» 10А: перемикач відповідає основній вимозі схеми перемикання в два положення автоматичне (А) та ручне (Р) керування, а також нейтральне положення 0. На 3 полюса відповідно схемі, розрахований на 220В для розміщення в колі керування, ступінь захисту IP65.

Вибираємо перемикач (SA2) пакетний УП5316 «1-0-2» 16А: перемикач відповідає основній вимозі в даній схемі перемикання в два положення автоматичне (А) та ручне (Р) керування, а також нейтральне положення 0; на 5 полюсів відповідно схемі; розрахований на 220В для коли

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування.

Вибираємо тумблер (SA3) ТП1-2 «1-0» 10А.

Вибираємо рН-метр (A1) промисловий автоматичний рН-220.

Технічна характеристика:

нормувальне значення (X_n): -5;0;10;15 рН;

нижні кордони вимірювання (X_n) від -1 до +9 рН з інтервалом 0,5;

верхні кордони вимірювання $X_v = X_p + X_n$; діапазон виміру від -1 до +14 рН;

індикація показань – цифрова і на самописці;

діапазон вимірювання температури аналізованого середовища 0-100 °С;

діапазон термокомпенсації 0-150 °С;

напруга 220 В.

Вибираємо кондуктометр ЕС-2385 (A2) для визначення питомої електропровідності живильного розчину. Діапазон виміру 0,4-2,5 ЕС (4-52CF), 280-3640 ppm (ЕСх700), 200-3000 ppm (ЕСх500).

Вибираємо дев'ять сигнальних ламп (HL1-HL9) для сповіщення оператора про комутацію певних кіл в відповідності до їх встановлення. AD22-30AS-B Red 24V: колір червоний, джерело світла світлодіоди, напруга 24В, комплектуються резисторами для підключення в коло 220В.

Вибираємо трансформатор понижуючий (TV1) для підключення котушок електромагнітних клапанів ST315 Hager. Понижує напругу з 220В до 24В має засіб для встановлення на DIN-рейку, потужність 63ВА, напруга ізоляції 4000В.

Вибираємо реле часу програмоване добове (КТ1) ПРВ-2с. Призначене для вмикання та вимикання системи поливання в задані проміжки часу. Реле встановлюється на DIN-рейку, напруга 220В, струм 16А, потужність споживана 3Вт.

Вибираємо запобіжники для захисту кіл керування ПН-2, 6 А.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.9. Вибір пультів керування, проводів та кабелів

Вибираємо ввідний щит Quadro 5. Щит дозволяє розміщення 36 модулів, що задовольняє поставлені вимоги, має ступінь захисту IP55 (5 – захист від пилу майже герметичний; 5 – захист від струменів води). За кліматичним виконанням і категорією розміщення У2.

Для забезпечення живлення системи освітлення було вибрано кабель ВВГ 4х2,5.

Для освітлення технологічного проходу потрібно провести розрахунок живильного кабелю для системи освітлення. Кількість та вид ламп беремо з розрахунків пункту 3.3.

Кабель вибирають за робочим струмом обладнання, яке потрібно живити:

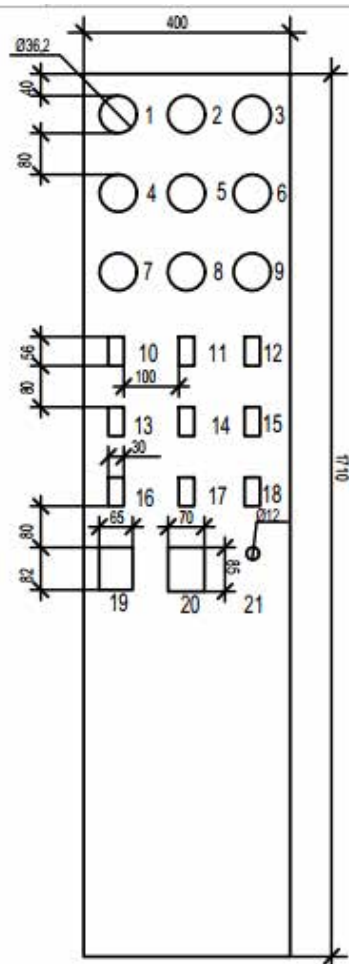
$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{уст}} \quad (3.46)$$

де $I_{\text{доп}}$ - тривало допустимий струм для кабелю; $I_{\text{уст}}$ – робочий струм обладнання, яке потрібно живити.

$$19 \geq 8.9$$

Вибираємо кабель ВВГ 3х1,5, який відповідає умові вибору.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Позначення	
1	Подача води
2	Подача кислоти
3	Подача концентрованих добрив
4	Подача в 1,2 секцію
5	Подача в 3 секцію
6	Подача в 4 секцію
7	Подача в 5 секцію
8	Подача в 6 секцію
9	Подача в 7 секцію
10	SB1,SB2 керування двигуном М
11	SB3,SB4 керування YA1(кислота)
12	SB5,SB6 керування YA2,YA3(добрива)
13	SB7,SB8 керування подачею в 1,2 секцію
14	SB9,SB10 керування подачею в 3 секцію
15	SB11,SB12 керування подачею в 4 секцію
16	SB13,SB14 керування подачею в 5 секцію
17	SB15,SB16 керування подачею в 6 секцію
18	SB17,SB18 керування подачею в 7 секцію
19	SA1 пермикання режиму "А" "Р"
20	SA2 пермикання режиму "А" "Р"
21	SA3 перемикання подачі живильного розчину

Рис. 3.5. Компоновка апаратів керування і сигналізації на дверях щита

3.10. Розрахунок електричних навантажень та вибір джерела живлення

Потужність на ввіді в теплицю визначаємо методом графіків навантаження. Складаємо технологічний графік, в якому зображуємо кількість годин, які буде працювати кожне окреме електрообладнання і в загальному зможемо побачити перетин одночасної роботи електрообладнання між собою.

Споживану потужність визначають за формулою:

$$P_{\text{сп}} = (P_{\text{н}} \cdot k_3) / \eta, \text{ кВт}, \quad (3.47)$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження;

$P_{\text{н}}$ – номінальна потужність двигуна;

η – ККД двигуна.

Технологічний графік роботи електрообладнання наведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Технологічний графік роботи електрообладнання

Найменування операції.	Тип робочої машини.	Руст., кВт.	η, ККД.	кз.	Рспож. кВт.	Час роботи, год.														
							0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14
Опромінення рослин	Світлодіодна установка	31,2	-	-	31,2	14	5-9	-----										17-24	-----	
Ел.двигун насоса подачі води до башти	ПЭДВ 4-114	4	0,72	0,7	3,9	4	8-9		11-12	--			--				17-18	--		
Ел.двигун насоса поливання	АІР71 А2	0,75	0,75	0,7	0,7	4	6-8	-----										17-19	-----	
Освітлення приміщень	-	1,925	-	-	1,925	4	7-9	-----										17-19	-----	
Підживлення СО ₂ , двигун вентилятора	АІР1 32М4 У2	11	0,88	0,7	8,75	2				10-11	----						14-15	----		
Рециркуляція повітря	JFD-500	0,25	-	-	1	4				10-11	----						14-15	----		

Погодинний максимум вибирається як проміжок з найбільшим споживанням потужності за півгодини.

$$P_{\max}=37,725 \text{ кВт.}$$

Потужність трансформаторної підстанції визначаємо за формулою:

$$S = \sqrt{(1,06 \cdot P)^2 + Q^2} \quad (3.48)$$

$$S = \sqrt{(1,06 \cdot 37.725)^2 + 20^2} = 44,72 \text{ кВт}$$

де Q – реактивна потужність, Q= 20 кВАр.

Для забезпечення потреб теплиці буде достатньо використати трансформаторну підстанцію КТП63-10/0,4-94-У1 з трансформатором ТМ-63.

Ця підстанція відповідає умові вибору за методом економічних інтервалів:

$$53 \leq 63 \leq 80.$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ					Арк.
										40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СВІТЛОДІОДНОГО ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН У ТЕПЛИЦЯХ

4.1 Порівняльна характеристика та обґрунтування вибору системи опромінення рослин у теплиці

Нині більшість тепличних господарств використовують для опромінення рослин натрієві лампи високого і низького тиску та металогалогенні лампи ДРИ. При цьому споживана потужність на квадратний метр досягає 125 Вт. Спектр натрієвих ламп лише частково замінює природний спектр, необхідний для росту і розвитку рослин.

Науково і практично доведено, що для опромінення рослин можна використовувати джерела світла на основі світлодіодів різного кольору свічення. Застосування світлодіодів як штучних джерел світла дозволить створити широкосмуговий опромінювач з регульованим спектром.

Для світлодіодного опромінення із змінним спектром випромінювання потрібне застосування великого числа живлячих проводів для кожного кольору окремо або складна і дорога система управління.

Застосування резонансної системи електроживлення джерел світла дозволяє позбутися від великої кількості проводів. У зв'язку з цим виникає завдання з розробкою технічних засобів на основі резонансної системи живлення світлодіодних джерел світла.

Для демонстрації переваги світлодіодного опромінення приводимо таблицю 4.1. З таблиці 4.1 можна зробити висновок, що теплична натрієва лампа має частку збігу спектрального розподілення в 2,4 рази менше порівняно з чотирикольоровою широкоплюсною системою. Це дозволяє розраховувати на покращення продуктивності і якості врожаю при використанні нового варіанту опромінювача.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняльна характеристика джерел опромінення

Опромінювач	Кількість світлодіодів в опромінювачі	Сумарне значення спектрального розподілення енергії джерела світла в спектральному діапазоні ФАР, у.о	Сумарне значення спектрального розподілення функції заснованої на спектрі дії фотосинтезу, у.о	Частка спектрального розподілу джерела світла з функцією, заснованою на спектрі дії фотосинтезу
Червоний+Синій СД	2	34,258	216,687	0,158
Червоний+Синій+Зелений+УФ СД	4	59,956		0,277
Оранжевий+Синій+Зелений+УФ СД	4	125,02		0,577
Оранжевий+Синій+Зелений+УФ+ІЧ СД	5	138,245		0,638
ДНаЗ		48,403		0,240

Додавання ще одного кольору (ІЧ 660nm) покращує частку співпадіння на 6,1 %, але ускладнює систему живлення. Тому для створення широкополісної системи освітлення на основі кольорових світлодіодів вибираємо чотирикольорову систему, що складається з таких світлодіодів: УФ 400 нм, Синій 470 нм, Зелений 525 нм, Оранжевий 600 нм.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Виходячи з наведеного кольорового співвідношення світлодіодів в світильнику, потужність передаючих перетворювачів складає 1 кВт, 3,2 кВт, 5 кВт і 2 2кВт для кожного кольору відповідно [12].

4.2 Розробка широкополюсного світильника для захищеного ґрунту

У теплиці застосовують опромінювачі підвісні з світлодіодними джерелами світла. Споживана потужність опромінювача для освітлення 20 Вт/м² складає 300 Вт.

Для найкращої рівномірності опромінення необхідно розрахувати оптичний кут розсіювача. Розрахунок проводиться на основі фрагмента 3м на 4м з висотою підвісу опромінювачів 2м. Мінімальний радіус опромінення розраховується за формулою:

$$R = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2} = \frac{\sqrt{1,5^2 + 2^2}}{2} = 1,25 \text{ м}, \quad (4.1)$$

де а – половина ширини фрагменту теплиці;

б – половина довжин фрагмента теплиці.

Вираховуємо кут розсіювання лінзи світильника:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{R}{H} = \frac{1,25}{2} = 0,625 \rightarrow \frac{\alpha}{2} = 32^\circ \quad \alpha = 64. \quad (4.2)$$

Для рівномірного освітлення площі 12 м² необхідно розмістити 4 джерела опромінення так, щоб радіус опромінення від кожного опромінювача був 1,25 м. Для цього при висоті підвісу 2 м відстань між опромінювачами повинна бути 1,5 м, а між рядами опромінювачів 2 м.

Використовуючи 4 світильників дає можливість отримати освітленість (Е) 10000 лм/м² (20 Вт/м² ФАР (*Фотосинтетична активна радіація*)). Розрахунок освітленості проведемо на основі методики коефіцієнта використання світлового потоку [19]:

$$F = N \frac{F}{S} K_3, \quad (4.3)$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де N – кількість опромінювачів, F – світловіддача, S – площа, K_3 – коефіцієнт запасу.

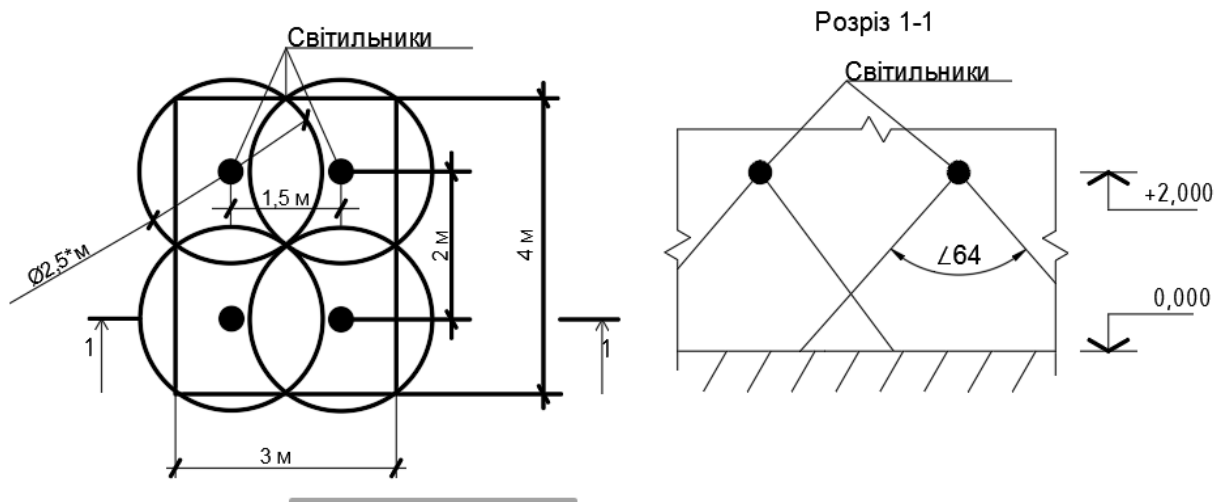


Рис. 4.1 Розміщення опромінювачів у фрагменті теплиці

Знайдемо необхідний світловий потік:

$$F = \frac{E \cdot S}{N \cdot K_3} = \frac{1000 \cdot 12}{4 \cdot 1,5} = 20000 \text{ лм.}$$

У цьому випадку, для забезпечення необхідної опроміненості фрагменту теплиці площею 12 м^2 нам необхідно 4 опромінювача з лінзами розсіювання в 64° , у комплекті яких 4 світлодіодні матриці (оранжевий, синій, зелений і УФ) загальною потужністю 300 Вт.

4.3 Розробка резонансної системи електроспоживання опромінювачів

На основі розрахованих спектральних характеристик чотирикольорового світлодіодного опромінювача для секції теплиці 9,6 на 70 м необхідно мати 100 чотирикольорових світильників потужністю 300 Вт, де загально споживана потужність складає 30 кВт. Виходячи з раніше визначеного кольорового співвідношення світлодіодів в світильнику, потужність передаючих перетворювачів складає 1 кВт, 3,2 кВт, 5 кВт та 22 кВт.

Кожен канал має такі характеристики:

					02.02.KP.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- первинна напруга ~380 В, 50 Гц;
- максимальна передаюча потужність P=1 кВт; 3,2 кВт; 5 кВт і 22 кВт;
- середня частота передачі f = 8 кГц;
- напруга в лінії передачі – 900 В;
- напруга в контурі – 2000 В;
- величина постійної напруги після випрямлення первинної напруги – 550 В;
- вхідна напруга в контур – 550/2=275 В.

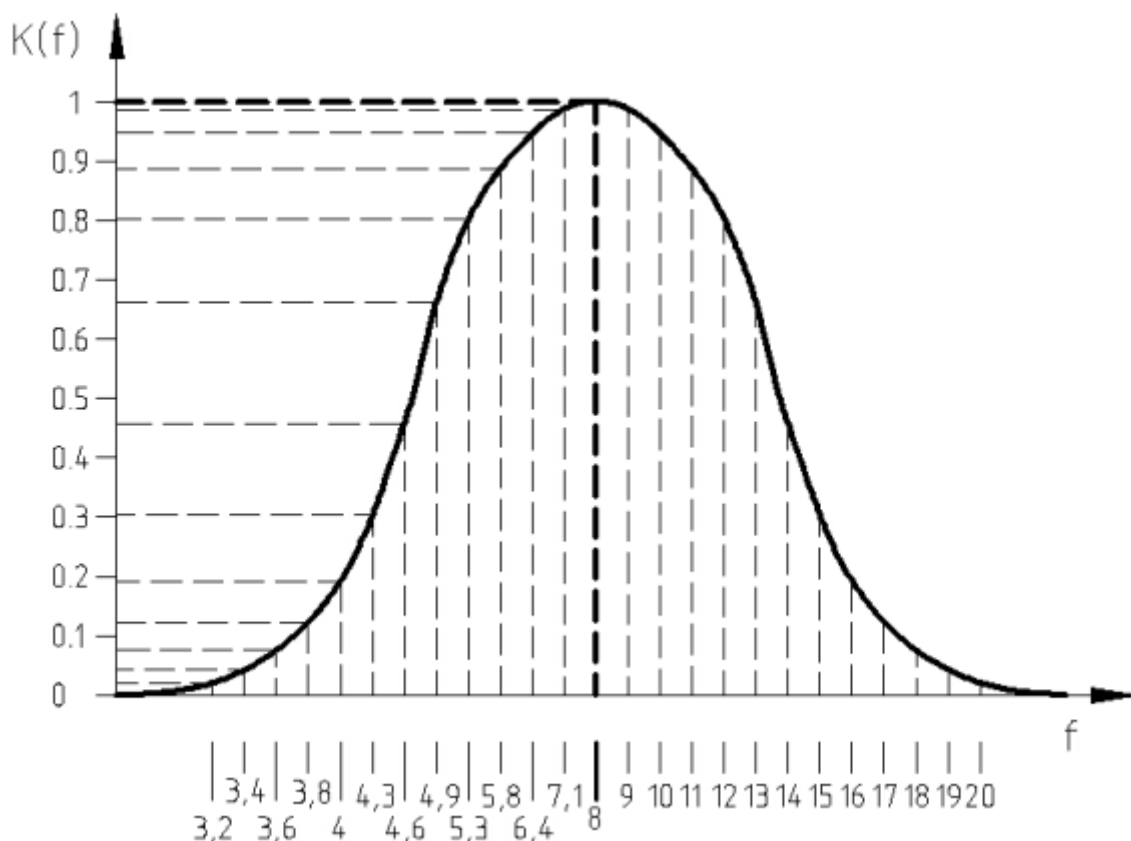


Рис. 4.2. Залежність коефіцієнта передачі потужності від частоти

Залежність коефіцієнта передачі потужності від частоти:

$$K(f) = 1.2 \cdot \sin(0.15 \cdot f) \cdot \sin\left(\frac{9.3}{f}\right) \times$$

$$\times \sin\left(\frac{24.7 \cdot f^2 \sin(0.15 \cdot f) \sin\left(\frac{9.3}{f}\right) \sin(6 + 0.14f)}{44.5 + f^3}\right) \quad (4.4)$$

де f – частота в задаючому генераторі, кГц.

Залежність потужності певного каналу світильника від частоти:

$$P_{\text{св}}(f) = P_{\text{св_макс}} \cdot K(f) \quad (4.5)$$

де $P_{\text{св_макс}}$ - максимальна потужність каналу, Вт

$K(f)$ – коефіцієнт передачі потужності

Основними елементами резонансної системи живлення і опромінення є резонансний передавальний трансформатор і приймальний знижувальний трансформатор.

Розрахунок характеристик контуру для перетворювача потужністю 1 кВт:

Ємність:

$$C = \frac{P_{\text{вих}} 1,3}{U_{\text{вих}} U_{\text{вх}} \omega} = \frac{1000 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 0,05 \text{ мкФ.} \quad (4.6)$$

Індуктивність:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 0,05 \cdot 10^{-6}} = 8,42 \text{ мГн.} \quad (4.7)$$

Реактивний струм:

$$I_{\text{конт}} = U_{\text{вих}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6} = 4,73 \text{ А.} \quad (4.8)$$

Розрахунок характеристик контуру для перетворювача потужністю 3,2кВт:

Ємність:

$$C = \frac{P_{\text{вих}} 1,3}{U_{\text{вих}} U_{\text{вх}} \omega} = \frac{3200 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 0,15 \text{ мкФ.} \quad (4.9)$$

Індуктивність:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 0,15 \cdot 10^{-6}} = 2,632 \text{ мГн.} \quad (4.10)$$

Реактивний струм:

$$I_{\text{конт}} = U_{\text{вих}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} = 15,1 \text{ А.} \quad (4.11)$$

Розрахунок характеристик контуру для перетворювача потужністю 5 кВт:

Ємність:

$$C = \frac{P_{\text{вих}} 1,3}{U_{\text{вих}} U_{\text{вх}} \omega} = \frac{5000 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 0,24 \text{ мкФ.} \quad (4.12)$$

Індуктивність:

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 0,24 \cdot 10^{-6}} = 1,684 \text{ мГн.} \quad (4.13)$$

Реактивний струм:

$$I_{\text{конт}} = U_{\text{вих}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 0,24 \cdot 10^{-6} = 23,6 \text{ А.} \quad (4.14)$$

Розрахунок характеристик контуру для перетворювача потужністю 22 кВт:
Ємність:

$$C = \frac{P_{\text{вих}} 1,3}{U_{\text{вих}} U_{\text{вх}} \omega} = \frac{22000 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 1,04 \text{ мкФ.} \quad (4.15)$$

Індуктивність:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 1,04 \cdot 10^{-6}} = 0,383 \text{ мГн.} \quad (4.16)$$

Реактивний струм:

$$I_{\text{конт}} = U_{\text{вих}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 1,04 \cdot 10^{-6} = 104 \text{ А.} \quad (4.17)$$

Розраховуємо параметри передавальних резонансних трансформаторів
(таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Параметри передавальних резонансних трансформаторів

Назва параметра	Ємність, С, мкФ	Індуктивність, L, мГн	Реактивний струм в контурі І _{конт} , А	Напруга в контурі, U, В	Резонансна частота, f, кГц
для 1кВт	0,05	8,42	4,73	2000	8
для 3,2 кВт	0,15	2,632	15,1		
для 5 кВт	0,24	1,684	23,6		
для 22 кВт	1,04	0,383	104		

Проведемо розрахунок габаритної потужності осердя для перетворювача потужності 22 кВт для живлення каналу з довжиною хвилі 600 нм. Вибираємо осердя з такими параметрами: S=24, S₀=134,56 (EE240).

$$P = 0,44 \frac{S_c S_0 f \cdot B_{\text{макс}}}{150} = 0,44 \frac{24 \cdot 134,56 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} \quad (4.18)$$

$$= 22735 \text{ Вт}$$

де S_c- площа перерізу (DxB),см², S₀ – площа перерізу вікна (h2 x (C-D), см²,

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$B_{\text{макс}}$ – магнітна індукція, Тл, 0,44 – коефіцієнт запасу з врахуванням роботи трансформатора в резонансному режимі.

Кількість витків в вікні осердя ЕЕ240:

$$W = \frac{100 \cdot S_0 \cdot K_0 \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 134,56 \cdot 0,255 \cdot 1,66}{104} = 54,8. \quad (4.19)$$

Густина струму в обмотках залежить від потужності трансформатора:

$$J = 1,5 + \frac{24}{\sqrt{P_{\text{трансф}}}} \quad (4.20)$$

Таблиця 4.3

Розрахована густина струму

Назва параметра	Густина струму в обмотках
для 1кВт	2,26
для 3,2 кВт	1,92
для 5 кВт	1,84
для 22 кВт	1,66

Зазор силової обмотки з осердям:

$$\delta = \frac{\mu_0 I_{\text{макс}} W}{B_{\text{макс}}} = \frac{0,00125 \cdot 104 \cdot 54,8}{0,3} = 23,8 \text{ мм.} \quad (4.21)$$

Перевіряємо індуктивність обмотки з зазором:

$$L = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot S_c K_c W^2}{\delta} = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 24,1 \cdot 1 \cdot 54,8^2}{23,8} \quad (4.22)$$

$$= 0,380 \text{ мГн.}$$

Розрахункова індуктивність обмотки збіглася з необхідною індуктивністю контуру з точністю 99,2 %.

Число витків вихідної обмотки

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% = 54,8 \cdot 0,45 + 5\% = 25,9 \quad (4.23)$$

де W_1 – число витків обмотки 1, n_{Tp} - коефіцієнт трансформації

Проводимо розрахунок габаритної потужності осердя для перетворювача потужності 5 кВт для живлення каналу з довжиною хвилі 525 нм. Вибираємо осердя з такими параметрами: $S=16$, $S_0=60,8$ (ЕЕ160А):

$$P = 0,44 \frac{S_c S_0 f \cdot B_{\text{макс}}}{150} = 0,44 \frac{16 \cdot 60,8 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} \quad (4.24)$$

$$= 6848 \text{ Вт.}$$

Кількість витків у вікні осердя EE160A:

$$W = \frac{100 \cdot S_0 \cdot K_0 \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 60,8 \cdot 0,18 \cdot 1,81}{23,4} = 85,2. \quad (4.25)$$

Зазор осердя:

$$\delta = \frac{\mu_0 I_{\text{макс}} W}{B_{\text{макс}}} = \frac{0,00125 \cdot 23,6 \cdot 85,2}{0,3} = 8,4 \text{ мм.} \quad (4.26)$$

Перевіряємо індуктивність обмотки з зазором:

$$L = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot S_c K_c W^2}{\delta} = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 16 \cdot 1 \cdot 85,2^2}{8,4} \quad (4.27)$$

$$= 1,730 \text{ мГн.}$$

Розрахункова індуктивність обмотки збіглася з необхідною індуктивністю контуру з точністю 97,4 %.

Число витків вихідної обмотки:

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% = 85,2 \cdot 0,45 + 5\% = 40,2. \quad (4.28)$$

Проводимо розрахунок габаритної потужності осердя для перетворювача потужності 3,2 кВт для живлення каналу з довжиною хвилі 470 нм. Вибираємо осердя з такими параметрами: S=16, So=30,72 (EE128).

$$P = 0,44 \frac{S_c S_0 f \cdot B_{\text{макс}}}{150} = 0,44 \frac{16 \cdot 30,72 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} \quad (4.29)$$

$$= 3460 \text{ Вт}$$

Кількість витків у вікні осердя EE128:

$$W = \frac{100 \cdot S_0 \cdot K_0 \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 30,72 \cdot 0,21 \cdot 1,92}{15,1} = 82,1 \quad (4.30)$$

Розрахунок зазора осердя:

$$\delta = \frac{\mu_0 I_{\text{макс}} W}{B_{\text{макс}}} = \frac{0,00125 \cdot 15,1 \cdot 82,1}{0,3} = 5,2 \text{ мм} \quad (4.31)$$

Перевіряємо індуктивність обмотки з зазором:

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot S_c K_c W^2}{\delta} = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 16 \cdot 1 \cdot 82,1^2}{5,2} = 2,604 \text{ мГн.} \quad (4.32)$$

Розрахункова індуктивність обмотки збіглася з необхідною індуктивністю контуру з точністю 98,9%.

Число витків вихідної обмотки:

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% = 82,1 \cdot 0,45 + 5\% = 38,8 \quad (4.33)$$

Проводимо розрахунок габаритної потужності осердя для перетворювача потужності 1 кВт для живлення каналу з довжиною хвилі 400 нм. Вибираємо осердя з такими параметрами: S=6,66, So=22,8 (EE110/18,5).

$$P = 0,44 \frac{S_c S_o f \cdot B_{\text{макс}}}{150} = 0,44 \frac{6,66 \cdot 22,8 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} = 1069 \text{ Вт.} \quad (4.34)$$

Кількість витків у вікні осердя EE110/18,5:

$$W = \frac{100 \cdot S_o \cdot K_o \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 22,8 \cdot 0,183 \cdot 2,26}{4,73} = 199,5. \quad (4.35)$$

Зазор осердя:

$$\delta = \frac{\mu_0 I_{\text{макс}} W}{B_{\text{макс}}} = \frac{0,00125 \cdot 4,473 \cdot 228,8}{0,3} = 3,9 \text{ мм} \quad (4.36)$$

Перевіряємо індуктивність обмотки з зазором:

$$L = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot S_c K_c W^2}{\delta} = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 6,66 \cdot 1 \cdot 199,5^2}{3,9} = 8,427 \text{ мГн} \quad (4.37)$$

Розрахункова індуктивність обмотки збіглася з необхідною індуктивністю контуру з точністю 99,9%.

Число витків вихідної обмотки:

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% = 199,5 \cdot 0,45 + 5\% = 94,2. \quad (4.38)$$

Для чотирикольного опромінювача загальною потужністю 300 Вт використовується зворотній перетворювач, включаючий в себе 4 окремих знижувальних трансформатори з випрямлячами.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.4

Розрахункові параметри передавальних трансформаторів

Канал з довжиною хвилі	Потужність каналу Р, Вт	Осердя конфігурації “ЕЕ”	Габарит на потужність осердя Р, Вт	Число витків первинної обмотки W1	Зазор осердя δ, мм	Число витків вторинної обмотки W2
400 нм	1000	ЕЕ110/18,5	1069	199,5	3,9	94,2
470 нм	3200	ЕЕ128	3460	82,1	5,2	38,8
525 нм	5000	ЕЕ160А	6848	85,2	8,4	40,2
600 нм	22000	ЕЕ240	22735	54,8	23,8	25,9

Приймаючий блок кожного каналу в кожному опромінювачі має такі характеристики (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5

Характеристики каналів приймального блоку

Колір світлодіода	Вихідна потужність Р _{вих} , Вт	Струм вихідний, І _{вих} , А	Напруга вхідна U _{вх} , В	Напруга вихідна, U _{вих} , В	Резонансна частота, f, кГц
400 нм	10	0,4	900	24	8
470 нм	32	1,3			
525 нм	50	2,1			
600 нм	220	9,2			

Для зворотного перетворювача УФ світлодіодів потужністю 10 Вт вибираємо осердя конфігурації “Ш” розміром 7х7. Розрахунок габаритної потужності осердя (Ш7х7, S_c=0,49, S_o=1,14):

$$P = \frac{S_c S_o f \cdot B_{\text{макс}}}{150} = 2 S_c S_o f \cdot B_{\text{макс}} \cdot \eta \cdot J \cdot k_m \cdot k_\phi \cdot 10^{-2} \quad (4.39)$$

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = 2 \cdot 0,49 \cdot 1,14 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 15,88 \text{ Вт}, \quad (4.40)$$

де S_c - площа перерізу, см^2 , S_0 - площа перерізу вікна, см^2 , $B_{\text{макс}}$ – магнітна індукція, Тл, η – КПД трансформатора, k_m – коефіцієнт заповнення вікна міддю ($k_m = 0,15 \dots 0,3$), k_ϕ – коефіцієнт форми сигналу ($k_\phi = 1,0 \dots 1,5$), J – густина струму в обмотках ($J=1,8 \dots 4$),

Число витків первинної обмотки:

$$W = \frac{U_{\text{вх}} 10000}{4f B_{\text{макс}} S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,49} = 2870. \quad (4.41)$$

Струм вхідний первинної обмотки:

$$I_{\text{вх}} = \frac{P}{U} = \frac{15,88}{900} = 0,018 \text{ А}. \quad (4.42)$$

Струм вхідний вторинної обмотки:

$$I_{\text{вх}} = \frac{15,88}{24} = 0,66 \text{ А}. \quad (4.43)$$

Переріз провідника первинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{вих}}}{J} = \frac{0,018}{3,46} = 0,051 \text{ м}^2. \quad (4.44)$$

Переріз провідника вторинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{вх}}}{J} = \frac{0,66}{3,46} = 0,19 \text{ м}^2. \quad (4.45)$$

Число витків вторинної обмотки:

$$W = \frac{W_1 U_{\text{обм}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{2870 \cdot 24}{900} = 76,5, \quad (4.46)$$

де W_1 і W_2 – число витків, $U_{\text{обм}}$ - напруга обмотки, В.

Приймальний трансформатор розрахований для каналу потужністю 10 Вт з запасом за потужністю (15,88 Вт), вибране осердя – Ш7х7.

Для зворотного перетворювача синіх світлодіодів потужністю 32 Вт вибираємо осердя конфігурації "Ш" розміром 10х10.

Проводимо розрахунок габаритної потужності осердя (Ш10х10, $S_c=1,0$, $S_0=2,08$):

					02.02.КР.2607"С".2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$P = 2 \cdot 1,0 \cdot 2,08 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 59,13 \text{ Вт.} \quad (4.47)$$

Розрахунок числа витків первинної обмотки:

$$W = \frac{U_{\text{ВХ}} 10000}{4fB_{\text{макс}}S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 1,0} = 1406. \quad (4.48)$$

Струм вхідний первинної обмотки:

$$I_{\text{ВХ}} = \frac{P}{U} = \frac{59,13}{900} = 0,066 \text{ А.} \quad (4.49)$$

Струм вхідний вторинної обмотки:

$$I_{\text{ВХ}} = \frac{59,13}{24} = 2,46 \text{ А.} \quad (4.50)$$

Переріз провідника первинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{ВІХ}}}{J} = \frac{0,066}{3,46} = 0,019 \text{ м}^2. \quad (4.51)$$

Переріз провідника вторинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{ВХ}}}{J} = \frac{2,46}{3,46} = 0,71 \text{ м}^2. \quad (4.52)$$

Число витків вторинної обмотки:

$$W = \frac{W_1 U_{\text{обм}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{1406 \cdot 24}{900} = 37,5, \quad (4.53)$$

де W_1 і W_2 – число витків, $U_{\text{обм}}$ – напруга обмотки, В.

Приймальний трансформатор розрахований для каналу потужністю 32 Вт з запасом по потужності (59,13Вт), вибране осердя – Ш10х10.

Для зворотного перетворювача синіх світлодіодів потужністю 50 Вт вибираємо осердя конфігурації "Ш" розміром 10х10. Проводимо розрахунок габаритної потужності осердя (Ш10х10, $S_c=1,0$, $S_o=2,08$):

$$P = 2 \cdot 1,0 \cdot 2,08 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 59,13 \text{ Вт.} \quad (4.54)$$

Число витків первинної обмотки:

					02.02.КР.2607"С".2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W = \frac{U_{\text{ВХ}} 10000}{4fB_{\text{макс}}S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 1,0} = 1406. \quad (4.55)$$

Струм вхідний первинної обмотки:

$$I_{\text{ВХ}} = \frac{P}{U} = \frac{59,13}{900} = 0,066 \text{ А}. \quad (4.56)$$

Струм вхідний вторинної обмотки:

$$I_{\text{ВХ}} = \frac{59,13}{24} = 2,46 \text{ А}. \quad (4.57)$$

Переріз провідника первинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{ВІХ}}}{J} = \frac{0,066}{3,46} = 0,019 \text{ м}^2. \quad (4.58)$$

Переріз провідника вторинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{ВХ}}}{J} = \frac{2,46}{3,46} = 0,71 \text{ м}^2 \quad (4.59)$$

Розрахунок числа витків вторинної обмотки:

$$W = \frac{W_1 U_{\text{обм}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{1406 \cdot 24}{900} = 37,5, \quad (4.60)$$

де W_1 і W_2 – число витків, $U_{\text{обм}}$ - напруга обмотки, В.

Приймальний трансформатор розрахований для каналу потужністю 50 Вт з запасом по потужності (59,13Вт), вибране осердя – Ш10х10.

Для кожного перетворювача оранжевих світлодіодів потужністю 220 Вт вибираємо осердя "Ш" розміром 16х20. Проводимо розрахунок габаритної потужності осердя (Ш16х20, $S_c=3,2$, $S_o=4,18$):

$$P = 2 \cdot 3,2 \cdot 4,18 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 380,27 \text{ Вт}. \quad (4.61)$$

Число витків первинної обмотки:

$$W = \frac{U_{\text{ВХ}} 10000}{4fB_{\text{макс}}S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 3,2} = 439,5. \quad (4.62)$$

Струм вхідний первинної обмотки:

$$I_{\text{ВХ}} = \frac{P}{U} = \frac{78,83}{900} = 0,423 \text{ А}. \quad (4.63)$$

					02.02.КР.2607"С".2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм вхідний вторинної обмотки:

$$I_{\text{вх}} = \frac{380,27}{24} = 15,8 \text{ А.} \quad (4.64)$$

Переріз провідника первинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{вих}}}{J} = \frac{0,423}{3,46} = 0,122 \text{ м}^2. \quad (4.65)$$

Переріз провідника вторинної обмотки:

$$S = \frac{I_{\text{вх}}}{J} = \frac{15,8}{3,46} = 4,58 \text{ м}^2. \quad (4.66)$$

Число витків вторинної обмотки:

$$W = \frac{W_1 U_{\text{обм}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{439,5 \cdot 24}{900} = 11,7, \quad (4.67)$$

де W_1 і W_2 – число витків, $U_{\text{обм}}$ - напруга обмотки, В.

Приймальний трансформатор розрахований для каналу потужністю 220Вт з запасом по потужності (380,27Вт), вибране осердя – Ш16х20.

Таблиця 4.6

Параметри приймальних трансформаторів

Канал для кольору світлодіода	Осердя конфігурації “Ш”	Габаритна потужність осердя Р, Вт	Число витків первинної обмотки W1	Струм первинної обмотки $I_{\text{вх}}$, А	Струм вторинної обмотки $I_{\text{вих}}$, А	Переріз провідника первинної обмотки $S_{\text{вх}}$, мм ²	Переріз провідника вторинної обмотки $S_{\text{вих}}$, мм ²	Число витків вторинної обмотки W2
400 нм	Ш7х7	15,88	2870	0,018	0,66	0,005	0,19	76,5
470 нм	Ш10х10	59,13	1406	0,066	2,46	0,019	0,71	37,5
525 нм	Ш10х10	59,13	1406	0,066	2,46	0,019	0,71	37,5
600 нм	Ш16х20	439,27	439,5	0,423	15,8	0,122	4,58	11,7

4.4 Опис схеми системи опромінення

Блок-схема широкоплусної регульованої системи опромінення з резонансним електроживленням представлена на рис. 4.3.

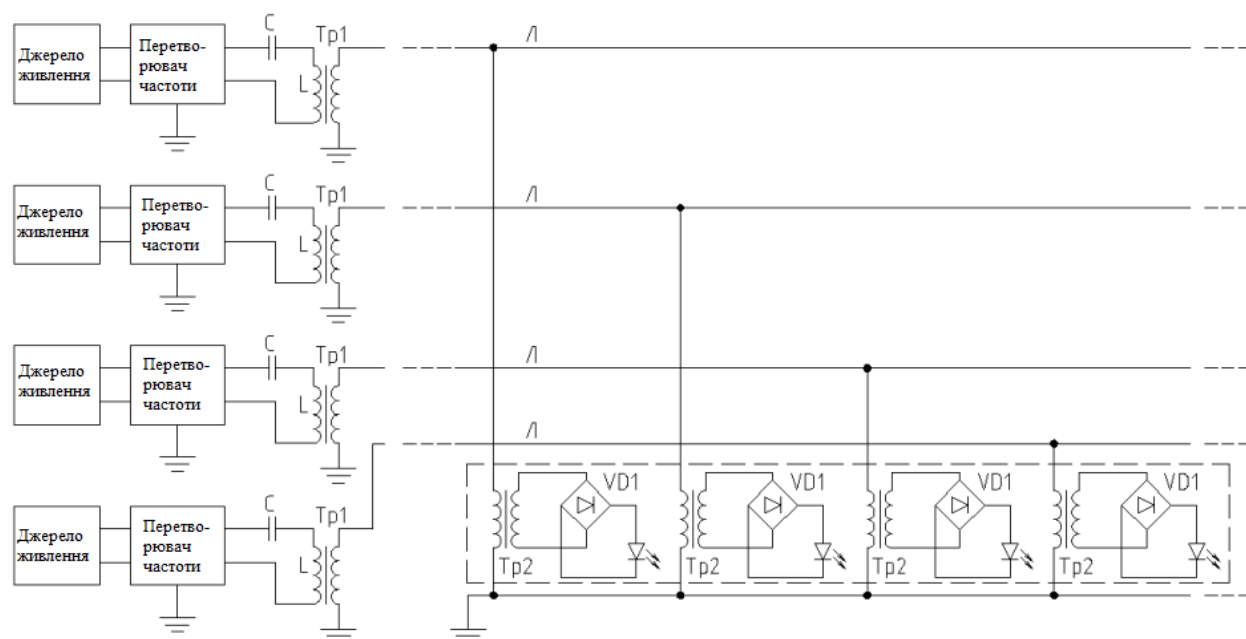


Рис. 4.3 Схема живлення світлодіодної системи опромінення

Блок керування складається з перетворювача частоти, який задає необхідний рівень опроміненості в кожному каналі, і забезпечує плавне включення-вимкнення світильників.

Передаючий перетворювач частоти складається з випрямляча, задаючого генератора 4,0...12,0 кГц, попереднього підсилювача потужності та підсилювача потужності.

До перетворювача частоти підключений LC - контур, який є частиною передавального резонансного трансформатора. До вихідної обмотки трансформатора підключена лінія електропередачі. Лінія електропередачі з'єднана з вихідною обмоткою трансформатора зворотного перетворювача напруги. До вихідної обмотки трансформатора зворотного перетворювача підключений випрямляч, до виходу якого підключені світлодіоди [13].

Резонансна система живлення світлодіодів працює так. Напруга мережі, підведена до перетворювача частоти, перетворюється в напругу високої частоти, і подається на резонансний трансформатор, що складається з LC-контурі і вихідної обмотки, з якого напруга подається на лінію, до неї підключені приймальні трансформатори випрямляча, від яких живляться світлодіоди.

РОЗДІЛ 5

ЗАХОДИ З ЕНЕРГОГЗБЕРЕЖЕННЯ І БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

5.1 Енергозбереження в зимовій теплиці

Для зниження тепловтрат через огорожуючі конструкції доцільно застосовувати двошарове покриття, стаціонарні або трансформовані екранита автоматичне регулювання мікроклімату в теплиці. Двошарові покриття зменшують споживання теплової енергії на 30...40 %.

Розміщення двошарового плівкового покриття забезпечує економію теплоти біля 50 %. Перспективним є застосування трансформованих екранів, які забезпечують економію теплової енергії на 30...50 %.

Значну економію теплоти дає зниження інфільтрації повітря шляхом ущільнення фрамуг, дверей, стиків скляних покриттів. Для зменшення інфільтрації в останній час отримало натягування поліетиленової плівки на зовнішню або внутрішню поверхню скляної теплиці.

Автоматизація регулювання температури в теплицях забезпечує економію енергії 20...25 %.

У зимовій теплиці з метою енергозбереження повинна бути замінена опромінювальна системи. Оскільки в більшості теплиць для опромінювання використовуються лампи ДНаЗ, тому саме з цією системою буде проводитись порівняння і наводитись переваги відносно неї.

У сучасному виробництві рослинної продукції розпоширення набули широкополюсні світлодіодні системи, які значно зменшують витрати на електроенергію по причині зменшення споживання їх джерелами світла.

Ця система не тільки зменшує витрати на електроенергію, але й принцип її функціонування дає змогу більш точно налаштовувати спектр випромінювання системи завдяки комбінації ламп з різним діапазоном спектру, що в свою чергу значно розширює його загальний діапазон і дає змогу досягати прибутку в коротші строки.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Заходи з безпеки праці в зимовій теплиці

Зимові теплиці відносять до особливо сирих приміщень, в яких вологість досягає 100 % і наявна конденсація на усіх поверхнях, тому підхід до експлуатації та виконання приписів з безпеки праці мають свою специфіку.

Велика увага приділяється нагляду за справністю системи поливання, а оскільки в теплиці поливна вода вже містить в собі мінеральні добрива і кислоту, то потрібно слідкувати за її справністю.[5].

Відносно персоналу, який виконує роботи в даних технологічних ланках, необхідно контролювати наявність та справність засобів колективно та індивідуального захисту. Виконувати роботи заправки ємностей з добривами, або кислотою повинно виконувати не менше двох робітників. Роботи, які виконують при висадці рослин повинні обов'язково виконуватися при штучному досвічуванні.

У теплицях одними з найбільших шкідливих факторів є хімічні і біологічні. До хімічних відносять внесення різноманітних добрив, пестицидів; великою небезпекою є підвищений рівень CO₂ та інших хімічних сполук, що потрапляють в середовище, в якому можуть працювати люди.

Відносно біологічних можна виділити два фактори:

- патогенні мікроорганізми (різноманітна фауна мікросвіту така бактерії, грибкові організми, вірусні організми тощо);
- макроорганізми (відносять дрібних тварин та комах).

При обробці рослин ядохімікатами необхідна в обов'язковому порядку наявність спецодягу, протигазів типу ПШ-1 та респіраторів типу РУ-60. Для попередження обслуговуючого персоналу застосовується сигналізація, яка передбачає видачу світлових та звукових сигналів при обробці отрутохімікатами, при термічному обробітку ґрунту та при підживленні рослин вуглекислим газом.

Рівні шкідливих і небезпечних виробничих факторів регулюються відповідно норм технологічного проектування та санітарних норм:

- рівень шуму за ГОСТ 12.1.003-83, ДНАОП 0.03-3.14-85;

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- рівень вібраційного фону – ДНАОП 0.03-.12-84;
- мікрокліматичні параметри – ГОСТ 12.1.005-88 і ДНАОП 0.03.3-20-93;
- концентрації шкідливих речовин тобто концентрованих добрив, кислот, пестицидів – Перелік пестицидів і агрохімікатів використання яких схвалено в Україні і додатками до нього [15].

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОДІОДНОЇ СИСТЕМИ ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН У ЗИМОВІЙ ТЕПЛИЦІ

Для порівняльної оцінки доцільності модернізації опромінювальної системи проведемо техніко-економічні розрахунки. Під існуючою системою опромінення мається на увазі система з використанням ламп ДНаЗ-600, під новою або модернізованою – система з широкополосною системою зі світлодіодним опроміненням.

Проведення розрахунків передбачає наявність вихідних даних, які наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Порівняння систем опромінення рослин у теплиці

Система опромінення	Об'єкт – один проліт багатопролітної теплиці розміром 9,6 на 70 м			
	Тип опромінювача	Потужність лампи, Вт	Кількість опромінювачів	Загальна потужність, кВт
Існуюча система	ДНаЗ - 600	600	100	63
Широкополосна система опромінення з резонансним електроживленням	Комбінація світлодіодів	300	100	31,2

У більшості тепличних господарств існуюча система освітлення складається з опромінювачів на основі ламп ДНаЗ-600. Заміна цих опромінювачів на світлодіодні призведе до значного зниження споживаної електроенергії, зменшення витрат на оплату споживаної потужності, дасть можливість зменшити витрати на обслуговування, покращить спектральні характеристики джерела опромінення.

Встановлена потужність опромінювальної установки до модернізації розраховується з урахуванням витрат на пускорегулювальну апаратуру опромінювача, яка становить для ламп ДНаЗ 4-6 %.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Економічний ефект від використання модернізованої системи опромінення розраховують так:

$$E = \Delta C_e - IC \quad (\text{тис. грн}), \quad (6.1)$$

де ΔC_e – економія грошових ресурсів за рахунок зменшення оплати електроенергії і експлуатаційних витрат, тис.грн; IC – інвестиційні витрати на модернізацію системи опромінення, тис.грн.

Затрати на модернізацію системи опромінення (IC) складаються з таких складових:

- вартість опромінювального обладнання;
- затрати на проектні роботи;
- затрати на монтаж і ввід в експлуатацію опромінювального обладнання і системи керування.

Економія грошових ресурсів може бути розрахована за формулою:

$$\Delta C_e = C_{o.п} - C_{e.м} \quad (\text{тис. грн}), \quad (6.2)$$

де $C_{o.п}$ – затрати на обслуговування існуючої системи опромінення, тис.грн;
 $C_{e.м}$ – затрати на обслуговування модернізованої системи опромінення, тис. грн.

Затрати на обслуговування існуючої системи опромінення складаються з таких складових:

$$C_{o.п} = C_{e.п} - C_{p.п} \quad (\text{тис. грн}), \quad (6.3)$$

де $C_{e.п}$ – затрати на оплату електроенергії існуючої системи опромінення, тис. грн; $C_{p.п}$ – затрати на експлуатаційне обслуговування існуючої системи опромінення, тис. грн.

Затрати на обслуговування існуючої системи опромінення складаються з витрат на заміну ламп, їх утилізацію і роботу по заміні, а також витрат на проведення ремонтів опромінювальних приладів тощо.

Затрати на обслуговування модернізованої системи опромінення складаються з таких складових:

					02.02.KP.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{e.m} = C_{e.m} - C_{p.m} \quad (\text{тис. грн}), \quad (6.4)$$

де $C_{e.m}$ – затрати на оплату електроенергії модернізованої системи опромінення, тис. грн.; $C_{p.m}$ – затрати на обслуговування модернізованої системи опромінення, тис.грн.

Затрати на обслуговування модернізованої системи опромінення складаються з витрат на ремонт опромінювальних приладів.

Оплата за споживану системою опромінення електроенергію без модернізації:

$$C_{e.п} = \sum_{i=1}^i W_{п_i} * Te_i \quad (\text{тис. грн}), \quad (6.5)$$

де $W_{п_i}$ – споживання електроенергії системою опромінення за i -й рік до модернізації, кВт; Te_i – тариф на електроенергію в i -му році до модернізації грн./кВт·год. (потрібно врахувати зміну ціни на електроенергію в межах 10-15 %).

Оплата за спожиту системою опромінення електроенергію після модернізації:

$$C_{e.m} = \sum_{i=1}^i W_{m_i} * Te_i \quad (\text{тис. грн}), \quad (6.6)$$

де W_{m_i} – споживання електроенергії системою опромінення за i -й рік після модернізації освітлення, кВт; Te_i – тариф на електроенергію в i -й рік після модернізації, грн./кВт·год. У розрахунках необхідно врахувати щорічне підвищення тарифу.

Споживання електроенергії системою опромінення за рік без модернізації, кВт·год:

$$W_{п} = \sum_{i=1}^i P_{п_i} * Tr_{ч_i}, \quad (6.7)$$

де $P_{п_i}$ – встановлена потужність системи освітлення в i -й рік до модернізації; $Tr_{ч_i}$ - час роботи опромінювальної установки за i -й рік до модернізації, год.

					02.02.KP.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Споживання електроенергії системою опромінення за рік після модернізації, кВт·год:

$$W_{\text{м}} = \sum_{i=1}^i P_{\text{м}i} * T_{\text{р}i\text{ч}i}, \quad (6.8)$$

де $P_{\text{м}i}$ – встановлена потужність системи опромінення за i -й рік після модернізації; $T_{\text{р}i\text{ч}i}$ – час роботи опромінювальної установки за i -й рік після модернізації, год.

Додаткова вивільнена потужність в системі власних господарських потреб:

$$\Delta P = P_{\text{п.}} - P_{\text{м.}} \quad (\text{кВт}). \quad (6.9)$$

Цей проект модернізації системи опромінення включає в себе вартість опромінювального обладнання, затрати на матеріали для монтажних робіт, затрати на електромонтажні роботи, а також затрати на матеріалиї установку системи керування спектром [18].

З метою врахування можливих витрат на технічне обслуговування модернізованої системи опромінення понад гарантійних зобов'язань фірми-виробника в розрахунок включені витрати в розмірі 5 % від загальної вартості опромінювального обладнання в рік після закінчення 7-річного терміну його експлуатації.

Таким чином, витрати на обслуговування існуючої системи 21 280 грн на рік. (включають у себе утилізацію, закупівлю ламп, зарплату електромонтерів тощо).

Таблиця 6.2

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результат ефекту від модернізації системи опромінення рослин на широкополосну систему опромінення рослин з резонансним електроживленням

Показник		Значення	Од. вим.
T_e	Тариф на електроенергію	2,64	грн
P_n	Встановлена потужність системи опромінення до модернізації	63	кВт
P_m	Встановлена потужність системи опромінення після модернізації	31,2	кВт
$T_{\text{Год}}$	Час роботи опромінювальної установки за рік	5110	год
W_n	Споживання електроенергії системою опромінення за рік до модернізації	321930	кВт·гож
W_m	Споживання електроенергії системою опромінення за рік після модернізації	153300	кВт·год
Затрати на модернізацію системи опромінення, у т.ч.:		711 098	грн
- вартість комплексу світлодіодних опромінювачів		613 600	грн
- вартість передавального обладнання		84 000	грн
- затрати на передпроектне обстеження і розробку технічного завдання		762	грн
- затрати на розробку проектно-кошторисної документації		1 600	грн
- затрати на матеріали для монтажних робіт		6 256	грн
- затрати на будівельно-монтажні роботи		3 754	грн
- затрати на пуско-налагоджувальні роботи		1 126	грн

Таблиця 6.3

Затрати на обслуговування існуючої опромінювальної системи

Тип світильника	Число світильників	Кількість ламп	Число замінюваних ламп	Вартість лампи з урахуванням утилізації, грн	Вартість заміни лампи, грн	Число ПРА, які замінюються	Вартість заміни ПРА, грн	Загальна вартість робіт, грн
ЖСП 30-600-010У5	100	100	20	1000	20	8	160	21280

Таблиця 6.4

Результати розрахунку економії електроенергії

Показники нової системи опромінення				Споживання	
Економія, кВт	Економія, %	Час роботи за день, год	Час роботи за рік, год	Стара система, кВт·год	Нова система, кВт·год
31,8	50,5	10	3650	240900	109500

Таблиця 6.5

Результати розрахунку економії за рахунок провода

Тип системи опромінення рослин	Тип провода	Вартість провода, грн/м	Довжина кабеля, м	Загальна вартість провода, грн
Існуюча	ВВГ 5х35	390	100	39 000
Нова	ВВГ 4х2,5	29,03	100	5 151
	ПВ 1х10	22,48	100	
Всього економія за рахунок провода, грн				33 849

Таблиця 6.6

Загальні техніко-економічні показники

Показник		Існуюча система	Нова система			Економія, грн
Капіталовкладення на		-	711 098			-
Експлуатаційні затрати		21 680	4 000			17 680
Вартість спожитої електроенергії		695 367	331 128			364 239
Економія за рахунок провода:	Тип провода	ВВГ 5х35	ВВГ 4х2,5	ПВ 1х10		
	Довжина, м	100	100	100		
	Ціна за метр, грн/м	390	29,03	22,48		
	Загальна ціна, грн	39 000	2 903	2 248		
Річний економічний ефект						415 768
Строк окупності						1,7 роки

Техніко-економічні розрахунки модернізації системи опромінення з впровадженням високотехнологічного опромінювального обладнання показують доцільність впровадження таких систем. Споживана потужність існуючої системи опромінення 63 кВт, а після впровадження світлодіодної системи опромінення - 31,2кВт, що відповідає зниженню споживання електроенергії на 59,5 %.

Економічний розрахунок заміни діючої системи опромінення на основі ламп ДНаЗ на нову показав, що річний економічний ефект в одному блоці становить 416 тис. грн, а термін окупності нової системи становить 1,7 року.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. У бакалаврській кваліфікаційній роботі обґрунтоване технологічне обладнання для створення мікроклімату та мінерального живлення рослин у теплиці.

2. Обґрунтована система автоматизованого електрообладнання для створення необхідного мікроклімату, водопостачання, приготування та подачі живильного розчину, освітлення виробничих приміщень, опромінення рослин у теплиці, визначена потужність трансформаторної підстанції.

3. Обґрунтовано опромінювальне обладнання, що включає в себе широкосмугові опромінювачі і багатоканальну систему живлення. Розраховані основні характеристики силової частини системи живлення потужністю до 31,2 кВт і параметрів світильників потужністю до 300 Вт.

4. Розроблені заходи з енергозбереження та розглянуті питання безпеки праці в теплиці.

5. Економічний розрахунок заміни діючої системи опромінення на основі ламп ДНаЗ на світлодіодну систему опромінення показав, що річний економічний ефект в одному блоці становить 416 тис. грн, а термін окупності нової системи становить 1,7 року.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія вирощування огірка в теплицях типу VENLO. Режим доступу: https://greenhouse.at.ua/publ/tekhnologija_viroshhuvannja_ogirka_v_teplicjakh_tipu_venlo/1-1-0-2
2. Высокоэффективные трехходовые водогрейные котлы Unical TERNox. Режим доступа: <https://ekoin.com.ua/unical/vodogrejnnye-kotly-unical/ternox/>
3. Evmorfira Dova, Dimitrious Sophiuhopoulis, Nikolaos Ratsoulas. Additional design requirements of steel commercial greenhouses in high seismuz hazard EU countries. 2015.
4. Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі : навч. посіб. для студентів вищихназвчальних закладів / Іноземцев Г. Б., Козирський В. В., Лут М. Т., Радько І.П., Синявський О.Ю. – 2-е вид., перероб. і доп. – К., 2014. – 526 с.
5. Сакур М. М., Нагорнюк В. Ф. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур. Одеса: Одеський держ. аграрний ун-т., 2009. – 184 с.
6. Гончар В. Ф. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. Курсове і дипломне проектування.- К.: Вища школа, 1985. – 208 с.
7. Промислові теплиці [Електронний курс]: - Режим доступу <http://www.agrisovgas.ru/?b=grintech&products=10>.
8. Шишко Г.Г. Теплицы и тепличные хозяйства. К.: Урожай, 1993. – 422 с.
9. Червінський Л. С. Електричне освітлення та опромінення: посіб. // Л. С. Червінський, Л. О. Сторожук. – К. : Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 214 с.
13. Правила охорони праці під час виконання робіт в захищеному ґрунті.
14. Лут М. Т., Мірошник О. В., Трунова І. М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК. – Харків: Факт 2008. – 438 с.
15. Мацібора В. І. Економіка сільського господарства: Підручник. – К.:

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вища школа, 1994. – 415 с.

16. Електропривод і автоматизація: Підручник / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, В.В. Козирський, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш; За ред. О.Ю. Синявського. К., ЦП «Компринт», 2019.. 619 с.

17. Електропривод виробничих машин і механізмів: Навчальний посібник / О. Ю. Синявський, В. В. Савченко, Ю. М. Лавріненко, Д. Г. Войтюк, В. Я. Бунько, В. Ю. Рамш. К.:Компринт, 2020. 444 с.

18. Основи електропривода / [Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. та ін.]; за ред. Ю. М. Лавріненка. К. : Ліра-К, 2016. 504 с.

19. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. 7-ме видання, перероблене та доповнене. – К.: Міненерговугілля України, 2022. – 794 с.

					02.02.КР.2607”С”.2025.10.30.001.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		