

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Чепіжний А.В.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція системи електрифікації теплиці на базі Сумського НАУ, м. Суми з розробкою автоматизації процесу опромінення розсади огірків»

Виконав:

(підпис)

Мальченко Я.В.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ЕТЕС 2101

(Науковий) керівник:

(підпис)

Сіренко Ю.В.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри енергетики
та електротехнічних систем**

Чепіжний А.В.

“__” _____ 202_ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мальченку Ярославу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція системи електрифікації теплиці на базі Сумського НАУ, м. Суми з розробкою автоматизації процесу опромінення розсади огірків

керівник роботи: Сіренко Юлія Володимирівна, PhD, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “24” вересня 2024 року №3256/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: “23” травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали обстеження об'єкту, технічна література, нормативна документація, державні стандарти, посібники, методичні рекомендації до виконання роботи, інтернет-джерела.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ

1. Коротка характеристика тепличного господарства Сумського НАУ.

2. Аналіз технології вирощування продукції в теплицях.

3. Розрахунок системи освітлення та опромінення рослин у теплиці.

4. Розробка електричної мережі системи освітлення та опромінення.

5. Проектування автоматизації системи опромінення розсади огірків

6. Охорона праці

7. Екологія

8. Економічне обґрунтування

Висновки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Система електричного освітлення та опромінення. Схема електричного розташування

2. Розрахунково-монтажна таблиця система освітлення та опромінення. Схема електрична принципова

3. Схема керування процесом опромінення огірків автоматизована. Схема електрична принципова

4. Шафа керування автоматизованою системою опромінення огірків. Схема електрична з'єднань.

5. Показники техніко-економічні. Таблиця.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	ст. викладач Семерня О.В.		
Економічне обґрунтування	ст. викладач Шашков С.В.		
Нормоконтроль	доцент Чепіжний А.В.		

7. Дата видачі завдання: “ 6 ” вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	до 14.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.11.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 22.11.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 29.11.2024 р.	
5.	Написання розділу «Характеристика об'єкту проєктування»	до 27.12.2024 р.	
6.	Написання розділів 2 та 3. Підготовка листів 1 та 2 графічної частини	до 20.02.2025 р.	
7.	Написання розділів 4, 5. Підготовка листів 3 та 4 графічної частини	до 11.04.2025 р.	
8.	Написання розділу «Охорона праці»	до 18.04.2025 р.	
9.	Написання розділу «Екологія»	до 24.04.2025 р.	
10.	Написання розділу «Економічне обґрунтування». Підготовка листу 5 графічної частини	до 30.04.2025 р.	
11.	Написання загальних висновків	до 09.05.2025 р.	
12.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
13.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	
14.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Мальченко Я.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник

кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Сіренко Ю.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мальченко Ярослав Володимирович "Реконструкція системи електрифікації теплиці на базі Сумського НАУ, м. Суми з розробкою автоматизації процесу опромінення розсади огірків "

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки за освітньою програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка зі спеціальності 141 «Електроенергетика електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025, 66 с.

У кваліфікаційній роботі розглядається реконструкція системи електрифікації теплиці на базі Сумського національного аграрного університету з метою покращення умов вирощування розсади огірків за допомогою автоматизованого процесу опромінення. Основною метою проекту є розробка ефективної системи освітлення та опромінення, яка б відповідала сучасним вимогам технології вирощування сільськогосподарських культур у тепличних умовах.

Основну частину роботи складає розрахунок системи освітлення та опромінення, де визначаються необхідні параметри освітленості, розміщення освітлювальних приладів та складання світлотехнічної відомості. Окрім цього, проект передбачає розробку електричної мережі для забезпечення стабільного функціонування системи освітлення та опромінення, вибір кабелів, автоматичних вимикачів і пускачів.

Особливу увагу приділено автоматизації процесу опромінення розсади огірків. Розроблена система керування передбачає використання сучасних технологій для точного контролю умов освітлення та опромінення.

У роботі також розглядаються питання екологічної експертизи, охорони праці та економічного обґрунтування, що дозволяє забезпечити ефективне та безпечне функціонування розробленої системи.

Ключові слова: електрифікація, теплиця, освітлення, опромінення, автоматизація, огірки.

ABSTRACT

Malchenko Yaroslav Volodymyrovych "Reconstruction of the Greenhouse Electrification System Based on Sumy National Agrarian University, Sumy, with the Development of an Automation Process for Cucumber Seedling Irradiation"

Qualification work for the Bachelor's degree in Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, under the educational program Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, specialty 141 Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025, 65 pages.

This qualification work explores the reconstruction of the greenhouse electrification system at Sumy National Agrarian University with the aim of improving the conditions for growing cucumber seedlings through an automated irradiation process. The primary goal of the project is to develop an efficient lighting and irradiation system that meets modern technological requirements for agricultural crop cultivation in greenhouse conditions.

The core of the work consists of the design and calculation of the lighting and irradiation system, determining the necessary illumination parameters, placement of lighting devices, and compilation of lighting technical specifications. Additionally, the project involves the development of an electrical network to ensure stable operation of the lighting and irradiation system, including cable selection, circuit breakers, and starters.

Special attention is given to the automation of the cucumber seedling irradiation process. The developed control system uses modern technologies to precisely regulate lighting and irradiation conditions.

The work also addresses issues of environmental assessment, occupational safety, and economic justification, ensuring the effective and safe operation of the designed system.

Keywords: electrification, greenhouse, lighting, irradiation, automation, cucumbers.

ВСТУП	8
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА СУМСЬКОГО НАУ	9
1.1. Загальна характеристика тепличного господарства	9
1.2. Аналіз господарської діяльності тепличного господарства	10
1.3. Аналіз стану електрифікації теплиць	11
1.4. Висновки та пропозиції	12
2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ В ТЕПЛИЦЯХ	14
2.1. Опис прийнятої технології вирощування	14
2.2. Опис приміщень теплиці	15
2.3. Перелік технологічних вимог до проєкту електрифікації теплиці	17
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН У ТЕПЛИЦІ	19
3.1. Система та вид освітлення теплиці	19
3.2. Визначення нормованої освітленості приміщень теплиці	19
3.3. Розміщення освітлювальних приладів у теплиці.....	20
3.4. Розрахунок системи освітлення теплиці	20
3.5. Складання світлотехнічної відомості системи освітлення теплиці	26
3.6. Розробка системи опромінення рослин у теплиці	29
3.7. Перелік матеріалів та обладнання для системи освітлення та опромінення рослин у теплиці.....	31
4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ	32
4.1. Складання принципової схеми (розрахунково-монтажної таблиці) електричної мережі системи освітлення та опромінення	32
4.2. Визначення розрахункових навантажень	32
4.3. Вибір кабелів для системи освітлення та опромінення теплиці	35
4.4. Вибір автоматичних вимикачів для системи освітлення та опромінення теплиці	39
4.5. Вибір магнітних пускачів для керування опромінюючою установкою	41
4.6. Вибір шаф керування системою освітлення та опромінення рослин	43
4.7. Складання специфікації на матеріали та обладнання електричної мережі	44

5. ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОПРОМІНЕННЯ РОЗСАДИ ОГІРКІВ	46
5.1. Опис технологічного процесу опромінення розсади огірків.....	46
5.2. Технологічні вимоги до системи опромінення огірків	47
5.3. Складання та опис принципової схеми керування процесом опромінення розсади огірків.....	48
5.4. Складання схем з'єднань шафи керування опромінюючою установкою.....	49
5.5. Складання специфікації на матеріали та обладнання системи опромінення розсади огірків.....	49
6. ЕКОЛОГІЯ	51
7. ОХОРОНА ПРАЦІ	54
8. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	58
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	65

ВСТУП

Сучасне сільське господарство активно впроваджує інноваційні технології, спрямовані на підвищення ефективності виробництва, зокрема в тепличному господарстві. Однією з ключових складових успішного вирощування рослин у закритому ґрунті є система електрифікації, яка забезпечує стабільне енергопостачання всіх технологічних процесів. Важливу роль у цьому відіграє автоматизація освітлення, що дозволяє створити найкращі умови для формування здорової та міцної розсади огірків та її подальшого росту.

Оновлення електрифікаційної системи теплиці на базі Сумського НАУ є актуальним завданням, оскільки дозволяє впровадити енергоефективні рішення, знизити енергоспоживання та підвищити рівень автоматизації процесів. Сучасні методи опромінення розсади передбачають використання спеціалізованих джерел світла, що імітують природні умови, сприяючи швидкому та здоровому розвитку рослин. Впровадження автоматизованих систем управління освітленням дозволяє зменшити людський фактор у регулюванні режимів роботи світильників, забезпечити оптимальне використання енергоресурсів та підвищити врожайність.

Дослідження у цьому напрямку мають значний науковий та практичний інтерес, оскільки сприяють розвитку сучасного тепличного господарства, оптимізації витрат на енергоресурси та підвищенню екологічності виробництва. Таким чином, модернізація електрифікаційної системи з розробкою автоматизованого процесу опромінення є важливим кроком до підвищення ефективності агропромислового виробництва та впровадження інноваційних технологій в сільському господарстві.

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА СУМСЬКОГО НАУ

1.1. Загальна характеристика тепличного господарства

Тепличне господарство Сумського національного аграрного університету є важливою складовою науково-дослідної та навчальної інфраструктури закладу. Його основне призначення полягає у вирощуванні розсади овочевих культур, проведенні експериментальних досліджень, а також у забезпеченні практичної підготовки студентів з агрономії, енергетики та суміжних спеціальностей.

Розташовуються теплиці на території університету на базі кафедри селекції та насінництва Сумського НАУ (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Місце розташування тепличного господарства СНАУ

Тепличні комплекси обладнані системами штучного мікроклімату, які регулюють температурний режим, рівень вологості, освітлення та інші параметри, необхідні для нормального росту рослин. Функціонування господарства значною мірою залежить від системи електрифікації, яка забезпечує роботу освітлювальних установок, нагрівальних елементів та механізмів подачі води та добрив (рис. 1.2.).

Господарство використовується не тільки для навчання, а й для проведення наукових досліджень, пов'язаних із вдосконаленням технологій вирощування рослин у закритому ґрунті. Відповідно, модернізація його інфраструктури є актуальним завданням, спрямованим на покращення ефективності вирощування культур, стабілізацію параметрів мікроклімату та оптимізацію витрат на енергоресурси.

1.2. Аналіз господарської діяльності тепличного господарства

Тепличне господарство Сумського національного аграрного університету виконує важливі функції в освітньому, науковому та практичному аспектах підготовки студентів і проведення досліджень. Основним напрямом діяльності є вирощування різних сільськогосподарських культур у контрольованих умовах, що дозволяє підтримувати навчальний процес, забезпечувати експериментальні майданчики для досліджень і сприяти вдосконаленню агротехнологій.

У теплицях вирощуються овочеві культури, зокрема огірки, томати, перець, зелень (салат, петрушка, кріп) та інші рослини, що потребують контрольованого середовища. Вирощування цих культур спрямоване на забезпечення практичного навчання студентів, які вивчають методи ведення тепличного господарства, догляду за рослинами та впровадження різних технологій для покращення росту рослин.

Також теплиці використовуються для проведення наукових досліджень, пов'язаних із вивченням впливу різних факторів на ріст і врожайність культур. Особливу увагу приділяють експериментальним методам освітлення, температурного контролю, добрив і системи зрошення. Дослідження в цьому напрямку сприяють розробці рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів у тепличному господарстві, що може бути використано як у навчальному процесі, так і в практичному агробізнесі.

Таким чином, господарська діяльність тепличного комплексу Сумського НАУ охоплює вирощування овочевих культур для навчальних і дослідницьких цілей, а також створює умови для апробації та впровадження нових технологічних рішень у сфері тепличного виробництва.

1.3. Аналіз стану електрифікації теплиць

Система електрифікації теплиць Сумського національного аграрного університету важлива у забезпеченні стабільної роботи освітлення, опалення, зрошення та інших технологічних процесів. Проте на сьогодні її стан характеризується високим рівнем зношеності обладнання, застарілими технічними рішеннями та значними енергетичними витратами, що негативно впливає на ефективність функціонування тепличного комплексу.

Зокрема, для освітлення використовуються лампи розжарювання типу ЛОН-100 і газорозрядні лампи ДРЛ-250, які мають низький коефіцієнт корисної дії та споживають значну кількість електроенергії. Вони не забезпечують оптимального спектра світла для росту рослин, що обмежує продуктивність вирощування культур.

Система опалення базується на водяному опаленні від власної котельні, що дозволяє ефективно контролювати температуру в різних зонах теплиці, без перегріву або переохолодження рослин.

Керування процесами освітлення здійснюється через старі електромеханічні реле РЭВ-821 та контактори серії КТ-6000, які не підтримують можливості програмного управління та дистанційного контролю. Через це доводиться здійснювати ручне регулювання режимів роботи, що підвищує ризик людських помилок і додаткові витрати на обслуговування.

Крім того, електропроводка виконана алюмінієвими проводами типу АПВ, які схильні до окислення та погіршення контакту, що може призводити до аварійних ситуацій.

Зважаючи на всі ці фактори, існуюча система електрифікації теплиць не відповідає сучасним вимогам енергоефективності, автоматизації та безпеки. Її реконструкція є необхідною для впровадження ефективних технічних рішень спрямованих на зменшення витрат енергії, підвищити рівень автоматизації процесів і забезпечити необхідний рівень освітлення та опромінення для вирощування рослин.

1.4. Висновки та пропозиції

Аналіз стану електрифікації тепличного господарства Сумського національного аграрного університету показав наявність значних недоліків у функціонуванні системи освітлення, управління та електропостачання. Використання застарілого обладнання, такого як лампи розжарювання ЛОН-100, газорозрядні лампи ДРЛ-250, електромеханічні реле РЭВ-821, контактори серії КТ-6000, призводить до значних енергетичних втрат, низької ефективності роботи системи та підвищеного рівня експлуатаційних витрат.

Відсутність сучасних систем автоматизації обмежує можливості контролю за освітленням та опроміненням у теплиці, що негативно позначається на врожайності культур та загальній продуктивності господарства. Низький рівень енергоефективності та значна зношеність електрообладнання свідчать про нагальну необхідність його модернізації.

Пропозиції щодо реконструкції наступні:

- заміна застарілих ламп на енергоефективні джерела світла, що забезпечують оптимальний спектр випромінювання для росту рослин;
- впровадження автоматизованої системи керування процесом опромінення рослин;
- перерахунок та вибір сучасних типів силового електрообладнання, кабель-провідникової продукції та пускозахисної апаратури, що зменшить втрати електроенергії та підвищить надійність електропостачання.

Реалізація цих заходів дозволить значно підвищити енергоефективність, надійність та автоматизацію тепличного комплексу, що сприятиме покращенню умов вирощування рослин і зниженню експлуатаційних витрат.

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ В ТЕПЛИЦЯХ

2.1. Опис прийнятої технології вирощування

У теплицях Сумського національного аграрного університету (рис. 2.1) застосовується технологія вирощування овочевих культур у закритому ґрунті, що дозволяє підтримувати сприятливі умови для вегетації рослин у будь-яку пору року. Основними культурами, які вирощуються в тепличному господарстві, є огірки, томати, перець, баклажан, а також зелень (петрушка, кріп, салат тощо).



Рис. 2.1. Теплиці Сумського НАУ

Процес вирощування відбувається за класичною схемою, яка включає підготовку ґрунту, висів або висаджування розсади, догляд за рослинами, підживлення, полив, регулювання температурного та світлового режимів, а також захист від шкідників і хвороб [1-7].

Ґрунт у теплицях використовується переважно натуральний, із внесенням органічних і мінеральних добрив. Перед посадкою він проходить дезінфекцію та обробку для знищення патогенних мікроорганізмів. Розсада вирощується у спеціальних касетах або на стелажах з подальшою висадкою у підготовлені ряди.

Полів здійснюється вручну або за допомогою простої системи крапельного зрошення, що дозволяє подавати вологу безпосередньо до кореневої системи. Однак система не автоматизована, тому потребує постійного контролю з боку обслуговуючого персоналу.

Світловий режим регулюється за рахунок використання електричних джерел світла у вечірній та похмурий період доби. В якості джерел світла наразі використовуються переважно газорозрядні лампи типу ДРЛ, які частково компенсують недостатнє природне освітлення, однак мають обмежену ефективність у вирощуванні овочевих культур.

Температурний режим підтримується водяним опаленням від котельні, але без автоматичного регулювання, що часто призводить до коливань температури у різних частинах теплиці.

Таким чином, прийнята технологія вирощування овочів у теплицях Сумського НАУ базується на традиційних агротехнічних прийомах і потребує оновлення в частині автоматизації процесів, модернізації систем освітлення та опромінення для підвищення ефективності, стабільності та рентабельності виробництва.

До проєкту електрифікації теплиці висувається низка технологічних вимог, які забезпечують надійність, безпеку, енергоефективність та відповідність умовам технологічного процесу вирощування овочевих культур. Основні технологічні вимоги включають:

- забезпечення безперебійного електропостачання для всіх споживачів теплиці, з урахуванням пікових навантажень і потреб систем освітлення, обігріву, вентиляції, зрошення та автоматизації;

- організація освітлення з урахуванням біологічних потреб вирощуваних культур (оптимальний спектр, рівень інтенсивності та тривалість світлового дня), із застосуванням енергоефективних джерел світла;

- наявність аварійного та резервного живлення, особливо для критичних споживачів – систем підтримання температури, освітлення для розсади тощо;

- безпечне виконання електромонтажу – використання захисного заземлення, пристроїв захисного відключення (ПЗВ), автоматичних вимикачів, відповідність електрообладнання ступеню захисту (IP) відповідно до умов підвищеної вологості й температури;

- застосування кабелів та арматури, стійких до корозії, перепадів температур і механічних впливів, з урахуванням специфіки тепличного середовища (висока вологість, можливість конденсату);

- забезпечення обліку електроспоживання шляхом встановлення приладів контролю енерговитрат як загального, так і по окремих системах (наприклад, освітлення, обігрів, технічне обладнання);

- відповідність проєкту чинним нормам і стандартам з електробезпеки, енергетичної ефективності та екологічних вимог, зокрема ДБН, ПУЕ, ПУЕЕ, ДСТУ та іншим нормативним документам.

Ці вимоги мають бути враховані під час розробки проєкту реконструкції електрифікації теплиці, щоб забезпечити ефективне функціонування всіх систем і підвищити загальну енергоефективність тепличного господарства.

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН У ТЕПЛИЦІ

3.1. Система та вид освітлення теплиці

Згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення» та [9-12] для тепличного господарства у всіх приміщеннях обираємо вид освітлення – робоче.

Система освітлення: у всіх приміщеннях – загальна рівномірна [11, 12].

Додатково для покращення розвитку та росту розсади приймаємо до установки опромінюючу установку типу ОТ-400.

3.2. Визначення нормованої освітленості приміщень теплиці

Значення нормованої освітленості приміщень теплиці у відповідності до нормативних документів подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. – Нормована освітленість приміщень теплиці [11].

№ п/п	Найменування	<i>A, м</i>	<i>B, м</i>	<i>H, м</i>	<i>S, м²</i>	<i>E_н, лк</i>
1	Приміщення для вирощування рослин	40	10	3	400	150
2	Технологічне приміщення	9	2,5	3	22,5	150
3	Складське приміщення	6	3,5	3	21	30
4	Приміщення для інвентарю	10	2,5	3	25	75

3.3. Розміщення освітлювальних приладів у теплиці

Під час проектування системи електроосвітлення теплиці необхідно дотримуватись основних вимог: забезпечення оптимальних умов для росту рослин, мінімізація довжини електропроводки, зручність встановлення обладнання та безпека його подальшої експлуатації.

У межах усїєї площї теплицї свїтильники розмїщуються рївномїрно, що сприяє однаковому освїтленню кожної дїлянки посївїв.

Схематичне розташування освїтлювальних приладїв представлено на планї теплицї, який включено до графїчної частини проекту.

3.4. Розрахунок системи освїтлення теплицї

Розрахунок системи електроосвїтлення виконаємо на прикладї головного примїщення теплицї — зони, призначеної для вирощування рослин. Це примїщення має такі розмїри: $H = 3 \text{ м}$, $B = 10 \text{ м}$, $A = 40 \text{ м}$. Освїтлювальну установку будемо проектувати з використанням точкового методу лїнійних ізолюкс, що дозволяє точно визначити розподїл освїтленостї в робочїй зонї.

План розмїщення свїтильникїв в примїщеннї для вирощування рослин наведено на рис. 3.1.

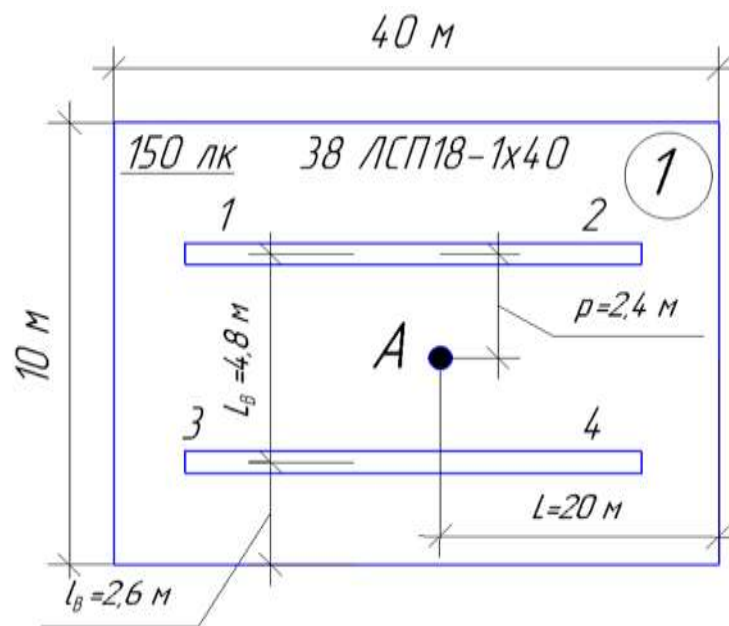


Рис. 3.1 – Розмїщення свїтильникїв в примїщеннї для вирощування рослин

Висота примїщення для вирощування рослин, яку беремо до розрахункїв [11]:

$$H_{розр} = H - H_{зв} - H_{рп}, \quad (3.1)$$

де H – висота примїщення для вирощування рослин, м;

$H_{зв}$ – висота звїсу прийнятого до розрахунку свїтильника, беремо $H_{зв} = 0,2 \text{ м}$;

H_{pn} – висота робочих поверхонь в приміщення для вирощування рослин в теплиці, м, беремо $H_{pn} = 0$ м.

$$H_{розр} = 3 - 0 - 0 = 3 \text{ м}$$

Відповідно до рекомендацій, наведених у джерелі [11], ряди світильників доцільно розміщувати паралельно до довшої сторони приміщення. Спираючись на характеристики обраного типу світильника згідно з [12], визначаємо оптимальну міжрядну відстань, яка є найбільш ефективною як з точки зору світлотехнічних параметрів, так і з економічної точки зору:

$$\lambda_c = 1,4 \dots 1,6; \lambda_e = 1,6 \dots 2,1.$$

Рекомендовані відстані між рядами освітлювальних приладів:

$$L_g = (\lambda_c - \lambda_e) \cdot H_{розр}; \quad (3.2)$$

$$L_g = (1,4 \dots 2,1) \cdot 3 = 4,2 \dots 6,3 \text{ м.}$$

Задаємося $L_B = 4,8$ м.

Розраховуємо відстань від крайнього ряду світильників до стіни приміщення. Ця відстань вибирається з урахуванням рівномірного розподілу освітленості та залежить від міжрядної відстані. Зазвичай вона становить половину відстані між рядами світильників, що забезпечує симетричне та ефективне освітлення простору поблизу стін.

$$l_B = (0,3 \dots 0,5) \cdot L_B; \quad (3.3)$$

$$l_B = (0,3 \dots 0,5) \cdot 4,8 = 1,44 \dots 2,4 \text{ м.}$$

Задаємося $l_B = 2,4$ м

Кількість рядів освітлювальних приладів у приміщенні:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L_B} + 1; \quad (3.4)$$

$$N_B = \frac{10 - 2 \cdot 2,4}{4,8} + 1 = 2,08 \text{ шт.}$$

Обираємо до монтажу $N_B = 2$ ряди.

Рахуємо довжину напівряду L :

$$L = \frac{A}{2}; \quad (3.5)$$

$$L = \frac{40}{2} = 20 \text{ м.}$$

Визначаємо відстань p від розрахункової точки до найближчого ряду світильників. Розрахункову точку обираємо в центральній частині приміщення, на однаковій відстані між двома сусідніми рядами світильників. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити рівень освітленості в характерній зоні робочої площі та забезпечує точність при подальших світлотехнічних розрахунках..

$$P = \frac{L_B}{2}; \quad (3.6)$$

$$P^1 = \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ м.}$$

Визначаємо співвідношення p^* :

$$P^* = \frac{P}{H_{розр}}; \quad (3.7)$$

$$P^{*1} = \frac{2,4}{3} = 0,8.$$

Рахуємо співвідношення L^* :

$$L^* = \frac{L}{H_{розр}}; \quad (3.8)$$

$$L^{*1} = L^{*2} = \dots = L^{*4} = \frac{20}{3} = 6,7.$$

Визначаємо умовну освітленість e за допомогою графіків лінійних ізолюкс, представлених у джерелі [12]. Отримані значення освітленості заносимо до таблиці 3.2 для подальшого аналізу та порівняння.

Таблиця 3.2–Розрахунок умовної освітленості

Напівряди	L,м	L^*	P, м	P^*	$E, лк$	$\Sigma E, лк$
1, 2, 3, 4	20	6,7	2,4	0,8	95x4	380

При освітленні точки А кількома рядами світильників або їх частинами відносну освітленість визначають для кожного ряду окремо, після чого отримані значення сумуються для розрахунку загальної освітленості в цій точці:

$$\sum e = 380 \text{ лк.}$$

Необхідний світловий потік, що генерується світловою лінією довжиною 1 м:

$$F' = \frac{1000 \cdot E_n \cdot k_z \cdot H_{розр}}{\Sigma e_A \cdot \mu} \quad (3.9)$$

де μ – коефіцієнт додаткового освітлення, що враховує вплив віддалених світильників та відбитого світлового потоку, для теплиці приймемо $\mu = 1,1$ [12];

k_3 – значення коефіцієнтів запасу, для люмінесцентних ламп $k_3 = 1,3$ [12];

$\sum e_A$ – сумарні значення відносної освітленості в контрольних точках,

$$\sum e_A = 380 \text{ лк}.$$

$$F' = \frac{1000 \cdot 150 \cdot 1,3 \cdot 3}{380 \cdot 1,1} = 1400 \frac{\text{лм}}{\text{м}}.$$

Згідно з таблицями, вибираємо світильники, що містять одну лампу ЛБ 40–4, з світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 3000 \text{ лм}$, номінальною потужністю $P_{\text{лн}} = 40 \text{ Вт}$ і довжиною світильника $l_{\text{св}} = 1,214 \text{ м}$.

Необхідна величина світлового потоку одного ряду світильників у теплиці:

$$F_{\text{ряда}} = F' \cdot A \quad (3.10)$$

$$F_{\text{ряда}} = 1400 \cdot 40 = 56000 \text{ лм}.$$

Розраховуємо світлові потоки світильників:

$$F_{\text{св}} = \Phi_{\text{л}} \cdot n \quad (3.11)$$

$$F_{\text{св}} = 3000 \cdot 1 = 3000 \text{ лм}.$$

Число світильників в одному ряду для освітлення приміщення вирощування рослин:

$$N_{\text{ряда}} = \frac{F_{\text{ряда}}}{F_{\text{св}}}, \quad (3.12)$$

$$N_{\text{ряда}} = \frac{56000}{3000} = 18,7 \text{ св}.$$

Обираємо до установки в приміщенні для вирощування рослин 19 світильників.

Відстані між світильниками в ряді знайдемо за виразом:

$$\Delta l = \frac{A - l_{cs} \cdot N_{ряда}}{N_{ряда}}, \quad (3.13)$$

$$\Delta l = \frac{40 - 1,214 \cdot 19}{19} = 0,89 \text{ м.}$$

Перевірку умови неперервності рядів виконуємо за формулою:

$$\Delta l_{фак} < 0,5H_p; \quad (3.14)$$

$$0,89 \text{ м} < 1,5 \text{ м.}$$

Умова (3.14) виконується, а отже ряди неперервні.

Встановлена потужність системи освітлення в приміщенні для вирощування рослин:

$$P_{вст} = 1,25 \cdot P_l \cdot n \cdot N_A \cdot N_B; \quad (3.15)$$

$$P_{вс} = 1,25 \cdot 40 \cdot 1 \cdot 19 \cdot 2 = 1900 \text{ Вт.}$$

Величину питомої потужності системи освітлення в приміщенні для вирощування рослин:

$$P_{вст} = \frac{P_{вст}}{S}; \quad (3.16)$$

$$P_{ншт} = \frac{1900}{400} = 4,8 \text{ Вт / м}^2.$$

Розрахунок системи освітлення для інших приміщень, таких як технологічне, складське та приміщення для інвентарю, виконується за аналогічною методикою. Результати розрахунків заносяться до світлотехнічної відомості (табл. 3.3).

3.5. Складання світлотехнічної відомості системи освітлення теплиці

Складання світлотехнічної відомості для системи освітлення теплиці передбачає узагальнення результатів розрахунків освітленості, вибір світильників, їх розташування, а також розрахунок необхідних світлових потоків та потужностей. У відомості вказуються основні параметри освітлювальної системи, такі як кількість світильників, їх типи, потужність, а також розрахункові значення освітленості в різних точках приміщення теплиці.

3.6. Розробка системи опромінення рослин у теплиці

Опромінення рослин є важливим елементом технології культивування культур у теплиці, оскільки воно безпосередньо впливає на інтенсивність фотосинтезу, ріст і формування рослин. У разі недостатнього природного освітлення, що може бути через пори року або погодні умови, необхідно забезпечити додаткове освітлення для створення оптимальних умов для росту.

Для додаткового опромінення розсади рослин в теплиці Сумського національного аграрного університету вибрано опромінювач ОТ-400 – газорозрядну лампу, яка є ефективним джерелом світла для вирощування рослин. Питома потужність даного апарату становить 110 Вт/м².

Опромінювач ОТ-400 є газорозрядною лампою, яка забезпечує високий рівень світлової віддачі при значно менших енергетичних витратах порівняно з іншими типами ламп, наприклад, лампами розжарювання. Вона має спектр, близький до природного світла, що сприяє нормальному розвитку рослин. Крім того, вона має досить високу інтенсивність світла, що дозволяє ефективно забезпечувати освітлення на великих площах, таких як теплиці.

Визначаємо кількість та розрахункове значення потужності опромінювача в теплиці.

Повну потужність опромінювача знайдемо за виразом [12]:

$$P_{opr} = \frac{S_0 \cdot E_\phi}{H_\phi \cdot k_u \cdot 1000}, \quad (3.17)$$

де S_0 – площа опромінення, у теплиці під площу розсади огірків виділено 40 м^2 ;

E_ϕ – величина необхідної опроміненості, що для огірків становить $E_\phi = 13700 \text{ мфгм} / \text{м}^2$;

H_ϕ – значення фотовіддачі ламп, яка для ламп серії ДРЛФ становить $H_\phi = 85 \text{ мфгм} / \text{м}^2$;

k_u – значення коефіцієнту використання фітопотoku.

$$P_{\text{опр}} = \frac{40 \cdot 13700}{85 \cdot 0,6 \cdot 1000} = 10,7 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо кількість опромінюючих ламп за виразом:

$$N = \frac{P_{\text{опр}}}{P_l}, \quad (3.18)$$

де P_l – величина потужності однієї опромінюючої лампи, кВт.

$$N = \frac{10,7}{400} = 26,6 \text{ шт.}$$

Число опромінюючих установок становитиме відповідно:

$$N_y = \frac{N}{N_l}, \quad (3.19)$$

де N_l – к-ть ламп в 1 опромінювачі, шт.

У опромінювачах серії ОТ-400МИ в комплекті поставляється 15 ламп.

Таким чином:

$$N_y = \frac{26,7}{15} = 1,78 \text{ шт.} \quad (3.19)$$

Приймаємо до монтажу 2 опромінювальні установки.

4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ

4.1. Складання принципової схеми (розрахунково-монтажної таблиці) електричної мережі системи освітлення та опромінення

Детальне складання принципової схеми електричної мережі системи освітлення та опромінення передбачає розробку документа, який визначає електричні з'єднання між усіма елементами системи [9, 10].

На цьому етапі проводиться розрахунок навантаження, вибір перерізу проводів відповідно до нормативів, а також визначення кількості та розміщення джерел світла з урахуванням рівня освітленості приміщень.

Розрахунково-монтажна таблиця дозволяє чітко уявити всі складові мережі – кабелі, вимикачі, шафи керування, світильники та інші компоненти. У таблиці вказуються технічні характеристики обладнання, його умовне позначення, місце встановлення, довжина кабелів та спосіб прокладання.

Особлива увага приділяється захисним елементам системи: автоматичним вимикачам, пристроям захисту від перенапруг та перевантажень. Завдяки складанню принципової схеми забезпечується правильна експлуатація мережі системи освітлення та опромінення, її ефективність, енергоощадність та безпечність для операторів.

Розрахунково-монтажна таблиця електричної мережі системи освітлення та опромінення наведена на листі графічної частини проекту.

4.2. Визначення розрахункових навантажень

Для визначення навантажень на окремих ділянках системи освітлення та опромінення виконуємо розподіл навантаження на групи (табл. 4.1 та табл. 4.2.).

Таблиця 4.1 – Розподіл на групи навантаження освітлювальної установки теплиці

Номер групи	Система групи	Номер приміщення на плані	Потужність, Вт
1	A+N	1 приміщення 1 ряд	950
2	B+N	1 приміщення 2 ряд, освітлення входів	1010
3	C+N	2, 3,	1050

Таблиця 4.2 – Розподіл на групи навантаження опромінюючої установки теплиці

№ групи	Система групи	Номер на плані	Потужність, Вт
5	A, B, C+N	Приміщення №1, опромінююча установка №2	6000
6	A, B, C+N	Приміщення №1, опромінююча установка №2	6000

Загальна потужність освітлювальної установки:

$$P_{A1-A2} = 950 + 1010 + 1050 = 3010 \text{ Вт.}$$

Загальна потужність опромінюючої установки:

$$P_{A1-A3} = 6000 + 6000 = 12000 \text{ Вт.}$$

Струми магістралей A1-A2 та A1-A3 відповідно:

$$I_{\text{маг}} = \frac{P_{\text{розр}}}{3U_n \cdot \cos \varphi}; \quad (4.1)$$

$$I_{A1-A2} = \frac{3010}{3 \cdot 220 \cdot 0,98} = 4,8 \text{ А;}$$

$$I_{A1-A3} = \frac{12000}{3 \cdot 220 \cdot 0,98} = 18,6 A$$

Струми групових ділянок системи освітлення знаходимо за виразами [9]:

$$I_{cp} = \frac{P_{лл}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi} + \frac{P_{лр}}{U_{\phi}}, \quad (4.2)$$

де $P_{лл}, P_{лр}$ – відповідно потужності люмінесцентних, ламп розжарювання відповідно, Вт

U_{ϕ} – номінальне значення фазних напруг в мережі, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнти потужності споживачів.

$$I_{cp1} = \frac{950}{220 \cdot 0,95} = 4,3 A;$$

$$I_{cp2} = \frac{950}{220 \cdot 0,95} + \frac{60}{220} = 4,81 A;$$

$$I_{cp3} = \frac{250}{220 \cdot 0,95} + \frac{800}{220} = 4,83 A.$$

Струми групових ділянок системи опромінення знаходимо за виразами [9]:

$$I_{cp} = \frac{P_{опр}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (4.3)$$

де $P_{опр}$ – потужності ламп опромінюючої установки, Вт.

$$I_{cp4} = I_{cp5} = \frac{6000}{3 \cdot 220 \cdot 0,98} = 9,27 A.$$

4.3. Вибір кабелів для системи освітлення та опромінення теплиці

Розрахункова електрична схема освітлювальної установки теплиці показана на рис. 4.1.

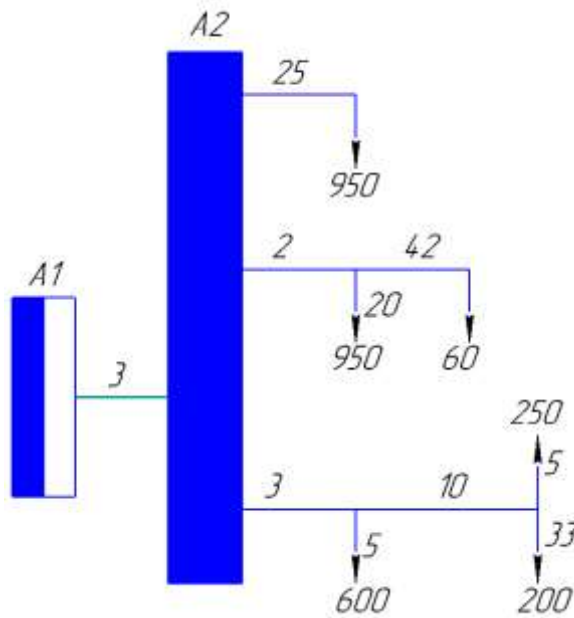


Рис. 4.3. – Розрахункова схема освітлювальної установки теплиці

Визначаємо моменти навантаження на магістралі А1-А2 за виразом [9]:

$$M_{A1-A2} = P_{\text{вст } A1-A2} \cdot \ell_{A1-A2} \quad (4.4)$$

де $P_{\text{вст } A1-A2}$ – сумарне значення активної потужності ділянки системи освітлення або опромінення, Вт;

ℓ_{A1-A2} – довжина магістралі, м.

$$M_{A1-A2} = 3,01 \cdot 3 = 9 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо моменти навантаження груп системи освітлення за формулою [9]:

$$m_i = P_i \cdot \ell_i, \quad (4.5)$$

де P_i – величина потужності групового відрізка електричної мережі, кВт;

$$m_1 = 25 \cdot 0,95 = 23,8 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_2 = 22 \cdot 0,95 + 44 \cdot 0,06 = 23,5 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_3 = 8 \cdot 0,6 + 18 \cdot 0,25 + 46 \cdot 0,2 = 18,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Шукаємо розрахункове значення переріз кабелю магістралі А1-А2 за виразом:

$$S_{A1-A2} = \frac{M_{A1-A2} + \alpha_{2-4} \cdot (m_1 + m_2 + m_3 + m_4)}{C_4 \cdot \Delta U_{\text{дон}}}, \quad (4.6)$$

де $\alpha = 1,85$ [9];

C_4 – емпіричний коефіцієнт, значення якого залежить від матеріалу та кількості провідників та номінальної напруги в мережі, $C_4 = 72$; $C_2 = 12$ [9];

$\Delta U_{\text{дон}}$ – допустимі значення втрат напруги в освітлювальній системі, %;

$\Delta U_{\text{дон}} = 2,5\%$ [9].

$$S_{A1-A2} = \frac{9 + 1,85 \cdot (23,8 + 23,5 + 18,5)}{72 \cdot 2,5} = 0,72 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо до монтажу для магістралі кабель типу ВВГнг (5x2,5) мм².

Розрахункові значення втрат напруги в магістралі знаходимо з виразу [9]:

$$\Delta U_{A1-A2} = \frac{M_{A1-A2}}{C_4 \cdot S_{A1-A2\text{ст}}}; \quad (4.7)$$

$$\Delta U_{A1-A2} = \frac{9}{72 \cdot 2,5} = 0,083\%.$$

Розрахункові перерізи кабелів групової освітлювальної мережі [9]:

$$S_i = \frac{m_i}{C_2 \cdot (\Delta U_{\text{дон}} - \Delta U_{A1-A2})}; \quad (4.8)$$

$$S_1 = \frac{23,8}{12 \cdot (2,5 - 0,083)} = 0,82 \text{ мм}^2;$$

$$S_2 = \frac{23,5}{12 \cdot (2,5 - 0,083)} = 0,81 \text{ мм}^2;$$

$$S_3 = \frac{18,5}{12 \cdot (2,5 - 0,083)} = 0,64 \text{ мм}^2.$$

Для всіх чотирьох груп обираємо до монтажу кабелі типу ВВГнг (3х1,5).

Розрахункові втрати напруги на групових відрізках мережі [9]:

$$\Delta U_i = \frac{m_i}{C_2 \cdot S_{\text{ист}}}; \quad (4.9)$$

$$\Delta U_1 = \frac{23,8}{12 \cdot 1,5} = 1,32 \%;$$

$$\Delta U_2 = \frac{23,5}{12 \cdot 1,5} = 1,3 \%;$$

$$\Delta U_3 = \frac{18,5}{12 \cdot 1,5} = 1 \%.$$

Виконуємо перевірку прийнятих до монтажу кабелів за умовами тривалодопустимих струмів:

$$I_{\text{розр}} \leq I_{\text{тр.дон.}}, \quad (4.10)$$

де $I_{mp.\dot{d}on.}$ – тривалодопустиме значення струму для кабелю обраного перерізу,

А.

Тоді, для кабелю ВВГнг (5х2,5) магістралі А1-А2 з $I_{mp.\dot{d}on.} = 25 A$:

$$25 A > 4,8 A;$$

Живлення груп виконано кабелями типу ВВГнг (3х1,5), для яких $I_{mp.\dot{d}on.} = 19 A$, тоді:

$$19 A > 1,1 A; \quad 19 A > 4,3 A; \quad 19 A > 4,81 A; \quad 19 A > 4,83 A$$

Розрахунок та вибір кабелів для живлення опромінюючої установки виконуємо аналогічно. Результати винесено на розрахунково-монтажну таблицю системи освітлення та опромінення, яка наведена на листі графічної частини проєкту.

4.4. Вибір автоматичних вимикачів для системи освітлення та опромінення теплиці

Вибір автоматичних вимикачів для системи освітлення та опромінення теплиці є критично важливим етапом при проектуванні електричних систем в аграрних умовах. Оскільки система освітлення та опромінення рослин працює в специфічних умовах, таких як висока вологість, зміни температури та тривала експлуатація, важливо обрати вимикачі, які забезпечать безпеку, надійність та ефективність роботи всієї системи. Ось кілька основних факторів, які слід врахувати при виборі автоматичних вимикачів для такої системи.

По-перше, важливим є правильний вибір номінального струму автоматичних вимикачів, який має бути відповідним до потужності освітлювальних приладів та опромінювачів. Варто врахувати максимальне споживання енергії всіма підключеними приладами, а також можливі короточасні перевантаження, які можуть виникати під час запуску освітлювальних систем або опромінювачів.

По-друге, для таких систем важливим є вибір автоматичних вимикачів з правильною характеристикою спрацьовування, яка залежить від типу навантаження. Для освітлювальних та опромінювальних систем, що використовують лампи розжарювання, світлодіодні лампи або спеціалізовані джерела світла, рекомендується обирати вимикачі з характеристикою спрацьовування "C" або "D", що дає змогу витримувати короткочасні пускові струми.

По-третє, важливо звернути увагу на клас захисту автоматичних вимикачів, оскільки теплиці часто мають підвищену вологість, а також можливі впливи пилу та забруднень. Вибір вимикачів з високим класом захисту (наприклад, IP55 або вище) дозволяє запобігти пошкодженню електричних компонентів через вологу або пил, що є особливо важливим для роботи в аграрних умовах.

Ще одним важливим аспектом є наявність функцій додаткового захисту, таких як захист від короткого замикання, перевантаження та витоків струму. Вимикачі, оснащені такими функціями, допомагають забезпечити безпеку експлуатації системи освітлення та опромінення, знижуючи ризик виникнення аварійних ситуацій та пошкодження електричних пристроїв.

Крім того, важливо вибирати автоматичні вимикачі, які мають зручний механізм відновлення після спрацьовування, а також можливість віддаленого моніторингу та керування, якщо система оснащена сучасною автоматизованою платформою. Це дозволить оперативно реагувати на будь-які збої в роботі системи і забезпечить безперебійну роботу системи освітлення та опромінення.

Враховуючи всі ці фактори, можна підібрати оптимальні автоматичні вимикачі для системи освітлення та опромінення теплиці, що забезпечить безпеку, надійність і довговічність роботи електричних систем у таких умовах.

Вибір проводимо за наступними умовами [9, 10]:

$$U_{н.АВ} \geq U_m; \quad (4.11)$$

$$I_{н.АВ} \geq I_{розр}; \quad (4.12)$$

$$I_{н.розч} \geq I_{розр}; \quad (4.13)$$

$$I_{\text{відс.розч.}} \geq (1,5 - 1,6)I_{н.} \quad (4.14)$$

Крім того, АВ обирають за кількістю полюсів, кліматичному виконання, категорії розміщення та ступенем захисту від навколишнього середовища.

Результати вибору автоматичних вимикачів для захисту системи освітлення та опромінення рослин у теплиці наведено в таблиці 4.3.

4.5. Вибір магнітних пускачів для керування опромінюючою установкою

Вибір магнітних пускачів для керування опромінюючою установкою є важливою складовою проєктування надійної та ефективної системи автоматизації в теплицях або лабораторіях, де здійснюється інтенсивне штучне освітлення для стимулювання росту рослин. Магнітні пускачі виконують функцію вмикання та вимикання електричних навантажень і можуть використовуватись як самостійно, так і в складі більш складних схем автоматичного керування.

Першочерговим критерієм вибору пускача є номінальний струм, який він здатен комутувати. Цей параметр має відповідати робочому струму опромінювальної установки з певним запасом (зазвичай 10–20%) для врахування пускових струмів і можливих перевантажень. Особливо це важливо для систем, які працюють з розрядними лампами або потужними світлодіодними модулями, що мають високі імпульсні навантаження при запуску.

Також слід враховувати номінальну напругу керованого кола, тип струму (змінний чи постійний), а також режим роботи – тривалий, повторно-короткочасний або короткочасний. В умовах теплиці найчастіше застосовується тривалий режим роботи, що потребує відповідного термічного ресурсу пускача.

Ще одним важливим параметром є категорія застосування пускача. Для освітлювальних приладів з індуктивним навантаженням (трансформатори, баласты, електродвигуни систем вентиляції, якщо керування ними поєднане) рекомендовано використовувати пускачі з категорією застосування АС-3 або АС-4, що забезпечують надійне комутування індуктивних навантажень.

Особливу увагу варто приділити конструктивному виконанню пускача – його ступеню захисту корпусу, який має бути не нижче IP44, а у вологих або запилених умовах – бажано IP54 або вище. Це забезпечить довговічність роботи та стійкість до агресивного середовища в теплиці.

Вибір проводимо за наступними умовами [9, 10]:

$$U_{н.МП} \geq U_{мережі} \quad (4.15)$$

$$I_{н.МП} \geq I_{н.М} \quad (4.16)$$

$$I_{н.Т.Р.} \geq I_{н.ДВ}; \quad (4.17)$$

$$I_{н.СР.Т.Р.} \geq I_{н.ДВ}; \quad (4.18)$$

Крім того, МП обирають за наявністю реверсу, за кількістю додаткових контактів, кліматичному виконання, категорії розміщення та ступенем захисту від навколишнього середовища.

4.6. Вибір шаф керування системою освітлення та опромінення рослин

Вибір шаф керування системою освітлення та опромінення рослин є важливим етапом у проектуванні та експлуатації агросистем, які потребують автоматизації та контролю параметрів освітлення. Шафи керування повинні забезпечувати ефективне управління освітленням та іншими енергетичними процесами, враховуючи специфіку рослинного середовища та потреби в енергозбереженні.

При виборі шафи необхідно враховувати кілька ключових факторів. По-перше, це має бути надійність і безпека обладнання, здатність працювати в умовах змінних температур, підвищеної вологості та можливих механічних впливів. Шафи керування повинні мати захист від короткого замикання, перевантажень та інших можливих небезпек для електричної мережі.

По-друге, важливим є забезпечення гнучкості у програмуванні та налаштуванні параметрів. Це дозволяє адаптувати систему освітлення під конкретні вимоги щодо інтенсивності світла, часу включення та вимкнення, а також створювати профілі освітлення для різних етапів розвитку рослин.

Окрім цього, важливою складовою є наявність можливості інтеграції шаф керування з іншими автоматизованими системами, такими як контролери вологості, температури, або системи моніторингу стану рослин. Це дозволяє створити єдину автоматизовану систему, що ефективно управляє всіма процесами, пов'язаними з ростом рослин та енергетичними витратами.

Таким чином, вибір шаф керування для системи освітлення та опромінення рослин вимагає комплексного підходу, орієнтуючись на надійність, енергоефективність, можливість програмування та інтеграції з іншими автоматизованими системами.

Для керування системою освітлення та опромінення теплиці обираємо шафи типу ЩО-12Н ДСТУ Б В. 2.5-60:2011. Як ввідний щит обрано шафу серії ПР11-3054ДСТУ EN 61439-3:2017.

5. ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОПРОМІНЕННЯ РОЗСАДИ ОГІРКІВ

5.1. Опис технологічного процесу опромінення розсади огірків

Технологічний процес опромінення розсади огірків передбачає створення оптимальних умов для фотосинтезу та розвитку рослин у контрольованому середовищі теплиці [13-18].

Для цього використовується опромінювальна установка ОТ-400МИ, яка забезпечує необхідний рівень світлового потоку та спектральний склад світла, максимально наближений до природного сонячного освітлення. Процес опромінення починається з підготовки розсади: розсада огірків розміщується на стелажах або в контейнерах у зоні дії світильників, причому дотримується рекомендована відстань між джерелом світла та верхівками рослин, щоб забезпечити рівномірне освітлення всієї площі.

Опромінювальна установка ОТ-400МИ працює в режимі, що задається відповідно до агротехнічних вимог для даної культури: тривалість освітлення протягом доби регулюється таймером або автоматизованою системою керування, яка забезпечує зміну інтенсивності світла залежно від фази росту рослин.

Зазвичай опромінення здійснюється протягом 12–16 годин на добу, з урахуванням природного освітлення. У процесі роботи установки також контролюються температура, вологість та вентиляція, що є важливими факторами для досягнення високої якості розсади.

Завдяки використанню установки ОТ-400МИ досягається рівномірне дозоване опромінення, яке сприяє активному розвитку кореневої системи, укоріненню та зміцненню рослин, а також скороченню періоду вирощування перед висадкою у відкритий ґрунт або основну теплицю.

5.2. Технологічні вимоги до системи опромінення огірків

Технологічні вимоги до системи опромінення огірків визначаються агробіологічними потребами культури та умовами закритого ґрунту, де здійснюється вирощування розсади. Основною метою є забезпечення оптимального рівня фотосинтетично активного випромінювання (ФАР) для стимуляції росту та розвитку рослин на ранніх стадіях [13, 14, 15].

Система опромінення повинна забезпечувати рівномірний розподіл світлового потоку по всій площі розміщення розсади, уникаючи як зон недостатнього освітлення, так і перенасичення, що може викликати перегрів або стрес у рослин. Потужність джерел світла та їхня кількість підбираються з урахуванням площі освітлення та потреб культури. Для огірків оптимальним є рівень освітленості у межах 8–12 тис. лк при тривалості опромінення 12–16 годин на добу [16, 17].

Спектральний склад світла повинен включати червоний (приблизно 660 нм) і синій (приблизно 450 нм) діапазони, які найбільше впливають на фотосинтез і розвиток рослин. Опромінювальні установки, такі як ОТ-400МИ, повинні бути обладнані лампами, здатними забезпечити ці спектри.

Система повинна мати засоби регулювання інтенсивності світла, а також можливість автоматизованого керування режимами опромінення відповідно до фази росту розсади. Важливою вимогою є також забезпечення безпечного рівня температури в зоні опромінення, з урахуванням тепловиділення світильників, з метою запобігання перегріву листової поверхні.

Крім того, система повинна бути енергоефективною, надійною в експлуатації, легкою в обслуговуванні та мати захист від пилу, вологи та перепадів напруги. Усі елементи системи мають відповідати вимогам техніки безпеки, особливо при роботі у вологому середовищі теплиці [18].

5.3. Складання та опис принципової схеми керування процесом опромінення розсади огірків

Схема електрична принципова автоматизованого керування процесом опромінення огірків наведена на листі графічної частини проєкту.

Система керування процесом опромінення огірків рослин у теплиці реалізована з можливістю роботи як у ручному, так і у режимі автоматичного керування. Електроживлення на схему подається за допомогою диференційного автоматичного вимикача QDF1, а далі – через захисний автомат SF1 до перемикача режимів SA1.

У ланцюзі пускорегулювального пристрою контакт KV1.2 також замикається, що дозволяє зарядити конденсатор C1 до порогу спрацювання розрядників FV1. Після пробою розрядників у первинній обмотці трансформатора TV2 виникає імпульсний струм, який індукуює високовольтний імпульс (2–3 кВ) у вторинній обмотці, спричиняючи електричний розряд у кварцовій лампі. Час повного розігріву джерела світла становить близько 2–4 хвилин, а повторне вмикання допускається лише після 7–12 хвилин охолодження.

Після запуску лампи контакт KT2.1 розмикається, знеструмлюючи реле KV1, а контакт KT2.2 самоусувається з ланцюга. Якщо в теплиці достатньо природного світла (наприклад, у сонячну погоду), то фотореле KL1.1 розмикає свій контакт, знеструмлюючи пускач KM1 і, відповідно, вимикаючи освітлювальне обладнання. Фоторезистор BL1 встановлюється у місці, де штучне світло від ламп на нього не впливає, що дозволяє точно враховувати рівень природного освітлення.

У разі переходу на ручне управління перемикач SA1 встановлюється у позицію «Р». При натисканні кнопки SB1.2 спрацьовує котушка KM1, що активує систему опромінення. Відключення ламп здійснюється або за допомогою кнопки SB1.1, або перемиканням SA1 у положення «0». Робота всієї системи супроводжується індикацією – загорянням сигнальної лампи HL1.

5.4. Складання схем з'єднань шафи керування опромінюючою установкою

Складання схем з'єднань шафи керування опромінюючою установкою (на прикладі ОТ-400МИ) передбачає розробку монтажних електричних схем, що забезпечують живлення, захист, керування та автоматизацію роботи світлотехнічного обладнання.

У складі шафи керування передбачаються наступні основні елементи: автоматичні вимикачі для захисту ліній живлення, контактори для вмикання/вимикання опромінювальних ламп або світильників, реле часу (таймери)

для автоматичного задання режимів опромінення, клемні з'єднання для підключення зовнішніх кабелів, а також індикатори стану (сигнальні лампи).

Монтажна схема або схема зовнішніх з'єднань визначає фактичне розташування елементів усередині шафи: розміщення на DIN-рейках автоматів, контакторів, таймерів, трансформаторів, клемних колодок, а також прокладання між ними дротів відповідного перерізу згідно з навантаженням. У схемі також позначаються кабелі, що підходять до світильників ОТ-400МИ, системи заземлення та сигнальні ланцюги.

Особливу увагу приділяють маркуванню всіх з'єднань та проводів згідно з єдиною схемою позначень, що значно полегшує введення в експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт обладнання.

Схема з'єднань автоматизованої системи опромінення розсади огірків наведена на листі графічної частини проєкту.

6. ЕКОЛОГІЯ

Вступ. Екологічна експертиза є важливою складовою оцінки впливу об'єкта на довкілля, що дозволяє виявити потенційні екологічні ризики, визначити рівень безпеки проектних рішень та розробити заходи для запобігання або мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище [19]. У цьому розділі розглядається екологічна експертиза теплиці Сумського національного аграрного університету як об'єкта дослідження, з урахуванням особливостей його функціонування, використання енергоресурсів, технологій вирощування сільськогосподарських культур, а також факторів, що можуть впливати на стан атмосферного повітря, ґрунтів, водних ресурсів та екосистем загалом. Проведення такої експертизи спрямоване на забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку освітньо-дослідної інфраструктури університету.

Вплив. Вплив тепличного господарства на навколишнє середовище є багатогранним і залежить від кількох факторів, таких як технології ведення господарства, використання енергетичних і матеріальних ресурсів, управління водними та ґрунтовими ресурсами, а також способи утилізації відходів. Враховуючи специфіку теплиці Сумського національного аграрного університету, вивчення екологічного впливу цієї інфраструктури є необхідним для забезпечення її сталого функціонування та мінімізації негативних наслідків для довкілля.

Одним із основних екологічних аспектів є споживання енергетичних ресурсів, оскільки підтримка оптимального мікроклімату в теплиці (температури, вологості, освітленості) вимагає значних витрат електричної енергії. При використанні традиційних джерел енергії це може призводити до викидів парникових газів і негативного впливу на клімат. У зв'язку з цим важливим є дослідження можливостей впровадження енергоефективних технологій та альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі, теплові насосні системи або біомаса, що дозволить зменшити екологічний слід теплиці.

Іншим важливим аспектом є використання добрив і пестицидів для забезпечення високих врожаїв. Неправильне або надмірне застосування хімічних засобів може призвести до забруднення ґрунту і водних ресурсів, а також негативно

впливати на біорізноманіття в околицях теплиці. Для мінімізації цього впливу важливо використовувати органічні або більш екологічно чисті альтернативи, а також розробити системи точного дозування і управління добривами, що дозволяють знизити їхнє використання.

Ще одним екологічним викликом є водне споживання. Теплиці потребують значних обсягів води для зрошення культур, що в умовах обмежених водних ресурсів може призводити до перевитрати води і навіть виснаження місцевих водних джерел. Впровадження систем замкнутого водообігу або дощувальних систем із точним контролем дозволить знизити витрати води та мінімізувати негативний вплив на навколишні екосистеми.

У процесі роботи теплиць утворюються різноманітні відходи, такі як залишки рослин, упаковка, пластик та інші матеріали, які можуть потрапляти до навколишнього середовища. Тому важливим є належне управління відходами, що включає їх переробку або утилізацію з мінімальним впливом на екологію.

Таким чином, екологічний вплив теплиці Сумського НАУ є комплексним і включає в себе різні аспекти, що взаємопов'язані з використанням енергетичних, водних та матеріальних ресурсів, а також утилізацією відходів.

Заходи. Для зниження екологічного впливу теплиці Сумського національного аграрного університету необхідно впровадити комплекс заходів, спрямованих на оптимізацію використання енергетичних, водних і матеріальних ресурсів, а також на зменшення негативних наслідків для довкілля. Одним із важливих кроків є впровадження енергоефективних технологій. Використання енергоощадних систем освітлення, автоматизовані системи контролю температури та вологості, а також застосування альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних панелей чи теплових насосів, дозволить значно зменшити споживання електричної енергії та викиди парникових газів.

Не менш важливим є впровадження технологій, спрямованих на оптимізацію використання водних ресурсів. Застосування систем замкнутого водообігу або дощувальних систем із точним контролем дозволить значно знизити витрати води та запобігти її надмірному використанню. Такі рішення допоможуть зберегти місцеві водні ресурси та мінімізувати їхній негативний вплив на екосистеми.

Для зниження впливу хімічних добрив та пестицидів на навколишнє середовище необхідно переходити до органічних добрив та біологічних методів захисту рослин. Це дозволить зменшити забруднення ґрунтів та води, а також сприятиме збереженню біорізноманіття. Технології точного землеробства, які забезпечують ефективне дозування добрив, також можуть значно знизити потребу в хімічних засобах і зменшити їхній вплив на навколишнє середовище.

Одним із важливих напрямів є управління відходами. Теплиця генерує різноманітні відходи, включаючи залишки рослин, упаковку та пластик. Забезпечення системи сортування, переробки та утилізації відходів дозволить мінімізувати їхній вплив на екологію. Компостування органічних відходів для подальшого використання як добрив, а також переробка пластикових матеріалів, дозволять знизити забруднення навколишнього середовища.

Важливою складовою є навчання працівників теплиці та студентів університету. Підвищення екологічної свідомості серед всіх учасників процесу допоможе формувати сталий підхід до ведення господарства, що враховує екологічні аспекти. Регулярний моніторинг екологічного стану теплиці та навколишнього середовища також є необхідним для своєчасного виявлення проблем та коригування заходів. Це включає моніторинг якості води, ґрунту, повітря та рівня викидів.

Висновки. Впровадження екологічно орієнтованих технологій та заходів для оптимізації використання ресурсів у теплиці Сумського НАУ дозволить значно знизити її негативний вплив на навколишнє середовище. Ці кроки сприятимуть сталому розвитку та підвищенню ефективності виробництва в умовах екологічної відповідальності.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація роботи з охорони праці у теплиці Сумського НАУ. Організація роботи з охорони праці у теплиці Сумського НАУ має на меті створення безпечних умов праці для всіх працівників, які залучені до вирощування та догляду за рослинами, а також для працівників, які займаються технічним обслуговуванням і управлінням процесами в теплиці. Одним з основних аспектів є планування та фінансування заходів з охорони праці, що включає розробку відповідних планів і бюджетів для забезпечення необхідних умов праці та своєчасного виконання заходів, спрямованих на зниження ризиків [20-22].

У межах колективного договору передбачено розділ, що регулює питання охорони праці, зокрема права та обов'язки працівників і роботодавця щодо забезпечення безпеки праці. Це включає визначення відповідальності за недотримання вимог безпеки та оплату витрат на охорону праці.

Одним із важливих елементів організації охорони праці є навчання працівників. У теплиці організовано навчання з охорони праці, що включає як теоретичну, так і практичну підготовку. Є спеціальні програми навчання, інструкції з охорони праці, а також журнали реєстрації інструктажів. Проводиться атестація працівників для перевірки їх знань щодо вимог безпеки.

Для забезпечення безпеки праці на підприємстві працівники отримують необхідний спецодяг та засоби індивідуального захисту. Враховуючи специфіку роботи в теплиці, важливо забезпечити персонал спеціальними костюмами для захисту від агрохімікатів та іншого обладнання, яке може створювати небезпеку. Крім того, забезпечення санітарно-побутових умов, таких як зручні місця для відпочинку, питна вода та відповідні умови для підтримання гігієни, також є частиною організації охорони праці.

Відповідальність за організацію роботи з охорони праці в теплиці несе керівництво підприємства, зокрема посадові особи, які відповідають за конкретні напрямки роботи. Це включає як контроль за виконанням нормативів і вимог, так і моніторинг стану безпеки праці на всіх етапах виробничого процесу.

Небезпечні та шкідливі фактори у теплиці. У теплиці можуть бути присутні різноманітні небезпечні та шкідливі фактори, що впливають на здоров'я працівників. Одним із таких факторів є високий рівень вологості, який може призводити до загрози виникнення грибкових захворювань та інших інфекцій, а також спричиняти розростання плісняви, що погіршує якість повітря. Крім того, тривале перебування в таких умовах може негативно позначитися на дихальних шляхах працівників, спричиняючи захворювання органів дихання.

Іншим серйозним фактором є високі температури, які характерні для роботи в теплицях. Працівники можуть зазнавати перегріву, що може призвести до теплових ударів або обморожень у разі різких перепадів температури. Висока температура в поєднанні з високою вологістю створює важкі умови праці, що потребують особливої уваги до гідратації та відпочинку.

Також, робота в теплиці пов'язана з використанням агрохімікатів, таких як пестициди та гербіциди, які є шкідливими для здоров'я. Їх потрапляння в організм може викликати отруєння або інші захворювання. Вони можуть бути вдихнуті при розпиленні або потрапити через шкіру, якщо не дотримуватися необхідних заходів безпеки, таких як використання засобів індивідуального захисту.

Шум, що виникає при роботі обладнання, такого як вентиляційні системи або поливні установки, також є шкідливим фактором. Постійний шум може спричиняти порушення слуху або нервові розлади, що впливає на загальний стан здоров'я працівників.

Не менш важливим є ризик травм, пов'язаний з роботою з технічним обладнанням, інструментами або при виконанні маніпуляцій із важкими предметами. Недотримання правил безпеки або погане технічне обслуговування обладнання може призвести до механічних травм.

Отже, для зменшення ризиків, пов'язаних з небезпечними та шкідливими факторами в теплиці, необхідно вживати відповідних заходів охорони праці, забезпечувати правильну організацію праці та належний контроль за дотриманням правил безпеки.

Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці при виконанні робіт у теплиці. Для забезпечення безпечних і здорових умов праці при виконанні робіт у теплиці необхідно врахувати кілька ключових аспектів. Перш за

все, важливо розробити і впровадити систему управління охороною праці, яка включає планування заходів, навчання персоналу, забезпечення засобами індивідуального захисту та організацію ефективного контролю за станом безпеки.

Однією з перших рекомендацій є регулярне проведення навчання та інструктажів для всіх працівників теплиці. Працівники повинні бути ознайомлені з основними вимогами безпеки, використовувати відповідні інструкції та пройти атестацію з охорони праці. Усі працівники повинні мати доступ до актуальних програм навчання та інструкцій з охорони праці, а також до журналів реєстрації інструктажів для систематичного контролю.

Важливим етапом є забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту, такими як спецодяг, рукавички, захисні маски та окуляри. Використання цих засобів допоможе мінімізувати ризики, пов'язані з використанням агрохімікатів і забезпечить захист від шкідливих факторів, таких як пестициди та гербіциди. Спецодяг має бути зручним і відповідати вимогам безпеки, а засоби індивідуального захисту повинні бути відповідно підібрані до умов роботи.

У теплицях, де можуть бути високі температури та підвищена вологість, необхідно регулярно моніторити мікроклімат і підтримувати комфортні умови для працівників. Важливо забезпечити систему вентиляції, щоб уникнути перегріву та підтримувати нормальний рівень вологості. Працівники мають бути забезпечені доступом до питної води, регулярними перервами для відпочинку та можливістю працювати в комфортних умовах.

Ще однією важливою рекомендацією є проведення регулярних перевірок і технічного обслуговування обладнання, що використовується в теплиці. Система поливу, вентиляції та інші технічні установки повинні функціонувати належним чином, щоб уникнути аварійних ситуацій та механічних травм.

Не менш важливою є організація санітарно-побутових умов для працівників. Забезпечення чистого та впорядкованого робочого місця, наявність туалетів, душових і приміщень для відпочинку створює не лише комфорт, а й сприяє підтримці гігієни та здоров'я працівників.

Останнім, але важливим кроком є контроль за дотриманням усіх норм і вимог безпеки. Відповідальні особи повинні регулярно проводити перевірки і аудит з

охорони праці, щоб оперативно виявляти можливі порушення і вживати необхідних заходів для їх усунення.

Висновки. У процесі створення належного рівня охорони праці та підтримання гігієнічних стандартів в теплиці Сумського НАУ необхідно враховувати як фізичні, так і хімічні ризики, що впливають на здоров'я працівників. Важливим кроком є створення системи управління охороною праці, яка включає навчання персоналу, використання засобів індивідуального захисту, забезпечення комфортних умов праці та систематичний моніторинг дотримання вимог безпеки. Забезпечення належного технічного обслуговування обладнання, підтримання оптимального мікроклімату в теплиці та дотримання санітарно-побутових вимог створюють умови для ефективної роботи та зниження ризиків травм і захворювань.

Реалізація вищезазначеного дозволить мінімізувати вплив шкідливих факторів на працівників та сприяти підвищенню продуктивності праці, зберігаючи здоров'я та безпеку працівників. В кінцевому результаті, комплексний підхід до організації охорони праці сприятиме створенню безпечного робочого середовища та позитивно вплине на ефективність роботи в теплиці.

8. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Економічне обґрунтування реконструкції системи електрифікації теплиці з розробкою автоматизованої системи керування опроміненням розсади огірків є важливим етапом при впровадженні нових технологій в аграрний сектор. Така реконструкція дозволить не тільки підвищити ефективність енергоспоживання, а й значно поліпшити умови для росту та розвитку рослин, що забезпечить зростання врожайності та зниження витрат на енергетичні ресурси [23, 24].

Суттєвим елементом цього процесу є автоматизація управління освітленням, що дозволяє точніше регулювати рівень опромінення, залежно від потреб рослин, що в свою чергу оптимізує енергоспоживання. Завдяки впровадженню автоматизованої системи керування освітленням, процеси опромінення будуть автоматично регулюватися на основі заданих параметрів, таких як інтенсивність світла, температура і вологість у теплиці.

Економічний ефект від реконструкції системи електрифікації теплиці полягає в зниженні витрат на енергоспоживання завдяки використанню енергоефективних технологій. Такі системи, як автоматичні системи освітлення, дозволяють зменшити надмірне споживання електричної енергії, що традиційно спостерігається при використанні звичайних методів освітлення. Крім того, автоматизація сприяє зниженню витрат на технічне обслуговування та покращує роботу персоналу, що в свою чергу скорочує витрати на оплату праці.

Аналіз економічної доцільності таких інвестицій показує, що витрати на впровадження нової системи будуть швидко компенсовані завдяки зниженню енергетичних витрат та збільшенню обсягів виробництва. Окрім того, підвищення врожайності та покращення якості продукції сприятимуть збільшенню доходу, що також дозволить відшкодувати витрати на реконструкцію в короткостроковій перспективі [24].

Капіталовкладення в реконструкцію системи електрифікації теплиці наведено показано в таблиці 8.1.

Річне зниження витрат на оплату електроенергії на потреби теплиці [24]:

$$E_{el} = (W_{\delta} - W_{np}) \cdot C, \quad (8.1)$$

де C – вартість 1 кВт·год електроенергії із врахуванням плати за розподіл та передачу, грн/кВт·год. Приймаємо вартість 6 грн/кВт·год.

$$E_{el} = (126224 - 113601,6) \cdot 6 = 75734 \text{ грн.}$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{E_p}, \quad (8.2)$$

$$T_{ок} = \frac{85612}{75734} = 1,13 \text{ років}$$

Таблиця 8.2 – Зведені техніко-економічні показники

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Кошти на придбання обладнання, грн.	-	85612
Споживання електричної енергії у теплиці за рік, кВт·год	126224	113601,3
Різниця споживання електроенергії, кВт·год	-	12622,7
Вартість спожитої енергії, грн/кВт·год	6	6
Річна економія на оплату спожитої енергії, грн	-	75734
Термін окупності, років	-	1,13

Висновки. Проект передбачає зниження споживання електричної енергії у теплиці на 12 622,7 кВт·год на рік. Це призводить до річної економії на оплату електроенергії в розмірі 75 734 грн, оскільки вартість одного кВт·год електричної енергії становить 6 грн. Загальна вартість придбання обладнання для реалізації проекту складає 85 612 грн. Термін окупності проекту, з урахуванням економії на оплаті за електроенергію, становить 1,13 роки. Отже, проект є економічно вигідним і дозволяє швидко повернути витрачені кошти завдяки значній економії на енергоспоживанні.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаної роботи з реконструкції системи електрифікації теплиці на базі Сумського НАУ та розробки автоматизації процесу опромінення розсади огірків було досягнуто кількох важливих результатів. Проведений аналіз тепличного господарства показав необхідність модернізації існуючих електричних систем для підвищення ефективності вирощування продукції та енергозбереження. Розрахунки системи освітлення та опромінення рослин дозволили точно визначити вимоги до освітлювальних приладів та обладнання, що забезпечить оптимальні умови для росту розсади огірків.

Розробка принципової схеми електричної мережі та автоматизації процесу опромінення дозволила створити ефективну систему управління, що спрощує контроль за параметрами освітлення та опромінення. Вибір кабелів, автоматичних вимикачів та пускачів забезпечив безпечну і надійну роботу всієї електричної мережі. Окрім того, важливими етапами були розробка екологічної експертизи та заходів з охорони праці, що підтверджують відповідність проекту сучасним екологічним стандартам та вимогам безпеки праці.

Важливим аспектом роботи стало також економічне обґрунтування запропонованих рішень, що доводить економічну доцільність модернізації системи електрифікації теплиць та автоматизації процесу опромінення для підвищення ефективності виробництва. Термін окупності проекту, з урахуванням економії на оплаті за електроенергію, становить 1,13 роки. Отже, проект є економічно вигідним і дозволяє швидко повернути витрачені кошти завдяки значній економії на енергоспоживанні.

Загалом, реалізація запропонованої системи має на меті значне покращення умов для вирощування розсади огірків, зменшення витрат енергії та збільшення врожайності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білий С. Плівкові теплиці останнього покоління / С. Білий // Плантатор. – 2020. – № 3. – С. 108-110.
2. Мельник С. Клімат-контроль у ягідних тунелях компанії Naugrove / С. Мельник // Ягідник. – 2020. – № 2. – С. 80-82.
3. Опалення теплиць узимку: прості поради для комерційних виробників // Овочівництво. – 2020. – № 2. – С. 152.
4. Слепцов Ю. Обігрів теплиць / Ю. Слепцов // Плантатор. – 2020. – № 1. – С. 104-106.
5. Кошкін Д. Л. Ієрархічна комп'ютеризована система керування врожайністю теплиці / Д. Л. Кошкін // Вісник аграрної науки Причорномор'я : науковий журнал. – 2020. – Вип.2(85). - Т.1. - Ч.2. - С. 179-186.
6. Діордієв В.Т., Кашкар'єв А.О., Діордієв О.О. Автоматизована система моніторингу та керування мікрокліматом у теплиці. Матеріали науково-технічної конференції студентів та магістрантів. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2020. Вип. 8. Т. 2.
7. Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Прокопенко Т.О. Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград, 2020. Вип. 29. С. 168–172.
8. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання, станом на 21.08.2017).
9. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК : підручник / І. І. Мартиненко, В. П. Лисенко, Л. П. Тищенко, І. М. Болбот, П. В. Олійник. – К. : НМЦ Мін-ва аграрної політики України, 2008. – 330 с; 2020. – 330 с.
10. Дипломне проектування зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Методичні рекомендації. Частина 2 «Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка пуско-

захисної апаратури» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 76 с.

11. В.Ф. Яковлев, Р.В. Кушлик, С.О. Квітка, Ю.М. Куценко. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення: Навчальний посібник / За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – Мелітополь, 2020. – 106 с.

12. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електричне освітлення та опромінення» для студентів факультету енергетики і автоматики / Л.С. Червінський, Л.О. Сторожук, Б.М. Ковалишин – Київ, НУБіП, 2020 р. – 63 с.

13. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2020. – 557 с.

14. Katzin, D., Marcelis, L. F., Van Henten, E. J., & Van Mourik, S. (2023). Heating greenhouses by light: A novel concept for intensive greenhouse production. *Biosystems Engineering*, 230, 242–276. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.04.003>.

15. Yilmaz, F., & Selbaş, R. (2020). Performance assessment of various greenhouse heating systems; a case study in Antalya. In Elsevier eBooks (pp. 421–433). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813734-5.00024-x>.

16. Vourdoubas, J. (2020). Overview of Heating Greenhouses with Renewable Energy Sources a Case Study in Crete- Greece. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 4(1). <https://doi.org/10.15640/jaes.v4n1a9>.

17. Sun, W., Wei, X., Zhou, B., Lu, C., & Guo, W. (2022). Greenhouse heating by energy transfer between greenhouses: System design and implementation. *Applied Energy*, 325, 119815. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119815>.

18. Лисенко В. П. Алгоритм формування стратегій керування процесом вирощування рослин у теплиці з урахуванням їх стану / В. П. Лисенко, І. Т. Лендел // Науковий віс-ник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2020. – Вип. № 283. - С. 118-124.

19. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у кваліфікаційній роботі здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання. - Суми: СНАУ, 2023.– 14 с.

20. Економіка сільського господарства : навч. посіб. / [Збарський В.К., Бабієнко М.Ф., Кулаєць М.М., Синявська І.М., Хоменко М.П.]; за ред. проф. В.К. Збарського. – К. : Агроосвіта, 2020. – 352 с.

21. Яковлев В. Ф., Барсукова Г. В. Методичні вказівки до виконання розділу «Екологічна експертиза» в випускних роботах здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальностей 2 першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. – Суми: СНАУ, 2021.– 12 с.

22. Чепіжний А.В., Шашков С.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційного проекту, ступеня вищої освіти «Бакалавр» для здобувачів вищої освіти 4 та 2 с. т. курсів інженерно-технологічного факультету спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», денної та заочної форм навчання.– Суми: Сумський НАУ, 2024. – 33 с.

23. Василенко О.О., Хворост Т.В, Семерня О.В., Кіндя О.П. (2021). Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в випускних роботах студентами спеціальностей 208 «Агроінженерія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 «Електрична інженерія», 275 «Транспортні технології» галузь знань 27 «Транспорт» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Суми: СНАУ, 14.