

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 електропостачання тепличного комплексу Green Center, Сумського НАУ, м. Суми, з розробкою системи освітлення та опромінення рослин».

Виконав:

_____ (підпис)

Лулаков І.О.
(Прізвище, ініціали)

Група:

ЕТЕС 2101

(Науковий) керівник:

_____ (підпис)

Чепіжний А.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

Лулаков Ілля Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція системи електропостачання тепличного комплексу Green Centr, Сумського НАУ, м. Суми, з розробкою системи освітлення та опромінення рослин,

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «24» вересня 2024 року № 3257/ос.

2. Строк подання здобувачем роботи: «15» травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: нормативні документи, технічні паспорти та технічна характеристика обладнання.

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

Вступ. 1 Характеристика тепличного комплексу Green Center СНАУ. 2 Опис тепличного комплексу. 3 Розрахунок системи електропостачання тепличного комплексу. 4 Розробка системи освітлення та опромінення. 5 Проектування електричного освітлення. 6 Охорона праці. 7 Екологічна безпека. 8 Економічне обґрунтування дипломного проєкту. Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

ТК Green Center. Установка освітлювальна. Схема електрична розташування. Тепличний комплекс. Мережа освітлювальна. Схема електрична принципова. ТК Green Center. Шафа керування. Схема електрична з'єднань. Схема керування системою освітлення та опромінення автоматизована. Показники техніко-економічні. Таблиця.

6. Консультанти розділів роботи:

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

7. Дата видачі завдання: «04» 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 | 6.09.2024 р. | |
| 2. | Аналіз літературних джерел з обраної тематики та | до 13.09.2024 р. | |
| 3. | Складання плану роботи | до 27.09.2024 р. | |
| 4. | Написання вступу | до 04.10.2024 р. | |
| 5. | Підготовка розділу «Розділ 1. Характеристика Green Center» | до 18.10.2024 р. | |
| 6. | Підготовка розділу «Розділ 2. Опис технічного комплексу» | до 01.11.2024 р. | |
| 7. | Підготовка розділу «Розділ 3. Розрахунок системи електропостачання» | до 15.11.2024 р. | |
| 8. | Підготовка розділу «Розділ 4. Розробка системи освітлення та опромінення» | до 20.12.2024 р. | |
| 9. | Підготовка розділу «Розділ 5. Проектування освітлення» | до 24.01.2025 р. | |
| 10. | Підготовка розділу «Розділи 6 та 7. Охорона праці. Екологічна безпека» | до 21.02.2025 р. | |
| 11. | Підготовка розділу 8. Економічне обґрунтування» | до 14.03.2025 р. | |
| 12. | Написання висновків та пропозицій | до 25.04.2025 р. | |
| 13. | Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету | до 15.05.2025 р. | |
| 14. | Подання роботи на рецензування | до 23.05.2025 р. | |
| 15. | Подання до попереднього захисту | до 27.05.2025 р. | |

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Лулаков І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Чепіжний А.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лулаков І.О. Реконструкція системи електропостачання тепличного комплексу Green Centr, Сумського НАУ, м. Суми, з розробкою системи освітлення та опромінення рослин. Суми : СНАУ, 2025 р.

Кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

У роботі розглянуто питання реконструкції системи електропостачання тепличного комплексу «Green Center» Сумського національного аграрного університету з метою підвищення енергоефективності та надійності роботи тепличного обладнання. Досліджено сучасний стан електромережі, освітлення, систем керування та запропоновано технічні рішення з модернізації, які відповідають вимогам аграрного виробництва.

Проаналізовано стан електрифікації теплиці, обґрунтовано необхідність впровадження LED-освітлення та систем штучного опромінення для покращення фотосинтезної активності рослин. Запропоновано енергоощадні та безпечні технічні рішення з урахуванням агресивного середовища та підвищеної вологості.

Виконано вибір та перевірку електрообладнання, контактної та пуско-захисної апаратури, проведено електротехнічні розрахунки та розроблено принципові та монтажні схеми. Розглянуто питання охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки, екологічної безпеки й економічного обґрунтування.

Проект підтверджує доцільність модернізації з точки зору енергоефективності, продуктивності та екологічності, має високий економічний ефект зі строком окупності менше одного року.

Ключові слова: теплиця, електрообладнання, LED-освітлення, опромінення, фотосинтез, схема автоматизації освітлення, багаторівні установки.

SUMMARY

Lulakov I.O. Reconstruction of the power supply system of the Green Centr greenhouse complex, Sumy National Agricultural University, Sumy, with the development of a lighting and irradiation system for plants. Sumy: SNAU, 2025.

Qualification work in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics», educational and professional program «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics».

The work considers the issue of reconstruction of the power supply system of the Green Center greenhouse complex of Sumy National Agrarian University in order to increase energy efficiency and reliability of greenhouse equipment. The current state of the power grid, lighting, control systems is studied and technical solutions for modernization are proposed that meet the requirements of agricultural production.

The state of the greenhouse electrification is analyzed, the need to introduce LED lighting and artificial irradiation systems to improve the photosynthetic activity of plants is substantiated. Energy-saving and safe technical solutions are proposed, taking into account the aggressive environment and high humidity.

The selection and verification of electrical equipment, contact and start-up and protective equipment were carried out, electrical calculations were carried out and principle and installation diagrams were developed. The issues of labor protection, electrical safety, fire safety, environmental safety and economic justification were considered.

The project confirms the feasibility of modernization in terms of energy efficiency, productivity and environmental friendliness, has a high economic effect with a payback period of less than one year.

Keywords: greenhouse, electrical equipment, LED lighting, irradiation, photosynthesis, lighting automation scheme, multi-tiered installations.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 8 |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ GREEN CENTER СНАУ..... | 9 |
| 1.1 Загальна структура діяльності комплексу..... | 9 |
| 1.2 Призначення тепличного комплексу..... | 9 |
| 1.3 Аналіз стану електрифікації комплексу Green Center..... | 10 |
| 1.4 Висновки і пропозиції щодо аналізу..... | 10 |
| 2 ОПИС ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ..... | 11 |
| 2.1 Аналіз технологій теплиці..... | 11 |
| 3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ..... | 21 |
| 3.1 Електроживлення теплиці..... | 21 |
| 3.2 Розрахункові вихідні дані..... | 22 |
| 3.3 Розрахунки електричних навантажень..... | 22 |
| 3.4 Вибір обладнання..... | 24 |
| 3.5 Розрахунок захисних апаратів і проводів для ЕП..... | 27 |
| 3.6 Розрахунок захисних апаратів та кабелів по вузлах живлення..... | 30 |
| 3.7 Розрахунок струмів короткого замикання..... | 32 |
| 3.8 Електричні апарати і технічні характеристики..... | 36 |
| 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ..... | 38 |
| 4.1. Опис технологічного процесу вирощування тепличних рослин..... | 38 |
| 4.2 Розробка технологічних вимог до системи автоматизації освітлення теплиці..... | 38 |
| 4.3 Проєктування та опис системи автоматичного керування освітленням..... | 40 |
| 4.4 Розробка схеми з'єднань системи освітлення та опромінення теплиці..... | 41 |
| 4.5 Обладнання..... | 42 |
| 5 ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ..... | 48 |
| 5.1 Вибір системи та виду освітлення..... | 48 |

| | |
|--|----|
| 5.2 Вибір джерела світла та типу світильника..... | 48 |
| 5.3 Вибір нормованої освітленості..... | 48 |
| 5.4 Розрахунок розміщення світильників..... | 48 |
| 6 ОХОРОНА ПРАЦІ..... | 52 |
| 7 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА..... | 54 |
| 8 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ..... | 55 |
| 8.1 Розрахунок економічної ефективності впровадження енергоефективних заходів у тепличному господарстві..... | 55 |
| ВИСНОВКИ..... | 59 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 60 |

ВСТУП

Тепличне виробництво зараз розвивається як динамічна та ефективна галузь сільського господарства, що має значення для постачання населення свіжими та багатими вітамінами рослинами та овочами, а також квітами у будь-яку пору року, у той час, коли зі звичайного ґрунту врожай можна зібрати лише у певний сезон. В сучасному світі є важливими такі галузі як аграрні комплекси по вирощування плодово-ягідних та овочевих культур. Особливо, як підсобні господарства шкіл, коледжів, вищих навчальних закладів. Одним із сучасних є тепличний комплекс Green Center, який використовує автоматизовану систему поливу, підкормки та освітлення щодо тепличних приміщень, та інші механізовані системи обробки ґрунту. Але комплекс потребує реконструкції системи електропостачання, включаючи освітлення для економічного енергозбереження та систему опромінення для стабільно-ефективної роботи щодо якісного вирощування розсади овочевих культур, салатів і т. ін.

Тепличний комплекс Green Center знаходиться на території Сумського національного аграрного університету, який має 0,54 га загальної площі та теплиці 0,0078 га. Займається вирощуванням як дерев, малинників, виноградників, кущів смородини, так і всяких овочевих культур, салатів, цибулі, кропу для забезпечення співробітників і студентів екологічно чистою продукцією.

Також студенти постійно проходять практичні заняття та виробничі практики, де набираються досвіду вирощування (догляду), збирання салатів, ягід, яблук, груш, овочів, та ін. і відповідно їх реалізація. Є в планах розширити вирощування тепличної продукції у зв'язку з її попитом, але тоді є актуальною реконструкція всієї системи електропостачання та запровадження вкрай необхідної системи опромінення для тепличних рослин. В ході написання роботи важливо здійснити аналіз та вибрати найбільш ефективний метод вирощування рослин в даних умовах [6]. Головною метою комплексу Green Center є підвищення врожайності та якості при оптимізації енергетичних ресурсів.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ GREEN CENTER СНАУ

1.1 Загальна структура діяльності комплексу

Green Center Сумського національного аграрного університету є інноваційним теплично-польовим аграрним об'єктом [6,8], який виконує як наукову, так і виробничу функції. Комплекс охоплює близько 0,078 гектарів сільськогосподарських угідь, які використовуються для вирощування овочевих культур, ягідників, садів та розсади.

До складу Green Center входять:

- Сучасні теплиці загальною площею 604 м², обладнані системами автоматизованого контролю мікроклімату, розміри досліджуваного об'єкту теплиці 302 м²;
- Польові ділянки для вирощування сезонних овочевих культур;
- Ягідні плантації (малина, смородина, виноградники);
- Сади яблуневі з краплинним зрошенням;
- Розсадники для вирощування посадкового матеріалу;
- Науково-дослідна база для студентів і аспірантів СНАУ;
- Складські та технічні приміщення для зберігання продукції та обслуговування техніки.

Таким чином, Green Center є багатофункціональним аграрним підрозділом, що поєднує в собі виробництво, науку й освіту.

1.2 Призначення тепличного комплексу

Основне призначення тепличного комплексу – забезпечення високоякісного вирощування овочевої продукції та розсади незалежно від сезонних умов. В умовах кліматичної нестабільності та високої потреби в безперебійному постачанні свіжої продукції, теплиці Green Center дозволяють:

- Отримувати два-три врожаї на рік;
- Забезпечувати навчальний процес практичними заняттями;

- Проводити дослідження з агротехнологій, біологічного захисту та енергозбереження;
- Підвищувати ефективність селекційної та насінневої роботи;
- Створювати умови для енергоефективного вирощування зелені, салатів, томатів, перцю, огірків та інших культур.

Комплекс також частково виконує функції демонстраційного поля для партнерів та фермерів, зацікавлених у впровадженні інновацій.

1.3 Аналіз стану електрифікації комплексу Green Center

На даний момент електропостачання тепличного комплексу здійснюється від внутрішньогосподарської мережі СНАУ. Проте наявні системи електрифікації частково застарілі і не відповідають сучасним вимогам щодо:

- надійності живлення,
- енергоефективності,
- інтеграції сучасних освітлювальних систем для рослинного вирощування.

Деяке обладнання експлуатується понад 10 років і має високий ступінь зносу. Освітлення в теплицях частково базується на лампах розжарювання та люмінесцентних світильниках, які не забезпечують необхідного спектра світла для фотосинтезу. Це впливає на темпи росту рослин, енергоспоживання та продуктивність комплексу.

Наявні трансформатор, розподільчі щити, системи заземлення, автоматика також потребують оновлення. В умовах активного розширення площ і зростання потреб у штучному опроміненні, реконструкція системи електропостачання є вкрай актуальною.

1.4 Висновки і пропозиції щодо аналізу

Проведений аналіз підтверджує необхідність модернізації електротехнічної інфраструктури тепличного комплексу. Це дозволить:

- Підвищити енергетичну ефективність виробництва;

- Забезпечити безперервне функціонування системи освітлення та опромінення;

- Знизити витрати, пов'язані з експлуатацією обладнання;

- Забезпечити вищу якість вирощуваної продукції; продукції (низькорослі рослини: кріп, петрушка, салати і т. ін.) завдяки точному управлінню мікрокліматом і світловим режимом.

Реконструкція повинна передбачати використання LED-освітлення та опромінення з оптимальним спектром для різних фаз росту рослин, установку сучасного електрощитового обладнання, автоматизованих систем керування та впровадження резервного живлення на випадок аварійних ситуацій.

2 ОПИС ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

2.1 Аналіз технологій теплиці

Сучасне багатоярусне виконання установок є економічним і ефективним з точки зору використання простору, а дозволяє обійтися без додаткових фінансових витрат на будівництво спеціальних об'єктів, зменшує витрати логістику і зберігання, мінімізує час монтажу та пусконаладжувальні роботи [12]. Система управління установкою повністю контролює всі процеси, включаючи рекуперацію тепла, CO₂ і асиміляційне освітлення, що дозволяє оптимізувати роботу обладнання, що постачається, і зробити її більш ефективною.

Створення багатоярусної установки стелажного типу зі світлодіодними джерелами світла.

У установках для опромінення рослин у багатоярусних установках стелажного типу вимірювання виробляють стосовно однієї довільно обраної стелажної полиці. Вимірювання проводять у горизонтальній площині посадки рослин (за відсутності рослин) у контрольних точках.

Стелажі та секції можуть бути об'єднані в один великий автоматизований промисловий багатоярусний модуль, що дуже зручно для вирощування у великих обсягах з кратним збільшенням комерційної вигоди.

Загальні розміри теплиці довжина 23,5 м, ширина 14,5 м та додаткові приміщення: 3,5×6м та 9×2,5м. Розміри стелажів, які були враховані при проектуванні: довжина – 3000мм; ширина – 1000 мм; Висота – 1700 мм; Відстань міжполками – 800 мм.



Рисунок 2.1 – Модель багатоярусної установки

Ця крива сили світла [1, 2] забезпечує рівномірність розподілу освітленості за рахунок перетину один з одним, на одній із полиць багатоярусної установки.

Розташування світильників на одній полиці (1 шт). Така конструкція дозволяє найбільш оптимально використовувати обмежений простір. Система також дозволяє економніше вирощувати не лише зелень (основна культура більшості вертикальних ферм), а й інші низькорослі рослини. Енергозберігаючі заходи в тепличному комплексі Тепличне виробництво є енергоємною галуззю, тому питання зниження енергоємності та впровадження енергозберігаючих технологій [14] на тепличні підприємства є актуальними та стоять гостро, ніж в інших галузях агропромислового комплексу.

Енергоємність продукції овочівництва захищеного ґрунту – показник, що характеризує витрату енергії (розраховується шляхом поділу витрат паливно-енергетичних ресурсів на обсяг виробленої продукції). Частка енергоресурсів у собівартості продукції овочівництва захищеного ґрунту становить близько 40%, що досить великий показник.

Основним фактором, що впливає на зниження енергоємності, є модернізація енергокомплексу, який забезпечує теплицю електрикою та теплом, а також використання енерго- та ресурсозберігаючих технологій.

Одним з головних споживачів електричної енергії в тепличному комплексі є система доосвітлення (штучне опромінення), тому що на потреби освітлення витрачається до 75% споживаної електроенергії. Скоротити витрати електроенергії можна за допомогою:

- зменшення часу використання світильників;
- зниження номінальної потужності освітлення.

Впровадження інноваційних систем керування освітленням сприяє зменшенню періоду використання світильників.

Зменшення номінальної потужності освітлення при використанні більш ефективних джерел світла, що забезпечують необхідну освітленість при істотно меншому енергоспоживанні вимоги [15]. Наприклад, до таких джерел відносяться енергозберігаючі світлодіодні світильники. На даний момент вони вважаються найбільш ефективним та економічним видом освітлення, що все частіше застосовується у тепличних комплексах [2, 3].

Одне з основних питань – основні критерії вибору освітлювального обладнання.

Світло денного білого відтінку складається з хвиль різної довжини, які разом формують видимий спектр – від фіолетових до червоних тонів. Діапазон довжин хвиль видимого світла становить приблизно від нм (фіолетове світло) до нм (червоне світло) [1, 2].

Рослини найкраще засвоюють світло у синьому, помаранчевому та червоному діапазонах, саме в цих зонах фотосинтез відбувається найактивніше. Основні піки поглинання світла рослинами припадають на довжини хвиль близько 450 нм (синій) та 665 нм (червоний). Зелене та жовте світло майже не засвоюються рослинами, тому воно переважно відбивається від листя, що й зумовлює їх зелений колір.

Крім того, на різних етапах розвитку рослин потреби в освітленні різняться. У фазі активного росту та формування листя особливо важлива синя частина спектра, під час фаз цвітіння і формування плодів червоне світло забезпечує кращу ефективність.

Найкращих результатів у штучному освітленні рослин можна досягти, відтворивши спектр денного світла, при цьому посиливши червону та синю складові і зменшивши частку жовто-зеленого спектра, який не є ефективним для фотосинтезу.

При оцінці ефективності ламп часто застосовують показник світловіддачі – співвідношення між світловим потоком та споживаною електричною потужністю [1]. Чим вищий цей коефіцієнт, тим економічніше працює освітлення і менші витрати на електроенергію [11]. На відповідних графіках зазвичай зображується порівняння світловіддачі для різних типів джерел світла.

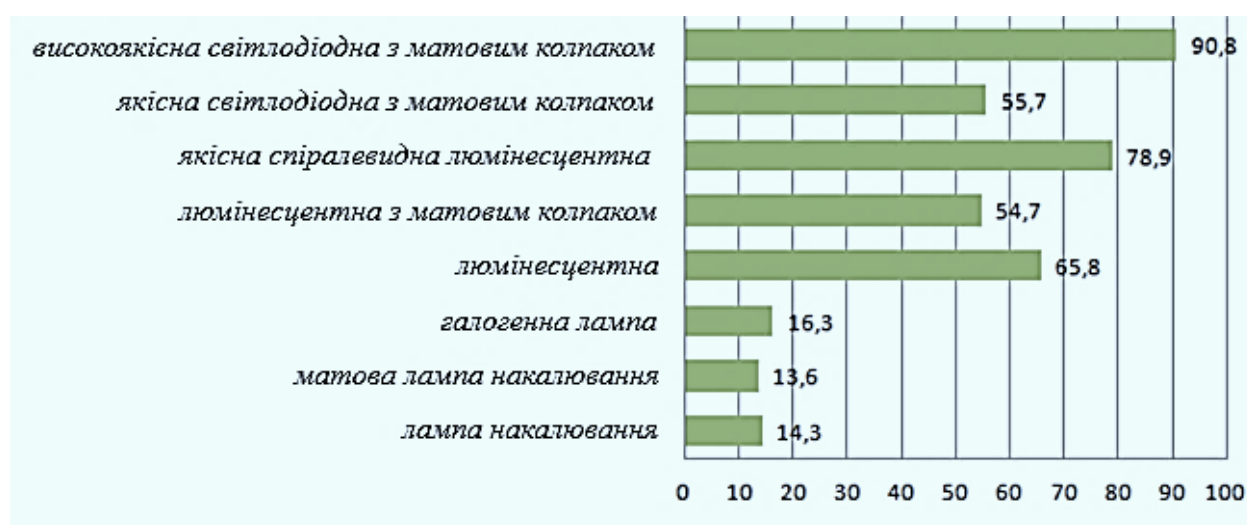


Рисунок 2.2 – Світловіддача різних типів ламп

Оптимальний світильник для теплиці повинен забезпечувати випромінювання в діапазоні, корисному для фотосинтезу (PAR), а також мати можливість змінювати спектр залежно від фаз росту рослин. Саме цим вимогам найкраще відповідають світлодіодні фітолампи [4,5] – вони більш надійні та енергоефективні порівняно з іншими джерелами світла [14].

Проте для повноти картини розглянемо й газорозрядні лампи. Усі їхні різновиди характеризуються високою світловою потужністю та широким розсіюванням світла, проте світловіддача у них значно нижча, ніж у LED-пристроїв [1]. Більша частина спожитої енергії витрачається на нагрівання, що ускладнює підтримку потрібного мікроклімату та збільшує витрати на охолодження. Щоб уникнути перегріву рослин, натрієві лампи ДНаТ і ртутні

ДРЛ доводиться розміщувати на великій висоті, а це не завжди можливо в компактних теплицях із високими культурами.

Крім того, газорозрядні лампи потребують додаткової пускорегулювальної апаратури, що підвищує початкові інвестиції. Через значні теплові втрати й вище споживання електроенергії вони виявляються менш економічними, особливо в холодну пору року. Після 1,5-2 років роботи світловий потік ДНаТ і ДРЛ знижується, лампи стають тьмяними й підлягають заміні. А наявність ртуті в конструкції ускладнює їхню утилізацію та потребує дорогих спеціалізованих процедур.

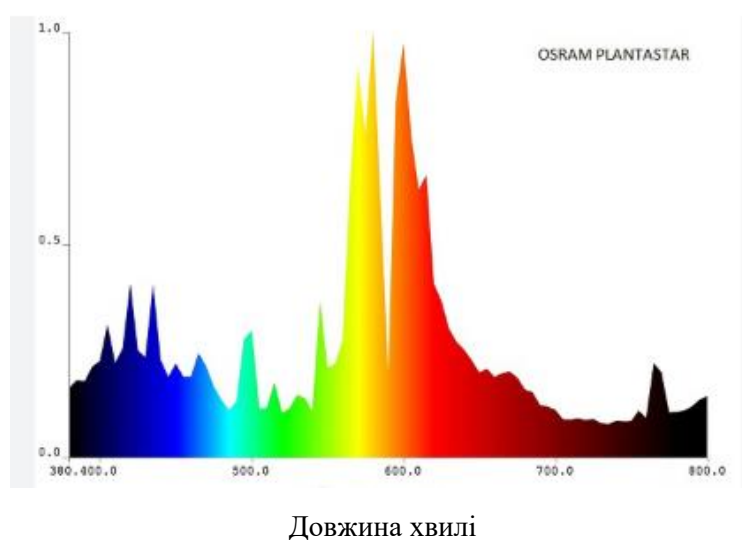


Рисунок 2.3 – Спектр натрієвої лампи ДНаТ

Спектр натрієвих ламп високого тиску (ДНаТ, ДНаЗ) багатий на червону складову, що особливо корисно на етапі цвітіння та плодоношення рослин (рисунок із спектром ДНаТ). Однак у фази активного росту й набору зеленої маси через відсутність синьої частини спектра застосовують ртутні лампи ДРЛ (рисунок спектра ДРЛ) [3], які доповнюють освітлення необхідними довжинами хвиль.

При цьому лампи ДНаТ майже не містять синю складову спектру, тому в фаза посадки для підсвічування застосовують газорозрядні ртутні лампи ДРЛ. На рисунку 1.4 показаний спектр ртутної лампи ДРЛ.

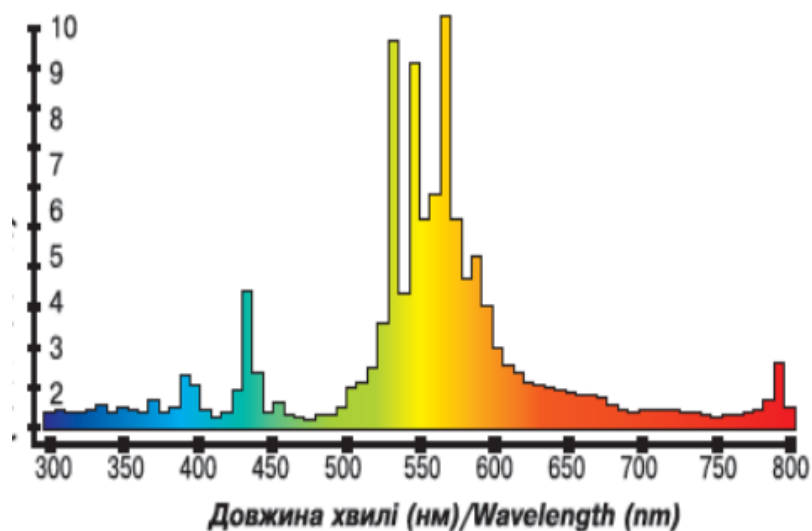


Рисунок 2.4 – Спектр ртутної лампи ДРЛ

У порівнянні з газорозрядними лампами, світлодіодні фітосвітильники (LED) випромінюють світло у вузькому спектральному діапазоні, що сприяє підвищенню ефективності фотосинтезу. На рисунку 2.4 представлено спектр випромінювання LED-світильників у порівнянні зі спектрами ламп ДНаТ і ДНаЗ. Основні піки випромінювання припадають на діапазони, які [2, 3] відповідають потребам рослин, зокрема біля 380 нм, що додатково підвищує холодостійкість рослин. У таблиці 1.1 наведено порівняльні характеристики світлодіодної лампи та лампи ДНаТ.

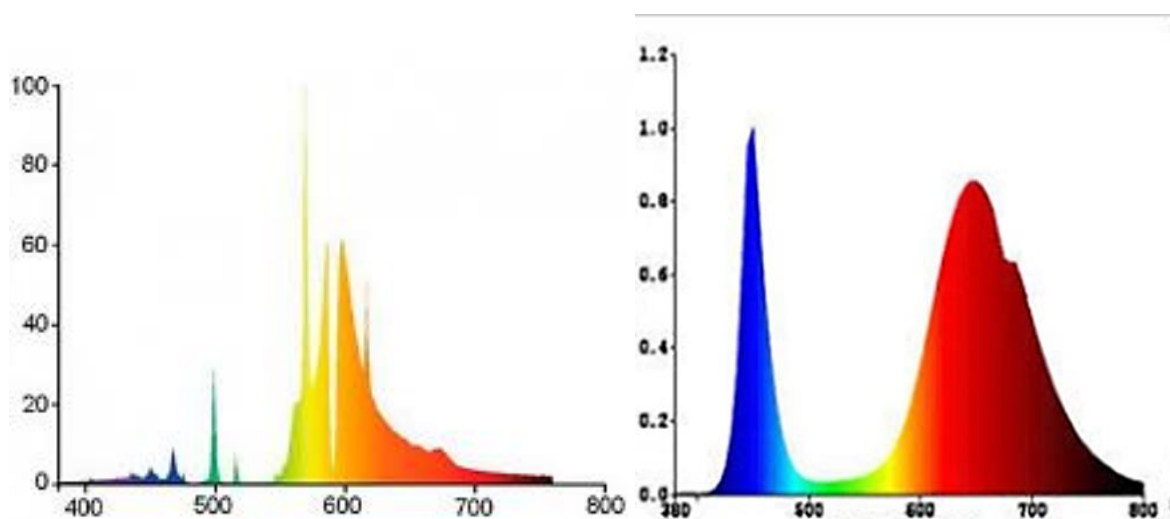


Рисунок 2.5 – Спектр LED-світильників порівняння з лампами ДНаТ і ДНаЗ

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика світлодіодної лампи і ДНаТ

| Найменування показників | ДНаТ лампа | Світлодіодна LED - лампа |
|--|--|--------------------------|
| Електричне споживання, Вт | 600 | 180 |
| Температура світла | За визначенням спектру | Всі спектри необхідні |
| Ресурс роботи | 20000 | 50000-120000 |
| Втрати світлового потоку після одного року | 20% | 3,5% |
| Коефіцієнт корисної дії | 35-45% | 95% |
| Вплив на параметри мікроклімату | Так | Ні |
| Екологічна безпека | Має вміст натрієво-ртутної амальгами і ксенону (0,086-0,87 см ³) | Зовсім нешкідливий |

Світлодіодні лампи та світильники для підсвічування рослин складаються з фітосвітлодіодів різного спектру, закріплених на тепловідвідній шині з алюмінію [3, 4]. З'єднані послідовно в один або кілька ланцюгів і підключені до пристрою, що управляє, - драйверу. Всі ці елементи поміщені в корпус із високим ступенем захисту від вологи. Лицьова частина світильника закрита розсіювачем із оптичного полікарбонату з високим світлопропусканням. Підключення світильника до мережі виконують за допомогою проводу без додаткових пристроїв. Пристрій світлодіодного світильника показано на рисунку 2.6.

Потужність світильників підбирають, виходячи з площі теплиці. За нормами технологічного проектування теплиць для розсади і вирощування зелені опроміненість повинна бути не менше 25 Вт/м², для овочевих культур у стадії плодоношення і квітів – не менше 70 Вт/м² [5].

Світлодіодні світильники для теплиць (LED) по одиниці створюють монохромне освітлення, але величезний спектр виробів дозволяє підібрати комбінацію з світлодіодів і скласти сприятливий спектр індивідуально під кожен вид рослин [4, 5]. Краще освітлення теплиці світлодіодними лампами синього спектру, для дозрівання плодів слід використовувати оранжевий і червоний сегмент променів.



Рисунок 2.6 – Влаштування світлодіодного світильника



Рисунок 2.7 –LED – світильники

Отримання CO_2 . Зважаючи на те, що врожайність залежить в значній мірі від концентрації в теплиці, практично у всіх сучасних тепличних господарствах реалізована схема подачі CO_2 від водогрійних котлів, що дозволяє досягти концентрації CO_2 в теплиці порядку 500 ppm до недоліків такої схеми 1000 ppm) через обмежене споживання теплової енергії теплицею в літній період [10].

Концепція енергокомплексу з когенераційною установкою забезпечує можливість отримання необхідного об'єму CO_2 з вихлопних газів газопоршневого двигуна.

- NO_x - зниження концентрації дозування сечовини до значення $< 25 ppm$;

- CO – доокислення вмісту CO на каталізаторах до значення $> 99,5\%$ (не більше $5 ppm$);

- C_2H_4 (етилен) - досягнення концентрації $< 400 ppb$.

Когенераційна установка для виробництва тепла і CO_2 для теплиць може окупатися в дуже короткий термін, що в сприятливих умовах становить від 1,0 до 3,5 років.

3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 Електроживлення теплиці

Електроживлення теплиці [11] здійснюється від власної комплектної трансформаторної підстанції (КТП), яка розташована у прибудові до основної будівлі. У складі підстанції використовуються трифазні силові трансформатори з природним масляним охолодженням типу ТМГ-1600/10(6)/0,4У1.

Система електропостачання на стороні низької напруги (0,4 кВ) побудована за радіальною схемою та реалізована із застосуванням кабельних ліній марки АВВГ паперово-масляною ізоляцією. Кабелі прокладені в траншеях, відкрито по стінах будівель, у кабельних лотках або спеціальних каналах.

Споживачі електроенергії у тепличному комплексі належать до II категорії за надійністю електропостачання. Відповідно до вимог для промислових підприємств II категорії, передбачено резервне з'єднання між сусідніми підстанціями. На схемі (рисунок 3.1) зображено варіант резервування: шини 0,4 кВ у двотрансформаторних КТП автоматично секціонуються вимикачем QF3. У випадку відключення одного з трансформаторів, навантаження автоматично переключається на інший трансформатор шляхом спрацювання АВР (автоматичного вводу резерву) або вручну через включення QF3.

Захист живильних ліній до електроприймачів здійснюється автоматичними вимикачами, встановленими у розподільчих пристроях та на шинопроводах.

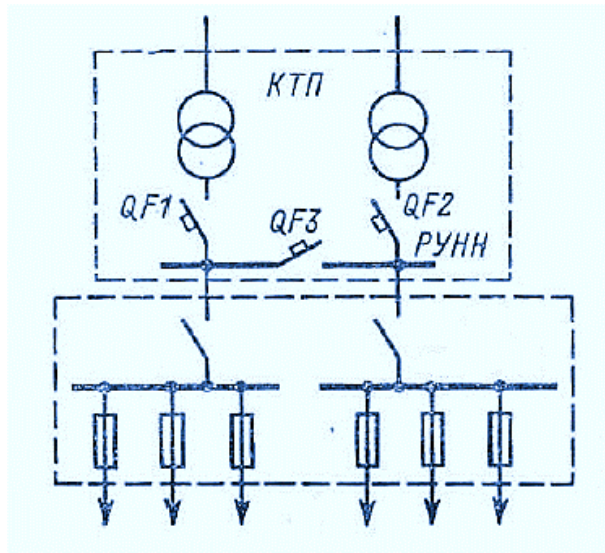


Рисунок 3.1 – Схема електрозабезпечення

3.2 Розрахункові вихідні дані

Розрахункові та вихідні дані по теплиці можна розглянути в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані теплиці

| № п/п | Найменування обладнання | Потужність, кВт | Пускова група | Коефіцієнти | | |
|----------|--|--------------------|------------------|-------------|---------------|--------------------|
| | | | | K_n | $\cos\varphi$ | $\text{tg}\varphi$ |
| 1 | Опромінювальна установка – LED лампи (60 /180Вт) | 580,0 | пуск важкий | 0,75 | 0,95 | 0,33 |
| 2 | Вентилятор Systemair AR 630 D6 | 5,0 | пуск легкий | 0,57 | 0,75 | 1,73 |
| 3 | Генератор вуглекислого газу Hotbox CO2 | 7,5 | пуск легкий | 0,35 | 0,71 | 1,73 |
| 4 | Консольний насос LVR 5-8 | 85 | пуск важкий | 0,55 | 0,75 | 1,73 |

Щодо електроприймачів, паспортна потужність яких виражається в кВА:

- Генератор вуглекислого газу $S_{насп} = 7,5 \text{ кВА}$:

$$P_H = S_{насп} \cdot \cos\varphi \quad (3.1)$$

$$P_H = 7,5 \cdot 1 = 7,5$$

3.3 Розрахунки електричних навантажень

Електричні навантаження на всіх підприємствах залежать від вибору всіх компонентів системи електропостачання. Точне визначення цих величин є

надзвичайно важливим на етапах проектування, реконструкції та функціонування електричних мереж.

Розподільний шинопровід (РШ). Необхідно визначити середні значення активного $P_{сер}$ та реактивного $Q_{сер}$ навантаження за період максимальної завантаженості окремо для кожної типової групи електроспоживачів [11,12].

1) Опромінювальна установка:

$$P_{см} = \kappa_u \cdot \sum P_H \quad (3.2)$$

$$P_{см} = 0,8 \cdot 580 = 464 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg} \varphi \quad (3.3)$$

$$Q_{см} = 464 \cdot 0,33 = 153,12 \text{ кВАр}$$

2) Вентилятор:

$$P_{см} = 0,57 \cdot 5,0 = 2,85 \text{ кВт}; \quad Q_{см} = 2,85 \cdot 1,73 = 4,93 \text{ кВАр}$$

3) Консольний насос:

$$P_{см} = 0,55 \cdot 85 = 46,75 \text{ кВт};$$

$$Q_{см} = 46,75 \cdot 0,33 = 15,43 \text{ кВАр}.$$

Разом РШ:

$$m = \frac{P_{H \text{ макс}}}{P_{H \text{ мін}}} \quad (3.4)$$

$$m = \frac{85}{5} = 17$$

Точне значення числа m не потрібно, достатньо визначити $m > 3$ або за отриманими даними визначаємо середньозважене значення κ_i :

$$\kappa_i = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_H} \quad (3.5)$$

$$\kappa_i = \frac{513,6}{677,5} = 0,76$$

Ефективне число електроприймачів приймається рівним їх фактичному числу n : $n_e = n$.

Коефіцієнт максимуму K_M визначається по таблицях залежно від ефективного числа електрообладнань n_e і середньозваженого κ_i .

Тоді як $K_i = 0,75; n_e = 14, \kappa_M = 1,08$.

Максимальне активне півгодинне навантаження від електрообладнань визначається за формулою:

$$P_M = \kappa_M \cdot \sum P_{CM} \quad (3.6)$$

$$P_M = 1,08 \cdot 513,6 = 554,69 \text{ кВт}$$

Максимальне реактивне півгодинне навантаження від електрообладнань при $n_e > 10$, визначається:

$$Q_M = \sum Q_{CM} = 173,48 \text{ кВАр.}$$

Максимальне повне навантаження РШ визначається:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (3.7)$$

$$S_M = \sqrt{554,69^2 + 173,48^2} = 728,17 \text{ кВА}$$

Розрахунковий максимальний струм для трьохфазного струму:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (3.8)$$

$$I_M = \frac{728170}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1106,36$$

Результат ТП:

$$\sum S_M = \sum S_{up1} \quad (3.9)$$

$$\sum S_M = 728,17 \text{ кВА}$$

$$\sum I_M = \sum I_{up1} + \sum I_{up2} \quad (3.10)$$

$$\sum I_M = 1106360 \text{ ВА}$$

3.4 Вибір обладнання

У мережах напругою до 1 кВ захист виконують автоматичними вимикачами.

Для електроприймачів вибираємо марку, перетин та спосіб прокладання проводів, захисну апаратуру. Для вузлів навантаження вибираємо тип і марку, перетин та спосіб прокладання кабелів до них.

Трансформатор визначаємо $S_M = 1272,8 \text{ кВА}$. Враховуючи потребу електроприймачів у безперебійному живленні електроенергією (споживачі 2-3 категорії), для зменшення витрат на реконструкцію залишаємо раніше встановлені 2 трифазних силових трансформатора з природним масляним охолодженням типу ТМ(ТМГ)-1600/10У1 10(6)/0,4 Д/Ун-11. Паспортні дані трансформатора ТМ(ТМГ)-1600/10У1 10(6)/0,4 Д/Ун-11 наведено у таблиці 3.2.



Рисунок 3.2 – Трансформатор ТМ (ТМГ)-1600/10У1

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики трансформатора

| Найменування | Значення |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 2 |
| Тип трансформатора | ТМ(ТМГ)-1600/10У1 10(6)/0,4Д/Ун-11 |
| Номінальна потужність, кВА | 1600 |
| Номінальна напруга, кВ (ВН) | 10 |
| Номінальна напруга, кВ (НН) | 4 |
| Схема та група з'єднання обмоток | Д/Ун-11 |
| Втрати, Вт (х.х.) | 1370 |

| 1 | 2 |
|-----------------------|---------------|
| Втрати, Вт (к.з.) | 9600 |
| Струм х.х., % | 1 |
| Напруга, к.з., % | 5,5 |
| Габаритні розміри, мм | 1615×820×1630 |
| Маса, кг (повна) | 4150 |

$$K_3 = \frac{S_M}{S_H} \quad (3.11)$$

$$K_3 = \frac{1272,8}{1600} = 0,80$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження задовольняє перевірку на відповідність, яка знаходиться в межах 0,65-0,85.

Дизель генератор Hyundai DHY 110KSE. Резервне живлення за допомогою дизель генератора - це автономне джерело електроенергії, яке забезпечує безперервну роботу обладнання у разі відключення основної електромережі. Генератор запускається автоматично або вручну, використовуючи дизельне паливо для виробництва струму. Така система особливо важлива для об'єктів, де критично необхідне стабільне енергозабезпечення – теплиці, лікарні, підприємства. Вона забезпечує надійність, незалежність від зовнішніх мереж і може працювати тривалий час за умови регулярного обслуговування та достатнього запасу пального.



Рисунок 3.3 – дизель генератор Hyundai DHY 110KSE

3.5 Розрахунок захисних апаратів і проводів для ЕП

Опромінювальна установка:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} \quad (3.12)$$

$$I_{ном} = \frac{570000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 911,6 A$$

$$I_{пуск} = I_{ном} \cdot K_{пуск} \quad (3.13)$$

$$I_{пуск} = 911,6 \cdot 2 = 1823,2 A$$

$$I_{пуск} = 1823,2 \cdot 2 = 1139,5 A \quad (3.14)$$

$$\frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{1823,2}{1,6} = 1139,5 A$$

Для захисту дроту, що живить опромінювальну установку, прийнятий до встановлення автоматичний вимикач TmaxT3/T4/

Умови вибору автоматичного вимикача:

$$I_{ном. ав.} \geq I_{ном};$$

$$I_{расц.ном.} \geq I_{ном};$$

$$I_{сраб.ел.расц.} \geq K_{ав.} \cdot I_{пуск};$$

де $K_{ав.}$ - параметр кратності струму короткого замикання для автоматичних вимикачів залежить від їх номінального струму (виробника автомата) понад 100 A - 1,25, нижче 100 A - 1,4.

$$I_{ном.авт.} = 1250 A > 911,6 A;$$

$$I_{расц.ном} = 1250 A > 911,6 A;$$

$$I_{сраб.ел.расц.} = 10 \cdot I_{ном.авт} = 10 \cdot 1000 = 10000 A > 2279 A = 1,25 \cdot 1823,2 A$$

Виберемо провід даного електроприймача. Провід вибирається з умови:

$I_{дон} > I_{ном}$ і перевіряється за умовою:

$$I_{дон} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{нопр}}, \quad (3.15)$$

де $K_3 = 0,22$ при захисті проводів даним видом автомата;

$K_{нопр} = 1$ під час прокладання проводів на повітрі;

I_3 -номінальний струм електромагнітного розчіплювача.

Приймання до установки проводу $ABBГ2x150$ з $I_{дон} = 943A > 911,6A$.

Перевіримо провід за умови перевірки: $943 > \frac{0,22 \cdot 911,6}{1} = 200,55$.

Вентилятор:

$$I_{ном} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,75} = 10,27A$$

$$I_{пуск} = 10,27 \cdot 6 = 61,62A$$

$$\frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{61,62}{2,5} = 24,64A.$$

Для захисту дроту, що живить привод вентилятора, прийнятий до установки автоматичний вимикач TmaxT4/T5 стаціонарний,

$$I_{ном.авт.} = 25A > 10,27A;$$

$$I_{расц.ном} = 25A > 10,27A;$$

$$I_{сраб.ел.расц.} = 10 \cdot I_{ном.авт} = 10 \cdot 25 = 250A > 86,26A = 1,4 \cdot 61,62A.$$

Виберемо провід даного електроприймача. Провід вибирається зумови:

$I_{дон} > I_{ном}$ і перевіряється за умовою:

$$I_{дон} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{нопр}}, \quad (3.16)$$

де $K_3 = 0,22$ при захисті проводів даним видом автомата;

$K_{нопр} = 1$ під час прокладання проводів на повітрі;

I_3 -номінальний струм електромагнітного розчіплювача.

Приймання встановлення проводів $ABBГ4x4$ з $I_{дон} = 50A > 10,27A$.

Перевіримо провід за умовою перевірки: $50 > 0,22 \cdot 10,27 = 2,25$.

Генератор вуглекислого газу:

$$I_{ном} = \frac{8550}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,7} = 18,47 \text{ A}$$

$$I_{пуск} = 18,47 \cdot 6 = 110,82 \text{ A}$$

$$\frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{110,82}{2,5} = 44,32 \text{ A}$$

Для захисту дроту, генератора вуглекислого газу, прийнятий до встановлення автоматичний вимикач Compact NSX стаціонарний,

$$I_{ном.авт.} = 25 \text{ A} > 18,47 \text{ A};$$

$$I_{сраб.ел.расц.} = 10 \cdot I_{ном.авт} = 10 \cdot 25 = 250 \text{ A} > 155,1 \text{ A} = 1,4 \cdot 110,82 \text{ A}.$$

Виберемо провід для даного електроприймача. Провід вибирається зумови: $I_{дон} > I_{ном}$ і перевіряється за умовою:

$$I_{дон} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{нопр}}, \quad (3.17)$$

де $K_3 = 0,22$ при захисті проводів даним видом автомата;

$K_{нопр} = 1$ під час прокладання проводів на повітрі;

I_3 - номінальний струм електромагнітного розчіплювача.

Приймання для установки проводу АВВГ4х4 з $I_{дон} = 50 \text{ A} > 18,47 \text{ A}$.

Перевіримо провід за умовою перевірки: $50 > 0,22 \cdot 18,47 = 4,06 \cdot 1$

Консольний насос:

$$I_{ном} = \frac{\sqrt{50000}}{3 \cdot 380 \cdot 0,8} = 95,07 \text{ A}$$

$$I_{пуск} = 95,07 \cdot 4 = 380,28 \text{ A}$$

Для захисту дроту, що живить консольний насос, прийнятий до встановлення автоматичний вимикач T_{max} Т4/Т5.

Умови вибору автоматичного вимикача:

$$I_{ном. ав.} \geq I_{ном};$$

$$I_{расц.ном.} \geq I_{ном};$$

$$I_{сраб.ел.расц.} \geq K_{ав.} \cdot I_{пуск},$$

де $K_{ав}$ - параметр кратності струму короткого замикання для автоматичних вимикачів залежить від їх номінального струму (виробника автомата) понад 100 А – 1,25, нижче 100 А – 1,4;

$$I_{ном.авт.} = 250A > 95,07A;$$

$$I_{расц.ном} = 200A > 95,07A;$$

$$I_{сраб.ел.расц.} = 10 \cdot I_{ном.авт} = 10 \cdot 250 = 2500A > 475,35A = 1,25 \cdot 380,28A.$$

Виберемо провід даного електроприймача.

Провід вибирається зумови: $I_{доп} > I_{ном}$; і перевіряється за умовою:

$$I_{доп} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{попр}} \quad (3.18)$$

де $K_3 = 0,22$ при захисті проводів даним видом автомата;

$K_{попр} = 1$ під час прокладання проводів на повітрі;

I_3 - номінальний струм електромагнітного розчіплювача.

Прийmemo до встановлення кабель АВВГ 3х35 з $I_{доп} = 109A > 95,07A$.

Перевіримо провід за умовою перевірки: $109 > \frac{0,22 \cdot 95,07}{1} = 20,91 A$.

3.6 Розрахунок захисних апаратів та кабелів по вузлах живлення

1) ШР1: $I_{ном} = 960,48A$

Приймаємо до установки шинопровід типу ШМА5. Технічні характеристики шинопроводу показані у табл. 3.3.

$$I_{ном.} = 1250A$$

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики шинопроводу ШМА5

| Позначення силового розподільчого шкафа і шинопровода | Номінальний струм, А | $i_{амп}$, кА | $r_{уд}$, Ом/км | $X_{уд}$, Ом/км | $Z_{п.ф-о}$, Ом/км |
|---|----------------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|
| ШМА5 | 1250 | 50 | 0,033 | 0,018 | 0,038 |

Обираємо автомат для шинопроводу ШМА5. Умови вибору автоматичного вимикача:

$$\begin{aligned} I_{\text{ном. ав.}} &\geq I_{\text{ном}}; \\ I_{\text{расц.ном.}} &\geq I_{\text{ном}}; \\ I_{\text{сраб.ел.расц.}} &\geq K_{\text{ав.}} \cdot I_{\text{пуск.}} \end{aligned} \quad (3.19)$$

де $K_{\text{ав.}}$ - кратність струму K_3 щодо установки для автоматів. Залежить від номінального струму автомата (виробника автомата) понад $100 \text{ A} - 1,25$ нижче $100 \text{ A} - 1,4$;

Уставка миттєвого спрацьовування автомата, A :

$$\frac{I_{\text{ср.расц.авт.тп.}}}{I_{\text{наиб.ср.расц.}}} \geq 1,6$$

$$I_{\text{ср.расц.авт.тп.}} = I_{\text{наиб.ср.расц.}} \cdot 1,6 \quad (3.20)$$

$$I_{\text{ср.расц.авт.тп.}} = 1250 \cdot 1,6 = 2000 \text{ A}$$

Приймання до установки ВА88-32 3P 25A 25кА SVA10-3-0025

$$I_{\text{ном.авт.}} = 1250 \text{ A} > 960,48 \text{ A};$$

$$I_{\text{расц.ном}} = 1250 \text{ A} > 960,48 \text{ A};$$

$$I_{\text{сраб.ел.расц.}} = 2500 \text{ A} > 2000 \text{ A}.$$

Виберемо кабель для цієї групи електроприймачів. Кабель вибирається з умови: $I_{\text{дон}} > I_{\text{ном}}$; та перевіряється за умовою:

$$I_{\text{дон}} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{нопр}}}, \quad (3.21)$$

де $K_3 = 0,22$ при захисті кабелю даним видом автомата; $K_{\text{нопр}} = 1$ під час прокладання кабелю на повітрі;

I_3 - номінальний струм електромагнітного розчіплювача.

Приймання для установки кабелю АBBГ6х(3х185) з

$$I_{\text{дон}} 1320 = \text{A} > 960,48 \text{ A}$$

Перевіримо провід за умови перевірки: $1320 > \frac{0,22 \cdot 960,48}{1} = 211,31$

2) ТП1: $I_{\text{длит}} = 1272,8 \text{ A}$.

Приймаємо установку шинопроводу типу ШМА4

$$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ A}$$

Виберемо автомат для шинопроводу ШМА4. Умови вибору автоматичного вимикача:

$$I_{\text{ном. ав.}} \geq I_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{расц. ном.}} \geq I_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{спрац. ел. розч.}} \geq K_{\text{ав.}} \cdot I_{\text{пуск.}}$$

Уставка миттєвого спрацювання автоматичного вимикача розраховується за умовою селективності

$$\frac{I_{\text{ср. розч. авт. ТП}}}{I_{\text{найб. ном. ср. розч.}}} \geq 1,6$$

$$I_{\text{ср. розч. авт. ТП}} = 1600 \cdot 1,6 = 2560 \text{ A}$$

Прийmemo до установки автомат ВА53-43

$$I_{\text{ном. авт.}} = 1600 \text{ A} > 1272,8 \text{ A};$$

$$I_{\text{спрац. ел. розч.}} = 3200 \text{ A} > 2560 \text{ A}$$

3.7 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахункова схема цеху представлена на рисунку 3.4. Найбільш віддаленим приймачем є генератор вуглекислого газу.

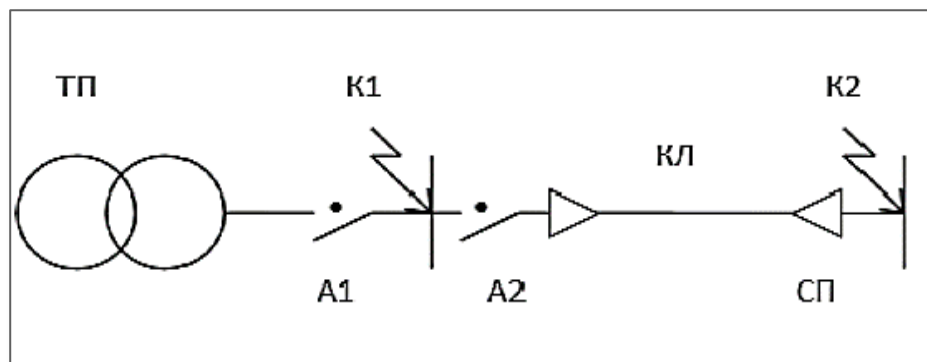


Рисунок 3.4 – Розрахункові точки для визначення струму короткого замикання: ТП-трансформаторна підстанція; А1, А2 - захисні апарати; КЛ - кабельна лінія; СП – силовий пункт; К1 – точка к.з. на шинах вузла живлення; К2-точка к.з. на шинах ТП

Дані для розрахунку наведені у табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Значення опорів

| Найменування | R, мОм | | X, мОм |
|-----------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Трансформатор | 3,9 | | 13,8 |
| Автомат | 0,13 | R _{кв} =0,06 | 0,07 |
| ШМА 4 | R _{уд} =0,135 | | X _{уд} =0,065 |
| Автомат | 0,18 | R _{кв} =0,07 | 0,08 |
| Кабель АВВГ 4х4 | R _{уд} =12,28 | | X _{уд} =0,036 |

Розрахунок струмів короткого замикання

Струм трьохфазного к.з. визначається із виразу

$$I_{к.з.(3)} = \frac{U_n}{Z \cdot \sqrt{3}}, \text{кА} \quad (3.22)$$

де U_n -номінальний опір мережі, мОм;

$$Z = \sqrt{R_n^2 + X_n^2} - \text{повний опір мережі, мОм.}$$

$$R_1 = R_{тр} + R_{A1} + R_{кв.A1} + R_{ш} = 3,9 + 0,13 + 0,06 + 0,135 = 4,23 \text{ мОм} \quad (3.23)$$

$$X_1 = X_{тр} + X_{A1} + X_{кв.A1} + X_{ш} = 13,8 + 0,07 + 0,065 = 13,94 \text{ мОм} \quad (3.24)$$

$$R_2 = R_1 + R_{кл} + R_{A2} + R_{кв.A2} = 4,225 + 12,28 + 0,18 + 0,07 = 16,76 \text{ мОм} \quad (3.25)$$

$$X_2 = X_1 + X_{кл} = 13,935 + 0,36 = 14,3 \text{ мОм} \quad (3.26)$$

В точці $K1$ струм трьохфазного к.з.

$$I_{к.з.(3)} = \frac{U_H}{Z \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,38}{14,56 \cdot \sqrt{3}} = 15,08 \text{ кА}$$

де $Z = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{4,225^2 + 13,935^2} = 14,56 \text{ мОм}$

В точці $K2$ струм трьохфазного к.з.

$$I_{к.з.(3)} = \frac{U_H}{Z \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,38}{21,83 \cdot \sqrt{3}} = 1,05 \text{ кА}$$

де, $Z = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{16,5052^2 + 14,2952^2} = 21,83 \text{ мОм}$

Струм двохфазного к.з. визначається за виразом

$$I_{к.з.(2)} = I_{к.з.(3)} \frac{\sqrt{3}}{2}, \text{ кА} \quad (3.27)$$

В точці $K1$ струм двохфазного к.з.

$$I_{к.з.(2)} = 14,56 \cdot 0,87 = 12,66 \text{ кА}$$

В точці $K2$ струм двохфазного к.з.

$$I_{к.з.(2)} = 1,05 \cdot 0,87 = 0,91 \text{ кА}$$

Струм однофазного к.з. визначається за виразом

$$I_{к.з.(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{1}{3} Z_{тр} + Z_n} \text{ кА}, \quad (3.28)$$

де, U_ϕ - фазна напруга мережі 220 В;

$Z_{тр}$ - опір трансформатора, Ом;

$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$ - повний опір петлі фаза-нуль провода лінії, Ом.

З довідкових даних знаходимо: $Z_{кл} = 8,6 \text{ Ом/км}$;

$Z_{шма4.n.\phi.0} = 0,862 \text{ Ом/км}$. З урахуванням довжини $Z_{кл} = 34,4 \text{ мОм}$;

$Z_{шма5.n.\phi.0} = 0,34 \text{ мОм}$.

Знаходимо повний опір петлі фаза-нуль для точок $K1$ і $K2$ відповідно:

$$Z_{n1} = \sqrt{(R_{A1} + R_{кв.А1})^2 + X2 + Zшма4.n.ф.0} = \sqrt{(0,13 + 0,06)^2 + 0,07^2} + 0,34 = 0,54 \text{ мОм}$$

$$Z_{n2} = Z_{n1} + Z_{пред} + Z_{пров.n.ф.0} = 0,54 + 0,5 + 34,4 = 35,44 \text{ мОм}$$

Для з'єднання обмоток зірка/зірка з виведеною нейтраллю $Z_{np} = 128$. У точці К1 струм однофазного к.з.

$$I_{к.з.(1)} = \frac{220}{\frac{1}{3} \cdot 128 \cdot 10^{-3} + 0,54 \cdot 10^{-3}} = 5,091 \text{ кА},$$

В точці К2 струм однофазного к.з.

$$I_{к.з.(1)} = \frac{220}{\frac{1}{3} \cdot 128 \cdot 10^{-3} + 35,44 \cdot 10^{-3}} = 2,816 \text{ кА},$$

Для з'єднання обмоток трикутник / зірка з виведеною нейтраллю.

$$Z_{np} = 42 \text{ мОм}.$$

В точці К1 струм однофазного к.з.

$$I_{к.з.(1)} = \frac{220}{\frac{1}{3} \cdot 42 \cdot 10^{-3} + 0,54 \cdot 10^{-3}} = 15,13 \text{ кА},$$

В точці К2 струм однофазного к.з.

$$I_{к.з.(1)} = \frac{220}{\frac{1}{3} \cdot 42 \cdot 10^{-3} + 35,44 \cdot 10^{-3}} = 4,44 \text{ кА},$$

Кратність струму однофазного к.з. у найбільш віддаленій точці мережі повинна бути

$$I_{к.мин.} \geq 3I_{ном.расц}$$

$$I_{к.мин.} \geq 1,25I_{ном.расц}$$

Автомат ВА53-2525/25: $2,816 \times 103 \geq 3 \times 25$.

Автомат ВА53-432500/2500: $5,091 \times 103 \geq 1,25 \times 2500$.

3.8 Електричні апарати і технічні характеристики

Автоматичний вимикач ВА88-32 3Р 25А 25кА SVA10-3-0025.

Автоматичні вимикачі — це електричні пристрої, призначені для автоматичного вимкнення кола в разі перевантаження, короткого замикання або інших аварійних режимів, з метою захисту електрообладнання та проводки.



Рисунок 3.5 – Автоматичний вимикач ВА88-32 3Р 25А 25кА SVA10-3-0025

Технічні характеристики:

Номінальна вим. здатність при 400 В 50 Гц – 25 ка;

Тип підключення силового електричного ланцюга – гвинтове з'єднання;

Конструкція приладу – вбудовується пристрій розширення;

Кількість полюсів – 3;

Вид підключення головного електричного ланцюга – інше;

Тип елемента керування – тумблер;

Ступінь захисту – IP30;

Номін. імпульсна напруга витримки – 8 кВ;

Номінальний струм – 25 А;

Тип розчіплювача – тепловий, електромагнітний;

Номін. робоча вим. здатність – 12,5 кА;

Кліматичне виконання – УХЛ3;

Номін. робоча напруга – 400 В;

Частота мережі – 50 Гц.

Автоматичний вимикач 3Р 25А 20кА [i0660027]



Рисунок – 3.6 Автоматичний вимикач 3Р 25А 20кА

Технічні характеристики:

Конструктивне виконання – корпусний;

Серія – e.industrial.ukm.SL

Кількість полюсів – 3Р;

Номінальний струм – 25 А;

Напруга – 380 А;

Тип напруги – АС;

Вимикаюча здатність – 20 кА;

Тип розчіплювача – тепловий, електромагнітний;

Механічна зносостійкість – 10 тис. циклів

Кліматичне виконання – УХЛЗ;

Ступінь пилозахисту – IP30;

Діапазон робочих температур – від -40 до +40°С;

Висота – 157 мм;

Ширина – 92 мм;

Глибина – 67,5 мм.

Отже, обрані апарати при однофазному к.з. надійно захищають мережу.

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ

4.1. Опис технологічного процесу вирощування тепличних рослин

У тепличному господарстві використовуються багатоярусні стелажі, що дозволяють максимально ефективно використовувати простір. На кожному ярусі розміщуються мікрозелені та листові овочі – кріп, петрушка, салати, базилік тощо. Процес вирощування поділяється на кілька основних етапів:

- Підготовка субстрату: використовується торф або кокосове волокно.
- Висів насіння у касети або контейнери.
- Період пророщування (2–4 доби) за зниженого рівня світла.
- Фаза вегетації, коли рослини потребують стабільного й інтенсивного світлового потоку (12–16 год/добу).
- Збирання врожаю через 2–4 тижні після висіву, залежно від культури.

Для повноцінного росту необхідне дотримання певного спектру світла (блакитний 450 нм, червоний 660 нм), інтенсивності освітлення (від 150 до 300 мкмоль/м²·с) та фотоперіоду (світлового дня).

4.2 Розробка технологічних вимог до системи автоматизації освітлення теплиці

Основні вимоги щодо технології вирощування тепличних культур:

1. Індивідуальне керування кожним ярусом стелажа.
2. Автоматичне вмикання/вимикання згідно з фотоперіодом для кожної культури.
3. Регулювання яскравості освітлення (димування) на основі фази росту.
4. Моніторинг температури і вологості (необов'язково, додатково).
5. Захист від перевантажень і коротких замикань.



Рисунок 4.1 – Ескіз електричної принципової схеми

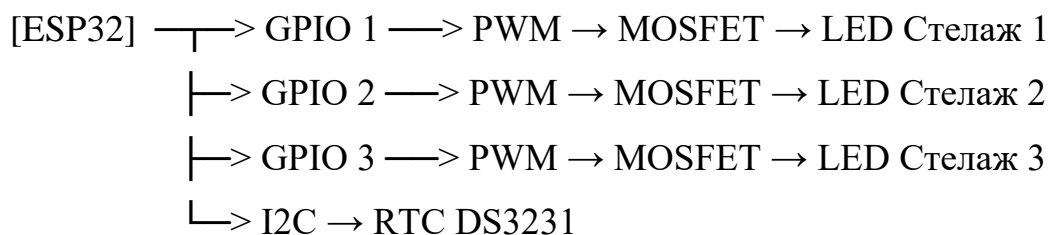
До основних компонентів схеми належать:

- ESP32 – контролер з Wi-Fi для віддаленого моніторингу.
- RTC-модуль (DS3231) – реальний час.
- MOSFET-ключі – керування каналами світлодіодів.
- ШІМ-модулі (PWM) – димування світильників.
- Дисплей (опціонально) – локальний моніторинг параметрів.

Принцип роботи електричної схеми автоматизованого процесу керування системи освітлення і опромінення:

1. RTC задає час вмикання й вимкнення освітлення для кожного ярусу 1, 2, 3, 4, 5, N.
2. ESP32 через PWM виходи керує яскравістю світлодіодних матриць.
3. Кожен канал (ярус) може мати індивідуальну інтенсивність за спектром опромінення.
4. Веб-інтерфейс дозволяє змінювати фотоперіод та інтенсивність освітлення з урахуванням особливостей вирощуваних рослин.

Загальний вигляд схеми:



Живлення:

- LED-світильники живляться від стабілізованого джерела 24 В, розрахованого на загальну потужність системи.

- ESP32 живиться від окремого стабілізатора 5 В або через micro USB.

Елементи схеми:

- Блок живлення 24 В, підключений до 220 В з автоматичним захистом.

- MOSFET-модулі IRF540N або аналогічні – підключення в режимі ключа.

- Світлодіодні панелі – на кожному ярусі.

- Шина управління PWM від ESP32 – розділення по ярусах.

- RTC-модуль підключений через I2C-шину (SDA/SCL) до ESP32.

- Загальна шина GND для всіх компонентів.

4.3 Проектування та опис системи автоматичного керування освітленням

Керування реалізується за допомогою мікроконтролера ESP32, який отримує сигнали з реального часу (через RTC-модуль) і задає відповідний цикл опромінення.

Окрім релейного ступінчастого керування світильниками, у системі реалізована функція плавного регулювання яскравості (димування) для кожного спектрального каналу окремо. Регулювання інтенсивності світла може здійснюватися вручну – за допомогою потенціометрів R1, R2 та R3, або ж автоматично – за наперед заданим алгоритмом, що виконується мікропроцесорним контролером (МПК).

Вибір режиму роботи ("ручний" чи "автоматичний") реалізується за допомогою перемикачів SA1, SA2 та SA3, що дозволяють оперативно переключати систему між двома елементами управління.

Для реалізації комплементарного досвічування в контролер надходять дані з двох типів сенсорів:

- BL1 вимірює загальну енергетичну освітленість у теплиці, тобто сумарну щільність фотосинтезно активного випромінювання (ФАР);

- BL2 визначає інтенсивність випромінювання окремо по спектральних каналах (наприклад, червоному, синьому, інфрачервоному тощо).

Такий подвійний підхід до збору інформації дозволяє не лише оптимізувати загальну потужність освітлення, а й балансувати пропорції спектральних компонентів згідно з потребами рослин. Як основний керуючий модуль використовується мікропроцесорний контролер TexasInstruments MSP430, побудований на основі 16-розрядного RISC-процесора зі змішаною обробкою аналогових та цифрових сигналів. Цей мікроконтролер спроектований спеціально для енергоефективних рішень [13] і характеризується наднизьким енергоспоживанням [12], що є особливо актуальним для систем безперервного живлення в аграрній автоматизації.

4.4 Розробка схеми з'єднань системи освітлення та опромінення теплиці

Проектування електричної схеми з'єднань шафи керування автоматизованою системою освітлення та опромінення теплиці повинно виконуватись з урахуванням вимог електробезпеки, надійності, зручності технічного обслуговування, а також відповідності чинним нормативним документам і стандартам.

Усі з'єднання всередині шафи повинні бути організовані так, щоб забезпечити легкий доступ до обладнання, впорядковану маршрутизацію силових і сигнальних кабелів, а також можливість подальшої модернізації або розширення системи. Основу керування становить мікропроцесорний або логічний контролер з достатньою кількістю входів/виходів для приймання сигналів від датчиків (освітленості, температури, вологості) та керування виконавчими пристроями (реле, пускачами, драйверами LED-освітлення [3]).

У схемі також передбачено використання автоматичних вимикачів, модульних пускачів, теплових реле для захисту електричних ліній та світильників, а також трансформаторів для живлення низьковольтної частини системи. Додатково передбачається система індикації режимів роботи

(ручний/автоматичний), аварійних ситуацій, а також станів окремих світлових зон.

Електроживлення здійснюється від трифазної або однофазної мережі [15, 16] (в залежності від потужності системи), з обов'язковим заземленням. Внутрішній монтаж обладнання виконується на DIN-рейках із чітким розмежуванням силових та сигнальних кіл. Усі провідники підбираються за струмовим навантаженням відповідно до норм ПУЕ, з правильним маркуванням кожної лінії згідно з технічною документацією.

Проводка в межах шафи повинна бути організована з використанням пластикових лотків, гофрованих каналів або кабель-каналів з дотриманням норм електромонтажу: допустимі радіуси вигину, мінімізація перехресть та перешкод. Обов'язково впроваджується маркування кабелів і клем, що полегшує технічне обслуговування та локалізацію несправностей.

Конструкція шафи повинна включати в себе елементи захисту від короткого замикання, перенапруги, перевантаження, а також передбачати безпечну роботу системи у випадку збоїв або людського фактора.

Схема з'єднань шафи керування системою освітлення та опромінення теплиці наведена в графічній частині проєкту.

4.5 Обладнання

Блок живлення



Рисунок 4.2 – Блок живлення 24В 20А 480Вт

Перфорований блок живлення S-480-24 з вихідною напругою 24В, струмом 20А та потужністю 480Вт призначений для використання в системах автоматизації, верстатах із ЧПК, 3D-принтерах, LED-інсталяціях, а також у різноманітних промислових і побутових пристроях.

Однією з ключових переваг пристрою є підтримка широкого діапазону вхідної напруги від 100 до 240В, що забезпечує безперебійну роботу навіть за нестабільних умов подачі електроенергії.

Блок дозволяє точно налаштувати вихідну напругу в межах 18,5В–29,6В, що робить його універсальним для різних потреб.

Наявність захисту від короткого замикання та перевантаження підвищує надійність і безпечність експлуатації. Активна система охолодження в поєднанні з металевим корпусом сприяє ефективному теплообміну, що дозволяє пристрою стабільно працювати навіть при інтенсивному навантаженні.

Характеристики:

Вхідна напруга – 100 ~ 240 В;

Вихідна напруга – 24 В;

Діапазон регулювання напруги – 18,5, 29,6 В;

Вихідний струм – 20 А;

Потужність – 480 Вт;

Захист – від короткого замикання, перевантаження;

Система охолодження – активне охолодження;

ККД – не менше 80 %;

Роз'єм підключення – клемна колодка;

Тип корпусу – перфорований метал, сріблястий;

Рівень захисту – IP20;

Робоча температура – 0-45°C.

DS3231 RTC — високоточний модуль годинника реального часу, що має вбудований інтерфейс I2C, термокомпенсований кварцовий генератор (ТСХО) та інтегрований кварцовий резонатор. Завдяки резервному живленню у вигляді

Робоча напруга живлення: від 3,0В до 5,5 В

Робочий температурний діапазон: від 0°C до +70°C для комерційного виконання та -40°C до +85°C для промислового.

Контролер розробки ESP32-CAM WiFi з камерою OV2640 та інтерфейсом CH340.



Рисунок 4.4 – Контролер розробки ESP32-CAM WiFi з камерою OV2640

Характеристики:

Процесор – двоядерний 32-розрядний мікроконтролер ESP32

Частота – 240 MHz

Вбудована пам'ять – 520 KB SRAM / 4M PSRAM

Живлення – 5V

Інтерфейси – UART / SPI / S2C OV2640 (DCX-OV2640 V2.0)

Підключення до ПК – через плату розширення з інтерфейсом CH340 та MicroUSB

Підтримка TF-карт – є

Підтримка Wi-Fi – передача зображень через Wi-Fi

Модуль перетворення ШІМ-сигналу



Рисунок 4.5 – Модуль перетворення ШІМ-сигналу

Цей модуль призначений для перетворення ШІМ-сигналу в аналогову напругу, пропорційну рівню заповнення імпульсів. При подачі на вхід модуля ШІМ-сигналу з частотою 1–3 кГц, на виході формується стабільна напруга в діапазоні від 0 до 10 В. Наприклад, при рівні заповнення 50% вихідна напруга становить приблизно 5 В. Точне налаштування здійснюється за допомогою вбудованого потенціометра. Модуль зручно використовувати в системах автоматизації для керування пристроями з аналоговим входом.

7 - дюймовий сенсорний екран Waveshare 1024×600, HDMI, IPS, емнісний РК-матриця (С) з низьким енергоспоживанням.

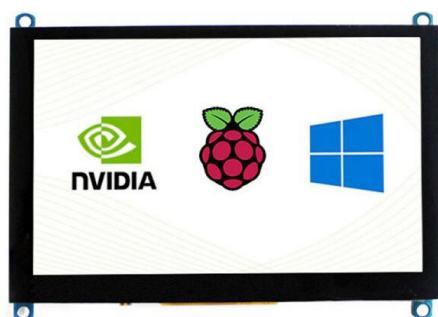


Рисунок 4.6 – Дюймовий сенсорний екран Waveshare 1024×600

Тип матриці: IPS. Роздільна здатність: 800×480 пікселів (з можливістю масштабування до 1920×1080). Сумісність: підтримує популярні міні-комп'ютери, такі як Raspberry Pi, BeagleBone Black, Banana Pi, а також стандартні настільні ПК.

Сенсорний екран.: коли працює з Raspberry Pi, підтримує системи Raspbian, Ubuntu, WIN10 IOT, один дотик. Під час роботи як монітор комп'ютера підтримує Windows 10/8.1/8/7, торкаючись п'яти точками без додаткового драйвера.

Екранне меню: багатомовне, для керування живленням, регулювання яскравості/контрастності тощо.

ВН1750 датчик освітленості цифровий ВН1750FVIGY-302 і ВН1750 датчик освітленості цифровий ВН1750FVIGY-30.

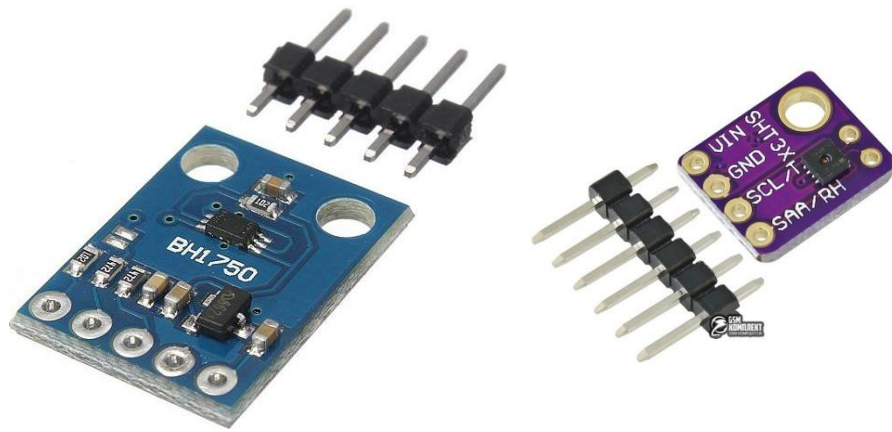


Рисунок 4.7 – BH1750 датчик освітленості цифровий BH1750FVIGY-302 та датчик температури і вологості SHT31-D, I2C

Висновок до розділу. Розроблена система автоматизованого освітлення та опромінення забезпечує адаптивне керування фотоперіодом, інтенсивністю та тривалістю освітлення для кожного ярусу багатоярусної теплиці. Використання світлодіодних джерел дозволяє знизити споживання електроенергії, забезпечити оптимальні умови для фотосинтезу та прискорити вирощування культур. Аспекти системи дозволяють масштабування та інтеграцію з іншими підсистемами (вентиляція, зрошення, моніторинг мікроклімату).

5 ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

5.1 Вибір системи та виду освітлення

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення» та для тепличного господарства у всіх приміщеннях обрано тип освітлення – робоче. Система освітлення в усіх приміщеннях – загальна рівномірна.

5.2 Вибір джерела світла та типу світильника

Згідно з рекомендаціями в приміщеннях до установки обираємо LED освітлення. Зовнішнє освітлення виконується лампами розжарювання [4, 5]. Як світильники обираємо до установки світильники типу LED різної потужності. Для вуличного освітлення використовуємо світильники СПП200.

5.3 Вибір нормованої освітленості

Нормовані значення освітленості для приміщень наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристика приміщення

| № п/п | Назва приміщення | Д-на А, м | Ш-на В, м | В-та Н, м | Нор-ма освітленості, лк |
|-------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|
| 1 | Основне приміщення | 21 | 11 | 3 | 150 |
| 2 | Склад | 9 | 2,5 | 3 | 150 |
| 3 | Технічне приміщення | 6 | 3,5 | 3 | 30 |
| 4 | Енергетичне приміщення | 11 | 2,5 | 3 | 75 |

5.4 Розрахунок розміщення світильників

Визначимося зі світловим потоком, коефіцієнтом запасу та коефіцієнтом використання світлотехнічної установки:

- світловий потік $\Phi_1 = 4\ 000\ \text{лм}$;
- коефіцієнт запасу $k_{зан} = 0,8$;
- коефіцієнт використання світлотехнічної установки $\eta = 0,6$.

Основне приміщення (21 × 11 м, Н = 3 м, E_n = 150 лк)

Площа $S = 21\ \text{м} \cdot 11\ \text{м} = 231\ \text{м}^2$

Загальна потреба в світловому потоці:

$$\Phi_{\text{потр}} = E_n \cdot S = 150 \text{ лк} \cdot 231 \text{ м}^2 = 34\,650 \text{ лм}$$

Світловий потік від одного LED-світильника:

$$\Phi_{\text{еф}} = \Phi_1 \cdot k_{\text{зан}} \cdot \eta = 4\,000 \text{ лм}$$

$$0,8 \cdot 0,6 = 1\,920 \text{ лм}$$

Кількість світильників:

$$N = \frac{\Phi_{\text{потр}}}{\Phi_{\text{еф}}} \approx \frac{34\,650 \text{ лм}}{1\,920 \text{ лм}}$$

Розміщення: за розрахунками є 18 світильників в 3 ряди по 6 світильників уздовж більшої сторони (інтервал між рядами ≈ 3 м, від стін ≈ 2 м).

Основне приміщення: Призначене для вирощування рослин; потребує високого рівня освітленості для забезпечення фотосинтезу [3,5].

Склад ($9 \times 2,5$ м, $H = 3$ м, $E_n = 150$ лк)

$$S = 9 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = 22,5 \text{ м}^2$$

$$\Phi_{\text{потр}} = 150 \text{ лк} \cdot 22,5 \text{ м}^2 = 3\,375 \text{ лм}$$

$$\Phi_{\text{еф}} = 1\,920 \text{ лм} \text{ (за виразом вище)}$$

$$N \approx \frac{3\,375 \text{ лм}}{1\,920 \text{ лм}} \approx 1,76.$$

Розміщення: за розрахунками є 2 світильника, один ряд з двох світильників, інтервал від стін ≈ 1 м.

Складське приміщення використовується для зберігання матеріалів; необхідна достатня освітленість для безпечного переміщення та обліку запасів.

Технічне приміщення ($6 \times 3,5$ м, $H = 3$ м, $E_n = 30$ лк)

$$S = 6 \text{ м} \cdot 3,5 \text{ м} = 21 \text{ м}^2$$

$$\Phi_{\text{потр}} = 30 \text{ лк} \cdot 21 \text{ м}^2 = 630 \text{ лм}$$

$$\Phi_{\text{еф}} = 1\,920 \text{ лм}$$

$$N \approx \frac{630 \text{ лм}}{1920 \text{ лм}} \approx 0,33$$

Розміщення: є 1 світильник, центрування одного світильника посередині приміщення.

Технологічне приміщення: Призначене для обслуговування обладнання; мінімальна освітленість забезпечує базову видимість для технічного персоналу.

Енергетичне приміщення (11 × 2,5 м, Н = 3 м, E_n = 75 лк)

$$S = 11 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = 27,5 \text{ м}^2$$

$$\Phi_{\text{потр}} = 75 \text{ лк} \cdot 27,5 \text{ м}^2 = 2062,5 \text{ лм}$$

$$\Phi_{\text{еф}} = 1920 \text{ лм}$$

$$N \approx \frac{2062,5 \text{ лм}}{1920 \text{ лм}} \approx 1,07$$

Розміщення: є 2 світильника, маємо один ряд із двох світильників, від стін ≈ 1,5 м.

Енергетичне приміщення: Містить електрообладнання; помірний рівень освітленості необхідний для контролю та обслуговування систем.

Вхідна зона (3 × 4 м, Н = 3 м, E_n = 75 лк)

$$S = 3 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 12 \text{ м}^2$$

$$\Phi_{\text{потр}} = 75 \text{ лк} \cdot 12 \text{ м}^2 = 900 \text{ лм}$$

$$\Phi_{\text{еф}} = 1920 \text{ лм}$$

$$N \approx \frac{900 \text{ лм}}{1920 \text{ лм}} \approx 0,47$$

Розміщення: один світильник над центральною зоною входу.

Таблиця 5.2 – Загальна світлотехнічна відомість

| Приміщення | Площа, м ² | E _n , лк | Φ _{потр} , лм | Φ _{еф} , лм | N, шт. | Розміщення |
|-------------|-----------------------|---------------------|------------------------|----------------------|--------|--|
| Основне | 231 | 150 | 34 650 | 1 920 | 18 | 3 ряди по 6 шт., уздовж довшої сторони |
| Склад | 22,5 | 150 | 3 375 | 1 920 | 2 | 1 ряд по 2 шт., від стін ≈ 1 м |
| Технічне | 21 | 30 | 630 | 1 920 | 1 | Центрування одного світильника |
| Енергетичне | 27,5 | 75 | 2 062,5 | 1 920 | 2 | 1 ряд по 2 шт., від стін ≈ 1,5 м |
| Вхід | 12 | 75 | 900 | 1 920 | 1 | Один світильник над входом |

Висновок до розділу. Ці значення відповідають вимогам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» та забезпечують оптимальні умови для роботи та безпеки персоналу в теплиці. Запропонована система загально-рівномірного LED-освітлення забезпечує нормативні рівні освітленості в усіх зонах тепличного господарства, мінімізує енергоспоживання та тривалість монтажу, а також гарантує зручність експлуатації та безпеку персоналу.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Загальні вимоги з охорони праці. Під час модернізації системи електропостачання тепличного комплексу Green Center слід суворо дотримуватись вимог чинного законодавства в галузі охорони праці, зокрема Закону України «Про охорону праці», правил безпеки в електроустановках споживачів, а також санітарних норм, що регламентують умови праці. Головним завданням є забезпечення безпечних робочих умов для персоналу та запобігання виробничим травмам і професійним захворюванням [17,18].

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників. До основних небезпечних чинників [18], які можуть виникати під час експлуатації електроустановок, належать:

- електричний струм (ураження при дотику до струмопровідних частин),
- підвищена температура поверхонь обладнання,
- недостатнє природне та штучне освітлення,
- шум від електрообладнання.

Також у тепличному комплексі враховуються мікрокліматичні умови (вологість, температура повітря), які можуть впливати на стан працівників.

Електробезпека. Для забезпечення електробезпеки передбачено [17,18]:

- використання автоматичних вимикачів та УЗО,
- застосування ізоляційних матеріалів,
- заземлення металевих конструкцій,
- проведення регулярних інструктажів з електробезпеки.

Обслуговування електроустановок повинне виконуватись тільки кваліфікованими працівниками, які пройшли перевірку знань правил безпеки.

Освітлення та мікроклімат. У процесі реконструкції розроблена система штучного освітлення для рослин, що також впливає на умови праці. Освітлення повинне відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018. Важливо забезпечити рівномірність освітлення робочих зон без мерехтіння.

Для забезпечення належного мікроклімату передбачена вентиляція, автоматичне регулювання температури та вологості.

Пожежна безпека. Електроустановки є потенційним джерелом загоряння. Усі елементи системи повинні відповідати нормам ПУЕ, а на об'єкті передбачено:

- пожежну сигналізацію,
- вогнегасники (порошкові та вуглекислотні),
- план евакуації.

Висновки. Усі технічні рішення, передбачені при реконструкції електропостачання теплиці, спрямовані на зниження ризиків для персоналу та створення безпечних умов праці. Враховано всі чинники електро- та пожежонебезпеки, а також умови мікроклімату та освітлення згідно з чинними нормативами.

7 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Екологічна оцінка проєкту. Реконструкція електропостачання тепличного комплексу має позитивний екологічний ефект [19]. Впровадження енергоефективного обладнання та LED-світильників зменшує споживання електроенергії, а отже – і викиди вуглекислого газу при генерації енергії. Це сприяє зменшенню загального вуглецевого сліду об'єкта.

Вплив системи освітлення та опромінення на довкілля. Використання сучасних світлодіодних систем опромінення для рослин має низький рівень електромагнітного випромінювання та не створює шкідливого впливу на персонал чи навколишнє середовище. Крім того, LED-світильники не містять ртуті, на відміну від люмінесцентних ламп, що значно полегшує утилізацію [19].

Утилізація відходів. У процесі експлуатації передбачається мінімальна кількість відходів. Старі світильники та електрообладнання будуть утилізовані відповідно до вимог ДСТУ щодо електронних відходів. Впроваджується система сортування відходів і їх передача до відповідних пунктів прийому [19].

Енергоефективність і сталий розвиток. Система передбачає використання технологій, що зменшують витрати енергії, підвищуючи ефективність освітлення та живлення. Це відповідає принципам сталого розвитку в сільському господарстві, сприяє збереженню природних ресурсів та зменшенню антропогенного навантаження на довкілля [19].

Висновок до розділу. Модернізація системи електропостачання з впровадженням енергоефективних технологій та дотриманням екологічних норм сприяє зниженню негативного впливу на довкілля. Проєкт відповідає екологічним стандартам і не передбачає утворення шкідливих відходів чи забруднення.

8 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

8.1 Розрахунок економічної ефективності впровадження енергоефективних заходів у тепличному господарстві

У сучасних умовах господарювання підвищення енергоефективності та зменшення експлуатаційних витрат є важливими основними складовими стратегії сталого розвитку аграрно-промислової галузі.

Це дуже актуально для тепличних господарств, які енергозатратні споживачі електроенергії через потребу в штучному освітленні, обігріві, вентиляції та зволоженні [20, 21].

У межах реалізації проєкту модернізації тепличного комплексу Green Center було виконано реконструкцію системи електропостачання з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, безпеки та надійності. Важливою складовою є впровадження автоматизованої системи освітлення та опромінення рослин за допомогою світлодіодних (LED) ламп [5], що дозволяють оптимізувати фотосинтезно активне опромінення з урахуванням природного освітлення, часу доби та стадії розвитку рослин.

Для досягнення високої точності керування було застосовано датчики освітленості, температури і вологості, а також мікроконтролери, які забезпечують гнучке та інтелектуальне управління усіма елементами системи [21]. Це дозволило скоротити загальне споживання електроенергії, зменшити навантаження на електричну мережу об'єкта та забезпечити більш стабільні умови вирощування.

Для оцінки ефективності впровадження технічних рішень у тепличному господарстві виконаємо розрахунок та визначимо орієнтовний термін окупності інвестицій, з урахуванням загальних витрат на модернізацію обладнання та комплектуючих матеріалів (135631,8 грн).

За капіталовкладеннями по реконструкції тепличного комплексу виконаємо необхідні розрахунки та визначимо коефіцієнт окупності.

Таблиця. 8.1. – Капіталовкладення в теплицю комплексу Green Center

| № п/п | Обладнання, електричні апарати, кабелі, провoda | Кількість | Ціна , грн | Сума, грн |
|-------|---|-----------|------------|-----------|
| 1 | LED – світильники, шт | 60 | 262,53 | 15 751,8 |
| 2 | Автоматичний вимикач ВА88-32 3P 25A 25кА SVA10-3-0025, шт | 2 | 1666,00 | 3332 |
| 3 | Автоматичний вимикач TmaxT4/T5, шт | 2 | 1200,00 | 2400 |
| 4 | Автоматичний вимикач 3P 25A 20кА, шт | 2 | 1887,00 | 3774 |
| 5 | Блок живлення 24В 20А 480Вт, шт | 1 | 1900,00 | 1900,00 |
| 6 | Модуль годинника реального часу DS3231 RTC , шт | 1 | 150,00 | 150,00 |
| 7 | Контролер ESP32-CAM WiFi з камерою OV2640, шт | 1 | 500,00 | 500,00 |
| 8 | 7 - дюймовий сенсорний екран Waveshare | 1 | 3300,00 | 3300,00 |
| 9 | ВН1750 датчик освітленості цифровий ВН1750FVI GY-302, шт | 5 | 200,00 | 1000,00 |
| 10 | Датчик температури і вологості SHT31-D, I2C, шт | 5 | 180,00 | 900,00 |
| 11 | Стелаж багатоярусний, шт | 30 | 3000,00 | 90000,00 |
| 12 | Провод АВВГ4х4, м | 10 | 21,9 | 219,00 |
| 13 | Кабель АВВГ6х(3х185), м | 20 | 198 | 3960,00 |
| 14 | Кабель ВВГнг 3×1.5, м | 80 | 31 | 2480,00 |
| 15 | Кабель ВВГнг 3×2.5, м | ~20 | 57 | 1140,00 |
| 16 | Кабель ВВГнг 3×4, м | ~25 | 89 | 2225,00 |
| 17 | Шинопровід ШМА5 | 1 | 300 | 300,00 |
| 18 | Щиток типу HAGER VU36NC, шт | 1 | 2300 | 2300,00 |
| | Всього: | | | 135631,8 |

Річна економія електроенергії. На основі даних за 2024-2025 рік визначається річне зниження енергоспоживання в результаті впроваджених енергоефективних заходів. Це дозволяє оцінити обсяг зекономленої електроенергії в натуральних показниках (кВт×год):

$$\Delta W = E_{el.} \cdot \frac{k}{100}, \quad (8.1)$$

$$\Delta W = 239184 \cdot \frac{5,5}{100} = 12437,57 \text{ кВт год}$$

де ΔW - економія річного споживання електроенергії, кВт·год;

k – постійний коефіцієнт (4,5 - 5,5).

Фінансова економія за рік. Далі розраховується грошовий еквівалент економії, який визначається відношенням зекономленого обсягу на тариф по електроенергії:

$$\Delta C = \Delta W \times T \quad (8.2)$$

де: ΔC – річна економія коштів, грн;

ΔW – зекономлений обсяг електроенергії, кВт·год;

T – тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

За умовами проекту приймаємо тариф: $T=6,5$ грн/кВт год

$$\Delta C = 12437,57 \cdot 6,5 = 80844,21 \text{ грн}$$

Розрахунок строку окупності. Виходячи з отриманої річної економії та загального обсягу капіталовкладень (витрат на модернізацію обладнання та комплектуючих матеріалів [21]) на реалізацію проекту, розрахуємо інвестиційний термін окупності:

$$T_{ок.} = \frac{K_{витр.}}{C_{екон.}}, \quad (8.3)$$

$$T_{ок.} = \frac{135631,8}{80844,21} = 1,7 \text{ років.}$$

Складемо порівняльну таблицю всіх основних економічних показників базового та проектного складових [21].

Таблиця. 8.2 – Ключові економічні показники для базового та модернізованого (проектного) варіантів

| Узагальнені показники | Базовий варіант інвестицій | Проектний варіант інвестицій |
|--|----------------------------|------------------------------|
| Загальна кількість спожитої електроенергії за рік, кВт·год | 239184,00 | 225000,00 |
| Середня ціна електроенергії для об'єкта, грн | 6,5 | 6,5 |
| Щорічна вартість енергоспоживання, грн | 1554696,00 | 1462500,00 |
| Потенційна річна економія енергії, кВт год | – | 12437,57 |
| Очікуване річне зменшення витрат, грн | – | 80844,21 |
| Інвестиційна вартість проекту, грн | – | 135631,8 |
| Період повернення вкладених коштів (окупності), рік | – | 1,7 |

Висновок до розділу. Ці показники дозволяють зробити висновок щодо економічної доцільності та швидкості повернення інвестицій, що особливо актуально для виробництв з високим енергоспоживанням, таких як тепличні комплекси [20].

Досягнуті показники підтверджують ефективність енергоспоживання та доцільність реалізації проєкту, що водночас забезпечує ресурсозбереження і підвищення технологічного рівня вирощування продуктів рослинництва та ефективності роботи тепличного господарства.

Розрахунки показують, що модернізація тепличного комплексу з використанням запропонованих технічних рішень є економічно ефективною. Завдяки зниженню річного споживання електроенергії на 12 437,57 кВт·год та відповідній грошовій економії – близько 80 844,21 грн на рік, інвестиції у розмірі 135 631,80 грн окупляться приблизно за 1,7 року.

Це свідчить про доцільність реалізації проєкту, що сприятиме підвищенню енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат, а також поліпшенню технологічного рівня та ресурсозбереженню у тепличному об'єкті.

ВИСНОВКИ

Об'єктом дослідження дипломного проекту була розробка системи електропостачання, освітлення та опромінення вирощуваних рослин в зимово-літній період тепличного комплексу Green Center в м. Суми СНАУ від власної комплексно-трансформаторної підстанції.

Шляхом розрахунків визначили повну потужність споживання електроенергії в теплиці. За сумарною потужністю тепличного комплексу обраний трансформатор - ТМГ-800/10/0,4 кВ. Визначили вид захисту, здійснили розрахунок захисних апаратів, обрали відповідну марку та перетин кабелю. Для правильності вибору захисних апаратів перевірили на струми КЗ.

У розділі енергозберігаючих заходів докладно розглянули можливості скорочення споживання електроенергії освітлювально-опромінювальною установкою та більш ніж у 2-3 рази повисили врожаї, за рахунок застосування досконаліших світлодіодних LED-ламп, а також електричних апаратів, дизельної електростанції (генератор), як аварійного джерела електричної енергії та можливість отримання вуглекислого газу CO₂.

В економічній частині дипломного проекту здійснено оцінку витрат на електропостачання тепличного комплексу із загальними капітальними вкладеннями на часткову реконструкцію комплексної трансформаторної підстанції. Було визначено витрати на електропостачання теплиці.

У розділі «Безпека життєдіяльності» було здійснено оцінку впливу безпеки життєдіяльності тепличного комплексу на навколишнє середовище.

Завдяки реалізації запропонованих заходів очікується зниження річного споживання електроенергії на 5%, що дозволить досягти щорічної економії коштів у розмірі 80844,21 грн. При капіталовкладеннях у сумі 135631,8 грн строк їх окупності становитиме – орієнтовно 1 рік, 7 місяців.

Проведений економічний аналіз модернізації свідчить про високу рентабельність проекту, короткий термін окупності та доцільність подальшого масштабування таких рішень на інші тепличні господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., перероблене і доповнене (станом на 21.07.2017). – Міненерговугілля України, 2017. – 617 с
2. Електротехнічні матеріали та вироби. Навчальний посібник. Тимофеев Ігор Олександрович. Лань, 2021, 268 с.
3. О.Ю. Юрченко, Г.В. Барсукова, А.В. Чепіжний, Г.А. Тимошенко // Монтаж електрообладнання і систем керування. Монтаж щитів керування електричними двигунами // Навчально-методичний посібник для здобувачів освіти 2, 1 с.т. курсів спеціальності: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» інженерно-технологічного факультету денної та заочної форми навчання, СВО «бакалавр». – Суми: СНАУ, 2023. – 144 с.
4. Козирський В.В. Основи електропостачання [Текст] : підручник / В.В. Козирський, С.М. Волошин. – Київ : Компринт, 2021. – 497 с.
5. Електричні мережі та системи: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.П. Шевчук, О.В. Мейта. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 167с.
6. Давиденко Л.В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум [Текст]: навчальний посібник / Л.В. Давиденко, Н.В. Коменда, В.А. Давиденко, М.М. Євсюк – Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022.– 244 с.
7. Named Haggi James M. Fenton. Techno-Economic Assessment of Net-Zero Energy Buildings: Financial Projections and Incentives for Achieving Energy Decarbonization Goals. December 2024. DOI:10.48550/arXiv.2412.00874.
8. Xue Wang, Xiaolei Zhang, Jianqi Song (2023). The analysis of solar energy investment, digital economy, and carbon emissions in China Sec. Solar Energy, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1183857>

9. Chen, X., Song, C., Wang, T. (2022). Analysis of energy losses and energy consumption law in low-voltage zones. *Journal of Physics: Conference Series*, 1(012016). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2022/1/012016>
10. Carr, D., & Thomson, M. (2022). Non-technical energy losses. *Energies*, 15(6), 2218. <https://doi.org/10.3390/en15062218>
11. Lom, M., & Pribyl, O. (2021). Smart city model based on systems theory. *International Journal of Information Management*, 56, 102092.
12. Humayun, M., Alsaqer, M. S., & Jhanjhi, N. (2022). Energy optimization for smart cities using iot. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 2037255.
13. Ullah, Z., Naeem, M., Coronato, A., Ribino, P., & De Pietro, G. (2023). Blockchain applications in sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104697.
14. Васи́лець С., Васи́лець К., Ільчук В. Оцінювання точності вузла обліку електроенергії при зниженому струмі навантаження. *Modeling, Control and Information Technologies* 2024-12-07. Journal article DOI: [10.31713/MCIT.2024.020](https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.020)
15. Vasylets, S., & Vasylets, K. (2019). Refinement of the mathematical model of frequency converter cable branch with a singlephase short circuit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(9 (100), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176571>
16. Kholiddinov I. Kh, Musinova Gulasalkhon, Yulchiev M.E., et al. Modeling of calculation of voltage unbalance factor using Simulink (Matlab) // *The American Journal of Engineering And Techonology*. 2020. V.2. № 10. pp. 33-37.
17. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних двигунів/ О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // *Праці ТДАТУ*. – 2010. - № 10, Т4. - С. 39-46.
18. Somka O, M. Zagirnyak, V. Prus. Reliability Models of Electric Machines with Structural Defects *Proceedigs 2015 16th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE–2015*, – Lviv, Ukraine, 2015. – p. 249-251.

19. Somka O., M. Zagirnyak, V. Prus, The methods for accounting the degree of electric machines aging in the assessment of their reliability 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, Ukraine, 2019. – P.194-197
20. Billinton and Ronald N. Allan, “Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques”, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin 181 (Germany), 2008. – 342 p.
21. Matlab, Getting Started Guide, R2011b. The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098, USA, 276 p.
22. Сьомка О. О., В. В. Прус Комп'ютеризований діагностичний комплекс для випробувань електричних машин на надійність Науковопрактичний журнал «Електротехніка і електромеханіка» – Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2015. – Вип. 3/2015 – Ст. 27–30.
23. Сьомка О. О., В.В. Прус, С.Є. Дзеніс Обґрунтування впливу процесу старіння на електричні та магнітні властивості шихтованих осердь електричних машин Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії – Х. : НТУ „ХПІ”. - 2016. - № 11 (1183) 2016 – С. 115-122.
24. M. Zagirnyak, V. Prus, Siomka O. Electric machine reliability prediction models taking into account the state of major structural components Proceedings of the abstracts the 15th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE–2014, – Terchova – Vratna dolina, Slovak Republic, 2014. – P. 57
25. O. Somka, V. Prus, A. Nikitina Somka O. The determination of the condition of the windings of electric machines with long mean-time-between failures 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, 2017. – P. 164-167.