

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 фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» Сумського району Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування мікрокліматом»

Виконав:

(підпис)

Шевченко О. І.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ЕТЕС 2301 ст. - 2рн.

(Науковий) керівник:

(підпис)

Савойський О. Ю.

(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

Шевченку Олексію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Реконструкція системи електрифікації фруктосховища ПСП Слобожанщина Агро» Сумського району Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування мікрокліматом»,

керівник роботи: Савойський Олександр Юрійович, к.т.н.,
(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: “23” травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали обстеження об'єкту, технічна література, нормативна документація, державні стандарти.

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

1. Характеристика виробничої діяльності ПСП «Слобожанщина Агро»

2. Аналіз технології виробничих процесів у фруктосховищі

3. Розрахунок і вибір електросилового обладнання фруктосховища

4. Проектування системи автоматизованого керування мікрокліматом у фруктосховищі

5. Проектування електричної мережі фруктосховища

6. Реконструкція системи електропостачання виробничих об'єктів

7. Охорона праці

8. Екологія

9. Економічне обґрунтування

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Фруктосховище. Електрообладнання силове. Схема електрична розташування.

2. Фруктосховище. Система керування параметрами мікроклімату автоматизована. Схема електрична принципова.

3. ПСП «Слобожанщина Агро». Мережі 0,38 кВ. Схема електрична розташування.

4. КТП-100-10/0,4 кВ. Кола первинних з'єднань. Схема електрична принципова.

5. Показники техніко-економічні. Таблиця.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічне обґрунтування			
Нормоконтроль			

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 господарства	09.09.2024 р. – 13.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	16.09.2024 р. – 15.11.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	18.11.2024 р. – 22.11.2024 р.	
4.	Написання вступу	25.11.2024 р. – 29.11.2024 р.	
5.	Підготовка розділів 1 та 2	02.12.2024 р. – 27.12.2024 р.	
6.	Підготовка розділів 3 та 4. Підготовка листів 1 та 2 графічної частини.	03.02.2025 р. – 28.02.2025 р.	
7.	Підготовка розділів 5 та 6. Підготовка листів 3 та 4 графічної частини.	03.03.2025 р. – 28.03.2025 р.	
8.	Підготовка розділів 7, 8 та 9. Підготовка листа 5 графічної частини.	31.03.2025 р. – 02.05.2025 р.	
9.	Написання висновків	05.05.2025 р. – 09.05.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	
12.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Шевченко О.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник
кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Савойський О. Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шевченко Олексій Іванович. Реконструкція системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» Сумського району Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування мікрокліматом.

Кваліфікаційна робота на здобуття бакалавра за освітньою програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання реконструкції системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» Сумського району Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування мікрокліматом. Проведено аналіз виробничої діяльності підприємства, стану існуючих електромереж і технології зберігання фруктів. Визначено технологічні вимоги до температурно-вологісного режиму та складено технічні умови на електропостачання об'єкта.

Запропоновано нову енергоефективну систему електрозабезпечення, підбрано сучасне електрообладнання, зокрема, вентилятори В-Ц4-75-12,5 з електродвигунами АИР63В6У1, калорифери СФОЦ-25/0,5, автоматичні вимикачі, реле, пускачі, а також комплектну трансформаторну підстанцію потужністю 100 кВА. Розроблено схему живлення та систему електропостачання з урахуванням другої категорії споживачів. В результаті реконструкції досягнуто зниження річного електроспоживання на 7 %, термін окупності капіталовкладень становить 2,7 роки. Запропоновані рішення забезпечують підвищення енергетичної ефективності, безпеки та надійності функціонування фруктосховища.

Ключові слова: реконструкція системи електрифікації, фруктосховище, автоматизоване керування мікрокліматом, енергозбереження, електрообладнання, вентиляція, калорифери, трансформаторна підстанція, система живлення, надійність, енергоефективність.

ABSTRACT

Shevchenko Oleksii Ivanovych. Reconstruction of the Electrification System of the Fruit Storage Facility of PAE "Slobozhanshchyna Agro" in the Sumy District of Sumy Region with the Development of an Automated Microclimate Control System.

Qualification work for a bachelor's degree in the educational programme "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" in the speciality 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification work examines the issue of reconstructing the electrification system of the fruit storage facility of the PAE "Slobozhanshchyna Agro" in the Sumy district of the Sumy region, with the development of an automated microclimate control system. An analysis of the enterprise's production activities, the state of existing power grids and fruit storage technology was carried out. The technological requirements for the temperature and humidity regime are determined and technical conditions for the power supply of the facility are drawn up.

A new energy-efficient power supply system is proposed, modern electrical equipment is selected, including B-Ts4-75-12.5 fans with AIR63V6U1 electric motors, SFOC-25/0.5 heaters, automatic switches, relays, starters, as well as a complete transformer substation with a capacity of 100 kVA. A power supply diagram and electrical supply system were developed taking into account the second category of consumers. As a result of the reconstruction, annual electricity consumption was reduced by 7%, and the payback period for capital investments is 2.7 years. The proposed solutions ensure increased energy efficiency, safety and reliability of the fruit storage facility.

Keywords: electrification system reconstruction, fruit storage facility, automated microclimate control, energy saving, electrical equipment, ventilation, heaters, transformer substation, power supply system, reliability, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПСП «СЛОБОЖАНЩИНА АГРО»	9
1.1. Загальна інформація про ПСП «Слобожанщина Агро».....	9
1.2. Аналіз фінансових показників.....	10
1.3. Характеристика фруктосховища	12
1.4. Аналіз існуючої електрифікації фруктосховища.....	14
1.5. Висновки та пропозиції.....	15
2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ФРУКТОСХОВИЩІ	17
2.1. Опис технології зберігання фруктів	17
2.2. Характеристика приміщень фруктосховища.....	18
2.3. Складання технологічних вимог до системи електрифікації фруктосховища.....	19
3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕКТРОСИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ФРУКТОСХОВИЩА	21
3.1. Вимоги до електронагрівальних установок фруктосховищ	21
3.2. Розрахунок і вибір калориферів	22
3.3. Розрахунок та вибір вентиляторів	25
3.4. Складання схеми розташування обладнання фруктосховища.....	29
4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ У ФРУКТОСХОВИЩІ	30
4.1. Вимоги до параметрів мікроклімату в фруктосховищі.....	30
4.2. Технологічні вимоги до системи автоматизації системи створення мікроклімату.....	31
4.3. Складання та опис принципової електричної схеми керування.....	32
4.4. Розроблення заходів щодо виявлення та усунення потенційних відмов у системі автоматизованого контролю мікрокліматичних умов.....	33
5. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ФРУКТОСХОВИЩА	35
5.1. Вибір схеми живлення електрообладнання фруктосховища.....	35
5.2. Визначення навантажень	36
5.3. Вибір апаратури керування та захисту	38

5.4. Вибір методу прокладання та типу кабельно-провідникової продукції	41
6. РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ.....	43
6.1. Обчислення навантажень на вводах до споживачів	43
6.2. Обчислення навантажень вуличного освітлення.....	43
6.3. Обчислення координат центру навантаження.....	44
6.4. Визначення навантаження для повітряних електроліній з робочою напругою 0,38 кВ.....	45
6.5. Обчислення розрахункової потужності силових трансформаторів для підстанції	49
6.6. Обчислення кількості та вибір силових трансформаторів для підстанції	50
6.7. Підбір перетину проводів для повітряних ліній	52
7. ОХОРОНА ПРАЦІ	54
8. ЕКОЛОГІЯ.....	58
9. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	61
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТКИ	68

ВСТУП

Розвиток аграрного сектору України має велике значення для забезпечення продовольчої безпеки країни, збільшення експорту та підвищення добробуту сільського населення. Одним із ключових етапів збереження якості та тривалості зберігання фруктів є ефективне підтримання оптимального мікроклімату у фруктосховищах. Надійна та сучасна система електрифікації разом із автоматизованим керуванням мікрокліматом дозволяють значно підвищити енергетичну ефективність об'єктів зберігання, зменшити втрати продукції та покращити умови зберігання.

Фруктосховище ПСП «Слобожанщина Агро» Сумського району Сумської області є важливим елементом агропромислової інфраструктури регіону. Однак існуюча система електрифікації є застарілою і не відповідає сучасним вимогам енергоефективності та автоматизації. Це обмежує можливості підтримання стабільного мікроклімату, що негативно впливає на якість збереженої продукції.

Метою даної роботи є реконструкція системи електрифікації фруктосховища з розробкою та впровадженням системи автоматизованого керування мікрокліматом, що забезпечить оптимальні умови зберігання фруктів, підвищить енергоефективність та надійність роботи обладнання. Втілення таких заходів сприятиме зменшенню експлуатаційних витрат і підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

У межах роботи передбачено аналіз існуючої системи електрифікації, розробка нових технічних рішень з використанням сучасних електротехнічних засобів і систем автоматизації, а також розробка алгоритмів керування мікрокліматом із урахуванням температури, вологості та інших параметрів повітря.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

ПСП «СЛОБОЖАНЩИНА АГРО»

1.1. Загальна інформація про ПСП «Слобожанщина Агро»

Приватне сільськогосподарське підприємство «Слобожанщина Агро» є одним із ключових учасників аграрного ринку Сумської області, яке успішно функціонує з 13 лютого 2001 року. Господарство зареєстроване за адресою: 41856, Україна, Сумська область, Сумський район, смт Улянівка, вулиця Центральна, будинок 16. Керівником підприємства є Мірошніченко Олександр Миколайович, а код ЄДРПОУ – 03800113. Статутний капітал організації становить 94 294 125 гривень, що свідчить про її вагомні фінансові можливості та серйозний підхід до реалізації виробничої політики.

Основний напрям діяльності ПСП «Слобожанщина Агро» – вирощування зернових та бобових культур, а також насіння олійних культур (КВЕД 01.11). Проте діяльність господарства не обмежується лише цим. Підприємство успішно займається овочівництвом, вирощуванням баштанних культур, коренеплодів, бульбоплодів, а також зерняткових і кісточкових фруктів, ягід, горіхів і плодових чагарників. Така широка спеціалізація дозволяє підприємству бути гнучким до змін аграрного ринку та раціонально використовувати наявні земельні ресурси.

Крім рослинницького напрямку, підприємство активно здійснює післяурожайну обробку продукції, займається підготовкою насіння до висіву, виконує допоміжні роботи в рослинництві, що включають сучасні агротехнології та автоматизовані процеси. Важливою складовою виробничої структури є наявність потужностей для зберігання, оброблення та транспортування вирощеної продукції, що суттєво підвищує ефективність господарської діяльності.

ПСП «Слобожанщина Агро» також активно функціонує у сфері торгівлі: здійснює оптову реалізацію зерна, овочів, фруктів, насіння, кормів для тварин, хімічних добрив, сільськогосподарських машин та обладнання. Значну частину діяльності займає логістичний напрям, зокрема вантажні перевезення

автомобільним і залізничним транспортом, оброблення вантажів, а також надання складських послуг. Окрім цього, підприємство надає техніку та обладнання в оренду, займається управлінням та експлуатацією нерухомості, що створює додаткові джерела доходу.

На сьогоднішній день ПСП «Слобожанщина Агро» є прикладом сучасного аграрного підприємства, яке орієнтоване на сталий розвиток, впровадження інновацій, ефективне управління ресурсами та дотримання екологічних стандартів. Підприємство робить вагомий внесок у соціально-економічний розвиток регіону, створюючи робочі місця та забезпечуючи стабільні податкові надходження до місцевого бюджету.

1.2. Аналіз фінансових показників

Фінансові показники ПСП «Слобожанщина Агро» за період 2022–2024 років свідчать про динамічний розвиток підприємства та суттєве покращення його економічного стану. Протягом аналізованого періоду підприємство демонструвало стабільне зростання доходів. Якщо у 2022 році виручка становила 778,1 млн грн, то вже у 2023 році вона зросла до 840,7 млн грн, а у 2024 році досягла рекордного рівня – понад 2,1 млрд грн (рис. 1.1.). Такий різкий стрибок свідчить про розширення виробничої діяльності, ефективне управління збутом та, ймовірно, вихід на нові ринки.

У динаміці чистого прибутку спостерігається схожа тенденція. Після незначного зниження у 2023 році (до 116,9 млн грн порівняно з 183,99 млн грн у 2022-му), у 2024 році підприємству вдалося досягти значного фінансового прориву – прибуток склав 445,3 млн грн. Це зростання є результатом зменшення витрат, зростання маржинальності продукції або вдалої інвестиційної політики. Такий результат свідчить про підвищення рентабельності діяльності підприємства.

Обсяг активів ПСП «Слобожанщина Агро» упродовж трьох років демонстрував позитивну динаміку. У 2022 році активи становили 2,88 млрд грн, у 2023 – 3,55 млрд грн, а у 2024 році показник залишився майже на тому ж рівні, що

свідчить про стабілізацію фінансово-майнового стану (рис. 1.2). Уповільнення зростання активів може вказувати на завершення етапу активного інвестування або на досягнення оптимального рівня матеріально-технічного забезпечення.

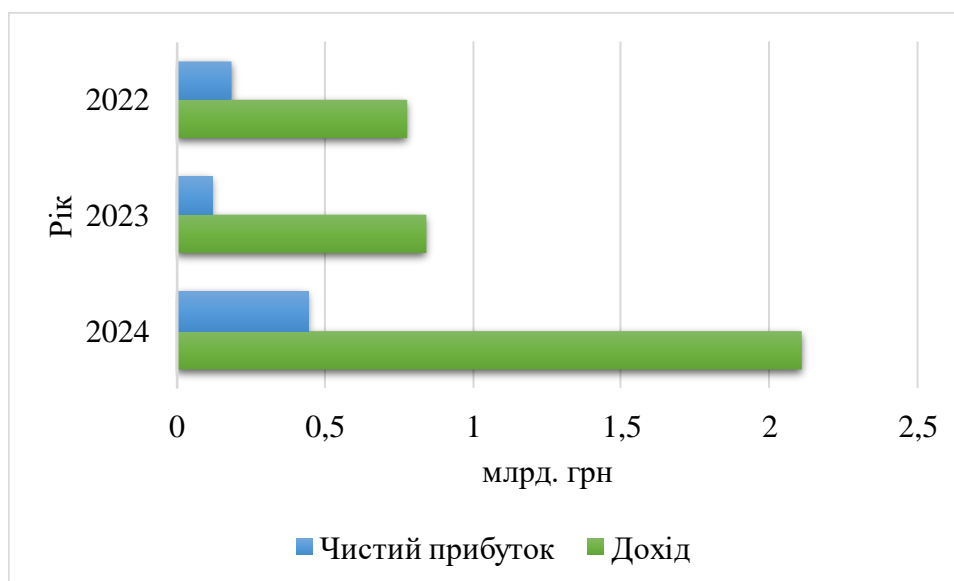


Рис. 1.1. Обсяг чистого прибутку та доходів ПСП «Слобожанщина Агро»

Зобов'язання підприємства зазнали змін упродовж аналізованого періоду. У 2022 році вони становили 288,4 млн грн, а вже у 2023 – зросли до 632,3 млн грн, що, ймовірно, пов'язано з необхідністю залучення додаткових фінансових ресурсів для модернізації чи розширення.

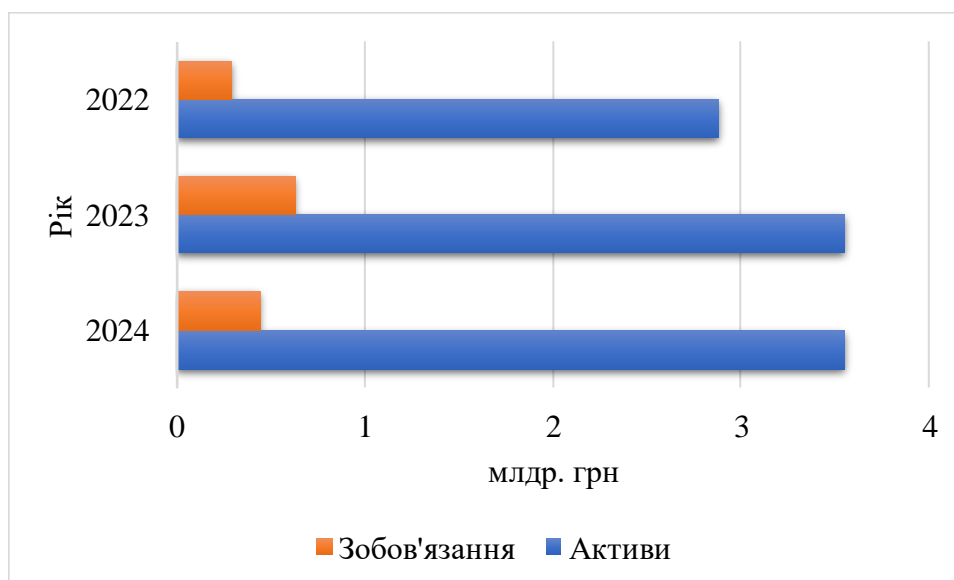


Рис. 1.2. Обсяг зобов'язань та активів ПСП «Слобожанщина Агро»

Проте у 2024 році підприємству вдалося скоротити обсяг зобов'язань до 443,3 млн грн, що є позитивним сигналом і свідчить про підвищення фінансової стійкості та зменшення кредитного навантаження.

Кількість працівників залишалася майже незмінною – 257 осіб у 2022 році, 256 у 2023 та 254 у 2024 році (рис. 1.3).

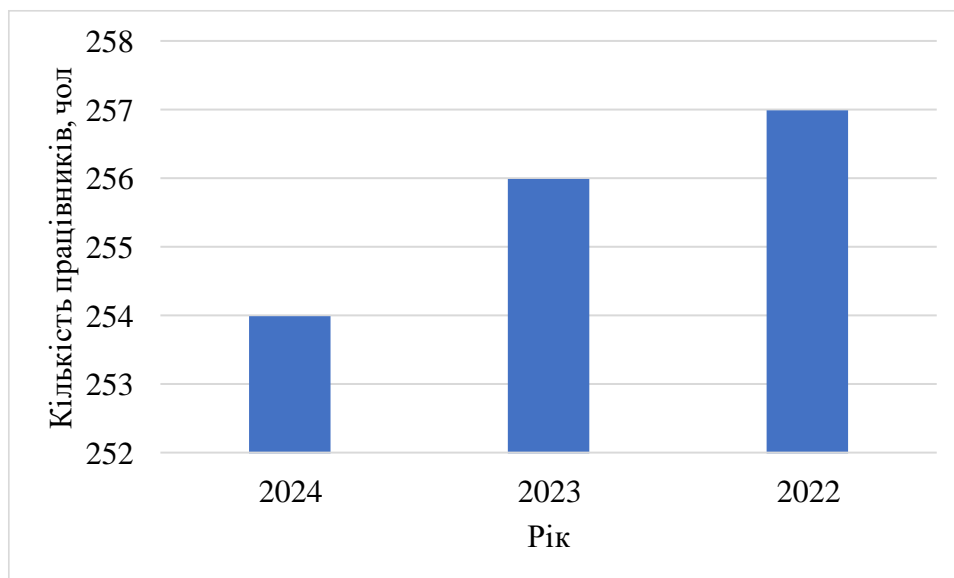


Рис. 1.3. Динаміка кількості працівників ПСП «Слобожанщина Агро»

Незначне скорочення персоналу не вплинуло негативно на фінансові результати, що може свідчити про зростання продуктивності праці, впровадження автоматизованих систем управління та оптимізацію внутрішніх процесів.

1.3. Характеристика фруктосховища

Фруктосховище ПСП «Слобожанщина Агро» є важливою складовою інфраструктури підприємства, що забезпечує збереження якісних показників вирощеної продукції, зокрема зерняткових і кісточкових фруктів, ягід та плодово-ягідної сировини. Його функціонування має стратегічне значення для повного виробничого циклу – від вирощування до реалізації готової продукції. Сховище розташоване безпосередньо на території агропідприємства, що дозволяє

мінімізувати логістичні витрати, зменшити втрати при транспортуванні та оперативно здійснювати завантаження й вивантаження плодів.

Конструктивно фруктосховище являє собою капітальну будівлю з теплоізоляційними стінами та сучасним вентиляційним і холодильним обладнанням. Загальна площа приміщення дозволяє зберігати значний обсяг продукції, що забезпечує безперервність її постачання до торговельних мереж протягом усього міжсезоння. Сховище оснащено декількома температурними зонами, які дають змогу зберігати різні види фруктів у найбільш сприятливих для них умовах.

На даний момент зберігання здійснюється переважно за рахунок традиційних методів охолодження та контролю вологості повітря. Проте в умовах зростаючих вимог до якості збереження продукції та економічної ефективності експлуатації, виникає об'єктивна потреба в модернізації електрифікації сховища та впровадженні автоматизованої системи керування мікрокліматом. Це дозволить не лише оптимізувати енергоспоживання, але й забезпечити більш точне регулювання параметрів середовища з урахуванням специфіки кожної партії фруктів.

Поточна система управління вентиляцією, охолодженням та освітленням працює у напіваавтоматичному режимі, що вимагає постійної присутності обслуговуючого персоналу. Запропонована реконструкція передбачає перехід до автоматизованого керування за допомогою сучасних цифрових контролерів, сенсорів вологості, температури та газового складу повітря (вмісту кисню й вуглекислого газу). Такий підхід дасть змогу підвищити технологічну гнучкість фруктосховища, знизити втрати продукції під час зберігання та забезпечити стабільну якість товару до моменту реалізації.

У контексті загального розвитку ПСП «Слобожанщина Агро», вдосконалення функціонування фруктосховища – це не лише крок до підвищення енергоефективності, а й стратегічна інвестиція в якість продукції, ринкову конкурентоспроможність і довготривалу економічну стабільність господарства.

1.4. Аналіз існуючої електрифікації фруктосховища

Система електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» була змонтована ще на початку 2000-х років і з того часу практично не зазнавала модернізації. На сьогодні її стан не відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, надійності та безпеки експлуатації, що істотно впливає на стабільність роботи обладнання та зберігання продукції.

Живлення фруктосховища здійснюється від трансформаторної підстанції типу КТП-100/10/0,4 з силовим трансформатором ТМ-250/10. Розподіл електроенергії у приміщенні виконується через ввідно-розподільчий щит (ВРЩ), укомплектований автоматичними вимикачами серії А3700, що давно вийшли з виробництва. Пуск і керування електродвигунами вентиляційного та холодильного устаткування виконано за допомогою пускачів серії ПМЛ-216, які, згідно з технічним оглядом, мають високий ступінь зношення контактної групи.

Освітлення фруктосховища реалізоване на базі люмінесцентних світильників типу ЛПО46 з лампами ЛБ-40, які споживають значну кількість енергії та мають низьку світлову ефективність. Реле та елементи ручного керування не мають захисту від пилу, вологи та конденсату, що призводить до частих коротких замикань.

Стан електропроводки викликає особливе занепокоєння. В більшості випадків використані мідні провідники марок АПВ і ПВ-3, прокладені відкрито в металевих трубах і пластикових коробах. Під час обстеження було виявлено численні пошкодження ізоляції, тріщини, подекуди оголення струмопровідної жили, що створює пряму загрозу електробезпеці персоналу. Поверхні коробів і труб вкриті товстим шаром пилу та залишків вологи, що у поєднанні з коливаннями температури та підвищеною вологістю всередині приміщення значно підвищує ризик коротких замикань.

У системі живлення періодично виникають непередбачувані відключення, особливо в моменти пікового навантаження. Це свідчить про перевищення допустимих струмових навантажень на старі кабелі та недостатню потужність

пускових пристроїв. Також відсутні засоби автоматизованого контролю параметрів електромережі та захисту від перенапруг, що унеможлиблює своєчасне виявлення аварійних режимів.

На фоні цього очевидним є висновок: система електрифікації фруктосховища є морально та фізично застарілою. Вона не відповідає сучасним стандартам енергоефективності, безпеки та надійності, що ставить під загрозу не лише якість збереження продукції, але й стабільність виробничого процесу загалом. Проведення повної реконструкції з використанням сучасного обладнання та впровадження автоматизованих систем керування є не лише доцільним, а й критично необхідним кроком у розвитку підприємства..

1.5. Висновки та пропозиції

Аналіз виробничої діяльності ПСП «Слобожанщина Агро» свідчить про стабільне зростання підприємства, високий рівень доходів і поступову модернізацію основних фондів. Одним із ключових елементів технологічного ланцюга є фруктосховище, від ефективної роботи якого значною мірою залежить якість, збереженість і рентабельність реалізації продукції садівництва. Проте результати технічного обстеження електрифікації цього об'єкта виявили низку суттєвих проблем.

Система електропостачання фруктосховища знаходиться в критичному стані – більшість її елементів застарілі морально та фізично. Застосоване обладнання не забезпечує стабільної роботи при сучасних експлуатаційних навантаженнях, має низький рівень енергоефективності, підвищену аварійність та не відповідає сучасним нормам електробезпеки. Виявлені пошкодження ізоляції, забруднення кабельних трас, зношення пускозахисної апаратури та часті відключення свідчать про потребу в негайному оновленні всієї системи електропостачання фруктосховища.

Крім того, відсутність автоматизованого керування мікрокліматом у сховищі значно ускладнює підтримання стабільних параметрів середовища, необхідних для

довготривалого зберігання фруктів без втрат якості. Ручне регулювання температури, вологості та вентиляції не дозволяє досягти необхідної точності й своєчасної реакції на зміни внутрішніх чи зовнішніх умов.

З урахуванням вищезазначеного, можна зробити висновок про нагальну необхідність повної реконструкції системи електрифікації фруктосховища з одночасним впровадженням сучасної автоматизованої системи керування мікрокліматом.

Реалізація такого комплексу заходів дозволить не лише покращити енергоефективність і безпеку об'єкта, а й забезпечити стабільність температурно-вологісного режиму, зменшити втрати продукції під час зберігання, знизити витрати на обслуговування та підвищити загальну економічну ефективність фруктосховища як складової агропромислового комплексу підприємства.

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ФРУКТОСХОВИЩІ

2.1. Опис технології зберігання фруктів

Процес зберігання фруктів у фруктосховищі ПСП «Слобожанщина Агро» є ключовим етапом післязбиральної обробки продукції, який безпосередньо впливає на її якість, товарний вигляд та термін реалізації. Основна мета технології зберігання – максимально сповільнити біохімічні процеси в тканинах плодів, запобігти фізіологічному старінню, втраті вологи, розвитку мікрофлори та псуванню продукції внаслідок несприятливих умов середовища.

Після збирання врожаю фрукти транспортуються на спеціалізовану сортувальну лінію, де проходять первинну обробку – калібрування, сортування за якістю, видалення механічно пошкоджених або уражених плодів. Надалі продукція пакується в пластикові або дерев'яні ящики з отворами для вентиляції та розміщується в сховищі.

Зберігання здійснюється у спеціально обладнаних камерах з регульованим мікрокліматом. Оптимальні параметри температури й вологості залежать від виду та сорту фруктів, проте в середньому підтримуються в таких межах: температура від 0 до +4 °С, відносна вологість повітря – 85–95%. Надмірна сухість призводить до втрати маси плодів, а підвищена вологість – до конденсації вологи та розвитку грибкових захворювань [2-5].

Для забезпечення стабільності умов у сховищі застосовується система охолодження, вентиляції та періодичної газообміну з зовнішнім середовищем. Повітря в камерах циркулює за допомогою осьових вентиляторів, а температура регулюється охолоджувачами, підключеними до холодильних компресорів. Вентиляція відіграє ключову роль у видаленні надлишку вологи та вуглекислого газу, який накопичується внаслідок дихання плодів.

Проте слід зазначити, що в існуючій системі більшість процесів регулюється вручну, або за допомогою простих аналогових пристроїв, без можливості точного

контролю та дистанційного керування. Відсутність автоматизованого моніторингу призводить до коливань температурного та вологісного режиму, особливо в перехідні сезони або при частковому завантаженні камер. Це, в свою чергу, знижує ефективність зберігання, спричиняє нерівномірне дозрівання або псування окремих партій фруктів [6-10].

Таким чином, наявна технологія зберігання є базовою, проте потребує оновлення та модернізації. Упровадження сучасної автоматизованої системи контролю мікроклімату дозволить значно покращити точність регулювання параметрів середовища, мінімізувати людський фактор, знизити енерговитрати та забезпечити більш тривале та якісне збереження фруктової продукції.

2.2. Характеристика приміщень фруктосховища

Фруктосховище ПСП «Слобожанщина Агро» складається з трьох функціонально пов'язаних приміщень: зони зберігання продукції, обробної ділянки та венткамери. Кожне з приміщень відіграє ключову роль у забезпеченні безперервного та ефективного технологічного процесу зберігання фруктів.

Приміщення для зберігання фруктів має габарити 15x12,8 м і висоту 3,3 м, що забезпечує загальний об'єм 633,6 м³. Приміщення утеплене, з теплоізоляційними панелями на стінах і стелі. У ньому розміщуються контейнери або ящики з фруктами, розставлені у ряди з міжряддям для вентиляції та огляду. У приміщенні підтримується мікроклімат із температурою в межах 0–4 °С та вологістю 85–95%. Повітря циркулює за допомогою осьових вентиляторів, а охолодження забезпечується компресорно-конденсаторною установкою.

Приміщення для обробки фруктів використовується для сортування, калібрування, пакування та первинного огляду плодів. Тут працюють сортувальні столи, механічні транспортери, вагове та пакувальне обладнання. Освітлення та електропостачання реалізовано через однофазну мережу 220 В. У зв'язку з перебуванням персоналу, забезпечується природна та примусова вентиляція.

Вентиляційна камера (венткамера) містить вентиляційні агрегати, блоки керування, автоматику та елементи охолоджувального обладнання. Звідси здійснюється розподіл повітря по повітропроводах до камер зберігання.

З точки зору електробезпеки, всі приміщення фруктосховища класифікуються як приміщення з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом [1, 11, 12]. Це обумовлено наявністю таких факторів:

- підвищена вологість повітря (понад 75%), яка знижує опір ізоляції електрообладнання;
- конденсація вологи на конструкціях, електропроводах та щитках;
- металеві конструкції та елементи, які можуть проводити струм при пошкодженні ізоляції;
- контакт персоналу з металевими корпусами обладнання в умовах вологої підлоги.

Тому особливу увагу слід приділити стану електропроводки, наявності заземлення, установці пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ), а також періодичному контролю стану ізоляції та правильності монтажу обладнання.

З огляду на вплив навколишнього середовища, фруктосховище повинно забезпечувати мінімальний викид охолоджувальних агентів (фреонів), шумів і теплових надлишків у зовнішнє середовище. Особливо актуальним є впровадження енергоефективних технологій, таких як рекуперація тепла від холодильних установок та автоматичне керування споживанням енергії залежно від завантаження.

2.3. Складання технологічних вимог до системи електрифікації фруктосховища

Система електрифікації фруктосховища повинна забезпечувати безперебійне, надійне та безпечне електропостачання всіх технологічних процесів: охолодження, вентиляції, освітлення, обробки продукції та керування мікрокліматом. Враховуючи характер виробництва, підвищену вологість та

складні умови експлуатації, основна увага приділяється стійкості до аварійних режимів та відповідності вимогам електробезпеки.

З огляду на інтенсивність споживання електроенергії, система повинна враховувати сумарні електричні навантаження, які становлять близько 35–50 кВт. Потужність розподіляється між вентиляційними установками, системою освітлення, пакувальним та обліковим обладнанням. Передбачається зональне електропостачання із виділенням окремих груп споживачів. Це дозволяє оперативно локалізувати несправності та зменшує ризики повного знеструмлення приміщення.

Усі елементи електропроводки мають відповідати вимогам підвищеної електробезпеки. Необхідне встановлення пристроїв захисного відключення з номіналом струму витоку до 30 мА, а також наявність якісного заземлення для всього металевого корпусного обладнання. Вибір електрофурнітури та щитового устаткування базується на стійкості до підвищеної вологості – ступінь захисту оболонок повинен бути не нижче IP44 у вологих зонах і IP65 для елементів, розміщених у венткамерах та щитах. Особливої уваги потребує організація захисту від перевантажень і коротких замикань, що реалізується через автоматичні вимикачі з тепловими та електромагнітними розчеплювачами.

Крім технічної безпеки, до системи електрифікації висуваються вимоги енергоефективності. Усі нові споживачі мають бути енергозберігаючими: вентиляція – з використанням частотного регулювання, система охолодження – з автоматичним регулюванням потужності залежно від температури в камері. Передбачається також автоматизоване керування електроспоживанням та інтеграція з системою моніторингу мікроклімату.

3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕКТРОСИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ФРУКТОСХОВИЩА

3.1. Вимоги до електронагрівальних установок фруктосховищ

У фруктосховищах впроваджується система зберігання плодів, розроблена на основі ґрунтовних досліджень, що передбачає встановлення оптимальних параметрів мікроклімату відповідно до стадій фізіологічного дозрівання фруктів: післязбиранне дозрівання, стабілізація та збереження товарного вигляду. Згідно з цією методикою, весь період зберігання поділяється на кілька послідовних етапів.

На першому, адаптаційному етапі створюються умови для загоєння мікропошкоджень, які виникають під час збирання та транспортування, а також видалення надлишкової вологи з поверхні плодів. У цей період температура утримується в межах 8–15 °С, а вологість повітря підтримується на рівні 90–95%. Тривалість етапу становить у середньому 7–10 днів, залежно від виду фруктів та їхньої стиглості [13, 14].

Другий етап – охолодження, під час якого температура у сховищі поступово знижується до значень, рекомендованих для довготривалого зберігання певного виду плодів. Швидкість зниження температури варіюється: для фруктів з щільною шкіркою допустиме охолодження на 0,5 °С за добу, тоді як для ніжніших сортів – до 1 °С. Цей процес триває від 10 до 20 днів [15].

У ході основного (третього етапу) – зберігання у стабільних умовах – необхідно підтримувати температуру в межах 0...4 °С (в залежності від виду фруктів), а відносну вологість – у межах 85–95%. Такі умови мінімізують втрати маси, пригнічують розвиток мікрофлори та зберігають якість плодів [16, 17].

У весняний період, якщо продукція не реалізується одразу, рекомендується знижувати температуру ще на 1–2 °С порівняно з основним режимом, що дозволяє уповільнити біохімічні процеси та збільшити термін зберігання без втрати якості.

При проектуванні електронагрівальних систем для фруктосховищ виконуються розрахунки потужності і підбір електрокалориферного обладнання,

необхідного для точного регулювання температурного режиму з урахуванням вимог до зберігання окремих видів плодів [18].

3.2. Розрахунок і вибір калориферів

У холодну пору року розраховується кількість теплової енергії, що потрібна для підтримання комфортної температури в приміщенні [20]:

$$\begin{aligned} \Phi_{om} &= \Phi_o + \Phi_{\epsilon} - \Phi_{np} - \Phi_{em} = \\ &= 0,278 \cdot [q_{om} \cdot V + L_{\epsilon} \cdot \rho_{\epsilon} \cdot c_{\epsilon} \cdot (t_{\epsilon} - t_n)] - q_{np} \cdot M_{np} - \Sigma N_{em} \end{aligned} \quad (3.1)$$

де $\Phi_o, \Phi_{\epsilon}, \Phi_{np}, \Phi_{em}$ – теплова енергія втрачається через зовнішні огорожувальні конструкції, витрачається на підігрів повітря, яке надходить з вентиляцією, а також компенсується теплом, що генерується продукцією та локальними системами обігріву, Вт;

q_{om} – питома теплове навантаження для опалення, яке залежить від типу приміщення (для сучасних овочесховищ знаходиться в межах 2,9...5,1 кДж/(м³·год·К));

V – об'єм внутрішнього простору, виміряний за зовнішніми контурами будівлі, м³;

L_{ϵ} – найменший допустимий обсяг вентиляційного повітря, що подається за годину, м³/год;

ρ_{ϵ} – густина повітря при внутрішній температурі t_n , кг/м³;

c_{ϵ} – теплоємність повітря на одиницю маси (становить 1 кДж/(кг·К));

t_{ϵ}, t_n – температура всередині приміщення та розрахункова температура зовнішнього середовища відповідно, °С;

q_{np} – кількість тепла, яке виділяється в результаті дихання продукції, Вт/т;

M_{np} – загальна маса продукції, т;

N_{em} – загальна потужність наявних локальних систем тепlopостачання.

При внутрішній температурі $t_g = 4^\circ\text{C}$ [20], густина повітря становить $\rho_g = 1,275 \text{ кг} / \text{м}^3$. Зовнішня температура в розрахунках приймається рівною $t_n = -26^\circ\text{C}$.

Об'єм внутрішнього простору приміщення:

$$V = 15 \cdot 12,8 \cdot 3,3 = 633,6 \text{ м}^3$$

Найменше допустиме повітрообміну значення визначається за формулою:

$$L_g = a \cdot V, \quad (3.2)$$

де a – кратність повітрообміну, яка для даного типу приміщень варіюється в межах 3...5 обмінів на годину.

Для розрахунку приймаємо $a = 3 \text{ год}^{-1}$, отже:

$$L_g = 3 \cdot 633,6 = 1900,8 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Тепловиділення внаслідок дихання продукції:

$$\Phi_{np} = q_o \cdot e^{b \cdot t_g}, \quad (3.3)$$

де q_o – питомий показник тепловиділення в результаті дихання продукції при температурі 0°C (для фруктів цей показник становить 10 Вт/т);

b – температурний коефіцієнт, що характеризує зміну інтенсивності дихання залежно від температури навколишнього середовища. Для фруктів $b = 0,07171 / ^\circ\text{C}$.

$$\Phi_{np} = 10 \cdot e^{0,0717 \cdot 4} = 13,3 \text{ Вт} / \text{т}.$$

Загальна теплова потужність місцевих джерел обігріву визначається за формулою:

$$\Sigma N_{эм} = \Phi_{осв} = q_{осв} \cdot A_k, \quad (3.4)$$

$\Phi_{осв}$ – загальна кількість тепла, що виділяється внаслідок роботи систем освітлення, Вт;

$q_{осв}$ – питома тепловиділення від джерел штучного світла, для електричного освітлення приймається 4,5 Вт/м²;

A_k – площа підлоги камери, яку обслуговує система освітлення. У цьому випадку $A_k = 166,4 \text{ м}^2$.

Тоді:

$$\Phi_{om} = 0,278 \cdot [3 \cdot 633,6 + 1900,8 \cdot 1,275 \cdot 1 \cdot (4 - (-26))] - 13,3 \cdot 200 - 748,8 = 17331,8 \text{ Вт.}$$

Потужність калорифера:

$$P_k = \frac{\kappa_з \cdot \Phi_{om}}{\eta_k}, \quad (3.5)$$

$\kappa_з$ – коефіцієнт запасу, який враховує додаткові втрати та непередбачені навантаження. У розрахунках приймається значення 1,2.

η_k – коефіцієнт корисної дії калорифера. Якщо обладнання розташоване безпосередньо в приміщенні, то $\eta_k = 1$, тобто втрати відсутні.

Для реалізації системи обігріву обираємо калорифер моделі СФОЦ-25/0,5 [20].

Основні технічні характеристики:

- Номінальна теплова потужність – 23,6 кВт;

- Робоча напруга – 380 В

3.3. Розрахунок та вибір вентиляторів

Годинну витрату повітря визначаємо у розрахунковому порядку [20]:

$$L_p = k_{II} \cdot L_e \cdot \frac{273 + t_H}{273 + t_{II}}, \quad (3.6)$$

де k_{II} – поправочний коефіцієнт, який залежить від довжини повітропроводу: при довжині до 50 м використовується одне значення $k_{II} = 1,1$, а для протяжності понад 50 м – інше $k_{II} = 1,15$;

t_H – температура зовнішнього повітря,

t_{II} – температура всередині приміщення.

Вентиляційну систему поділяємо на окремі сегменти, що характеризуються поступовою витратою повітря. Кожну ділянку нумеруємо в кружечках. Праворуч вгорі вказується швидкість повітряного потоку на відрізку (м/с), а знизу — довжина цього відрізка в метрах.

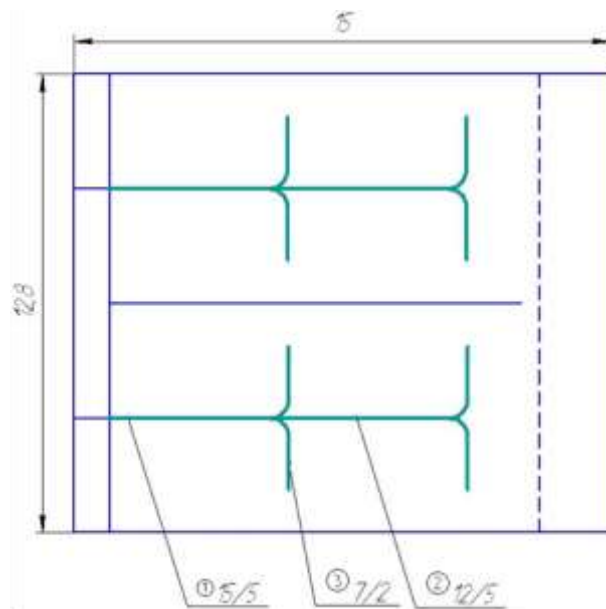


Рис. 2.1. Схема вентиляційної мережі фруктосховища

Для магістрального відрізка №1 приймаємо швидкість повітряного потоку рівну 15 м/с, на ділянці №2 – 12 м/с, а на інших сегментах – від 6 до 7 м/с. Розраховуємо діаметри повітропроводів для кожної з цих ділянок та заносимо отримані результати до таблиці 3.1.

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot L_{pi}}{3600 \cdot \pi \cdot V_i}} = \sqrt{\frac{L_{pi}}{900 \cdot \pi \cdot V_i}}, \quad (3.7)$$

де V_i – швидкість повітряного потоку на відповідній ділянці.

Для рівномірного розподілу припливного повітря вздовж вентиляційного приміщення застосовується магістральний повітропровід з незмінним перетином. Це досягається завдяки варіації площі повітряних отворів уздовж труби. Спершу визначається площа отвору, розташованого найвіддаленіше за напрямком руху повітря.

$$S = \frac{L_{pi}}{(3600 \cdot m \cdot v)}, \quad (3.8)$$

де m – кількість отворів, що вибирається з урахуванням їх розміщення через кожні 1,5–2 метри повітропроводу;

v – швидкість повітря на ділянці розрахунку (для прикладу, $v = 6$ м/с);

L_{pi} – об'ємний повітрообмін, розрахований для третьої ділянки.

Для подальших розрахунків приймаємо, що число отворів становить $m = 2$.

$$S = \frac{237,6}{(3600 \cdot 2 \cdot 6)} = 0,006 \text{ м}^2.$$

Розрахунок площі вихідного отвору виконується за формулою:

$$S_i < B_i \cdot S_1, \quad (3.9)$$

де B_i – коефіцієнт, який обчислюється за допомогою виразу:

$$B_i = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\mu \cdot (i-1) \cdot S_1}{A_B}}}, \quad (3.10)$$

μ – коефіцієнт витрати, що приймається за нормативними даними;

A_B – площа поперечного перерізу повітропроводу, виражена в квадратних метрах.

$$A_B = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,008 \text{ м}^2;$$

$$B_2 = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{0,67 \cdot (2-1) \cdot 0,006}{0,008}}} = 1,42;$$

$$S_2 < 1,42 \cdot 0,006 = 0,009 \text{ м}^2.$$

Приймаємо площу отвору $S_2 = 0,008 \text{ м}^2$.

Проводимо розрахунок тиску на окремих ділянках системи.

За допомогою номограми визначаємо втрати тиску через тертя на найдовшій гілці вентиляційної мережі. Також розраховуємо коефіцієнти місцевих опорів. Отримані значення фіксуємо в таблиці 3.1.

Повний розрахунковий тиск, який повинен створювати вентилятор, становить:

$$P_B = 1,1 \cdot \left[\sum (R \cdot l + z) + P_{\text{д.вих}} + P_{\text{к}} \right], \quad (3.11)$$

де R – питомі втрати тиску на прямолінійній ділянці;

l – довжина цієї ділянки;

z – втрати тиску, що виникають у місцевих опорах;

$P_{d.вих}$ – динамічний тиск повітряного потоку на виході з повітропроводу (прийнято рівним 22 Па);

p_k – опір, який калорифер створює повітряному потоку (значення становить 20 Па).

$$P_B = 1,1 \cdot (389,3 + 22 + 20) = 474,4 \text{ Па.}$$

Таблиця 2.1 – Показники розрахунку по вентиляційних сегментах

№	l , м	v , м/с	d , м	L , м ³ /ч	R , Па/м	Rl , Па	$P_{d.}$, Па	$\Sigma \zeta$	z , Па
1	5	15	0,15	950,4	18	90	135	0,15	20,25
2	5	12	0,125	475,2	16	80	87	1,3	113,1
3	2	7	0,1	237,6	6	12	29	2,55	73,95

Вибір вентилятора здійснюємо за допомогою номограми.

Частота обертання електродвигуна вентилятора:

$$n = \frac{A}{N_0}, \quad (3.12)$$

де A – безрозмірний коефіцієнт, який приймається рівним $A = 5480$;

N_0 – порядковий номер вентилятора (в даному випадку - № 7).

Частота обертання двигуна вимірюється в обертах за хвилину (об/хв).

$$n = \frac{5480}{7} = 783 \text{ об / хв.}$$

Потужність електродвигуна для вентилятора розраховуємо за формулою:

$$N_B = \frac{L_B \cdot P_B}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_B \cdot \eta_{II}}, \quad (3.13)$$

де η_{II} – коефіцієнт корисної дії передачі, що приймається рівним 1.

$$N_B = \frac{950,4 \cdot 474,4}{3,6 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 1} = 0,18 \text{ кВт}.$$

Встановлена потужність двигуна визначається за формулою:

$$N_{уст} = k_3 \cdot N_B, \quad (3.14)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, прийнятий як 1,2.

$$N_{уст} = 1,2 \cdot 0,18 = 0,22 \text{ кВт}.$$

Для експлуатації обираємо двигун марки АИР63В6У1 з технічними характеристиками: $P_n = 0,25 \text{ кВт}; n_n = 890 \text{ об / хв}; \eta = 59\%; \cos\varphi = 0,62$.

3.4. Складання схеми розташування обладнання фруктосховища

Схема розташування обладнання фруктосховища повинна забезпечувати зручний доступ для обслуговування, безпечне розміщення електрообладнання з урахуванням вимог електробезпеки та оптимальний рух технологічних потоків [19]. Детальна графічна схема розміщення устаткування наведена у відповідній частині роботи.

4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ У ФРУКТОСХОВИЩІ

4.1. Вимоги до параметрів мікроклімату в фруктосховищі

Для забезпечення якісного та довготривалого зберігання фруктів у фруктосховищі необхідно створити та стабільно підтримувати оптимальні параметри мікроклімату, які безпосередньо впливають на фізіологічні процеси в плодах, збереження їх товарного вигляду, харчової цінності та попередження псування. До основних параметрів, які підлягають регулюванню та контролю, належать температура, відносна вологість повітря, концентрація кисню та вуглекислого газу, а також швидкість повітрообміну [19].

Температура є ключовим чинником збереження фруктів. Для більшості плодів оптимальний діапазон температур становить від 0 °С до +4 °С. Саме за таких умов значно сповільнюються біохімічні процеси, зменшується інтенсивність дихання, пригнічується активність ферментів, що відповідають за дозрівання, а також уповільнюється розвиток патогенних мікроорганізмів. Однак для деяких теплолюбних фруктів (наприклад, персиків або слив) температура не повинна опускатися нижче +2...+3 °С, щоб уникнути холодових пошкоджень.

Висока відносна вологість повітря також є необхідною умовою. Її значення повинно становити від 85 % до 95 %, що дозволяє зменшити випаровування вологи з плодів, запобігти їх зневодненню та зниженню маси. Разом із тим, важливо уникати надмірної вологи, яка може спричинити утворення конденсату на поверхні плодів, що створює сприятливі умови для розвитку плісняви, грибкових уражень і гниття. Тому система вентиляції повинна бути спроектована так, щоб забезпечити контрольовану вологість без утворення зон надмірної вологи.

Газовий склад повітря у сховищі також має суттєве значення. Зменшення концентрації кисню до 1,5–3 % і підвищення рівня вуглекислого газу до 3–5 % дозволяє ще більше пригальмувати дихальні процеси в тканинах плодів, знижуючи витрати органічних речовин та подовжуючи термін зберігання. Такий підхід застосовується в сховищах з регульованим газовим середовищем, де спеціальні

установки автоматично підтримують оптимальні співвідношення газів у камерах. Занадто високий вміст CO₂ або дуже низький рівень O₂, однак, можуть спричинити фізіологічні розлади та появу неприємних запахів, тому контроль за газовим середовищем повинен бути точним та безперервним.

Не менш важливим є параметр повітрообміну. Рівномірний розподіл повітряних потоків забезпечує стабільну температуру та вологість у всьому об'ємі камери, попереджаючи утворення «мертвих зон», у яких фрукти можуть псуватись швидше. Система вентиляції повинна забезпечувати достатній повітрообмін з мінімальними коливаннями температури та вологості.

Таким чином, ефективне зберігання фруктів вимагає точної та автоматизованої системи керування мікрокліматом, здатної оперативно реагувати на будь-які зміни внутрішнього середовища. Саме така система дозволяє зберігати продукцію максимально довго з мінімальними втратами, що особливо важливо для підприємств, які займаються гуртовим продажем або переробкою фруктів після завершення сезону збирання.

4.2. Технологічні вимоги до системи автоматизації системи створення мікроклімату

Система повинна забезпечувати надійну та стабільну роботу усіх елементів, які відповідають за підтримання температурного режиму, вологості повітря, вентиляцію та, за потреби, регулювання газового складу. Для цього використовуються аналогові термостати, гігостати, реле часу, електромагнітні контактори, теплові реле та інші традиційні компоненти автоматики. Кожен технологічний процес регулюється окремими вузлами, що працюють за заданими налаштуваннями.

Налаштування порогів вмикання та вимикання обладнання (наприклад, вентилятора) здійснюється за допомогою механічних або електронних регуляторів з ручною корекцією. При досягненні критичних значень датчики температури або вологості впливають на відповідні реле, які, у свою чергу, запускають виконавчі

механізми. Така система не дозволяє реалізувати складні сценарії або зберігати історію даних, але вона значно дешевша, простіша в обслуговуванні та не потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Вимоги до системи залишаються високими з точки зору надійності. Усі елементи мають бути стійкими до перепадів температури, вологи та пилу, з мінімальною похибкою спрацювання та достатнім ресурсом роботи. Важливо передбачити аварійне відключення обладнання у разі перевищення граничних параметрів або в разі замикання.

Таким чином, система автоматизації без контролерів повинна бути грамотно спроектована з використанням перевірених аналогових засобів автоматичного регулювання, що забезпечують необхідну якість зберігання фруктів, хоча й без гнучкості та точності, характерної для цифрових систем.

4.3. Складання та опис принципової електричної схеми керування

Схема керування процесом створення та підтримки мікроклімату в фруктовосховищі наведена в графічній частині.

Автоматизоване керування системою активної вентиляції здійснюється за допомогою шафи ШАУ-АВ. Контроль температур зовнішнього середовища, повітря всередині приміщення, у вентиляційному каналі, а також температури самого продукту виконується за допомогою температурних сенсорів ВК1–ВК6 та логометра.

Перемикачі SA1 та SA3 дозволяють встановити режим керування – ручний або автоматичний. У разі ручного режиму за допомогою кнопок SB1 і SB2 здійснюється вмикання вентиляторів і калориферів для двох опалювально-рециркуляційних контурів. Кнопки SB3 та SB4 керують нагрівачем змішувального вузла, а SB5 і SB6 - припливною вентиляційною системою.

Коли обрано автоматичний режим (перемикач SA1 переведений у позицію "А"), алгоритм роботи залежить від етапу зберігання. У фазі лікування (SA2 в положенні "Л") активується вентилятор припливного повітря. Він періодично

запускається на 30 хвилин через магнітний пускач КМА згідно із встановленнями програмованого реле часу.

Під час етапу охолодження (SA2 переведено в позицію "O") вмикається терморегулятор диференціального типу РТ1 (модель ПТРД-2), який аналізує різницю між температурою продукції та повітря. Якщо ця різниця перевищує 2–3 °С, регулятор РТ1 подає сигнал на проміжне реле KV2. Далі контакти KV2-1 активують регулятор РТ3 (тип ПТР-2), а через задану затримку – і РТ4.

У результаті пускач КМ4 запускає вентилятор, а пропорційний регулятор РТ5 (ПТР-П) стабілізує температуру в припливному повітропроводі. Якщо температурне значення відхиляється від заданого рівня, РТ5 активує виконавчий механізм, що регулює положення заслінки у змішувальному клапані.

Положення заслінки регулюється таким чином, щоб змішування зовнішнього та рециркуляційного повітря забезпечувало необхідний температурний режим. Процес охолодження триває до моменту, коли температура продукції знижується до встановленого рівня. Після цього терморегулятор РТ3 деактивує припливний вентилятор.

У фазі зберігання (при положенні перемикача SA2 на "X") вентилятор запускається контактами КТ програмованого реле, з метою вирівнювання температурного поля в об'ємі збережених продуктів. Через контакти КМ4.3 активуються реле KV2 та терморегулятори РТ1 і РТ3. Подальша робота системи відбувається аналогічно алгоритму охолоджувального циклу.

Якщо температурне значення у верхній частині сховища (датчик ВК3) падає нижче встановленого порогу, що створює ризик утворення конденсату, спрацьовує термодатчик РТ2. Він через пускачі КМ1 і КМ2 активує рециркуляційно-опалювальні установки. При зниженні температури зовнішнього повітря до 15 °С вмикається нагрівальний елемент, пов'язаний із змішувальним вузлом.

4.4. Розроблення заходів щодо виявлення та усунення потенційних

ВІДМОВ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ

Для забезпечення стабільної та ефективної роботи автоматизованої системи регулювання параметрів внутрішнього середовища необхідно завчасно передбачити можливі технічні збої, а також розробити алгоритми їх виявлення та усунення. Нижче наведено типові проблеми, що можуть виникати в процесі експлуатації, та запропоновано рекомендації щодо їх локалізації та ліквідації.

Таблиця 4.2. – Найпоширеніші відмови в системі автоматизації системи керування мікрокліматом та способи їх усунення

№	Потенційна відмова	Можлива причина	Засіб виявлення	Заходи усунення
1	Не працює компресор охолодження	Вихід з ладу контактора або термореле	Візуальна перевірка, перевірка напруги	Заміна контактора або термореле
2	Надмірне зниження температури у камері	Несправність термостата	Зіставлення фактичної температури з уставкою	Налаштування або заміна термостата
3	Висока вологість понад норму	Вихід з ладу гігростата	Перевірка показників вологоміра	Заміна гігростата, перевірка зволожувача
4	Вентилятор не працює	Обрив фази, спрацювання теплового реле	Візуальна перевірка, перевірка кола живлення	Усунення обриву, перезапуск реле
5	Нерівномірність температурного режиму	Погана циркуляція повітря	Вимір температури у різних точках	Додати або налаштувати вентилятори
6	Порушення герметичності приміщення	Знос ущільнень дверей або отворів	Візуальний огляд, протяг	Заміна або герметизація ущільнень
7	Вихід з ладу реле часу	Механічне пошкодження або зношення контактів	Невиконання перемикачів у встановлений час	Заміна реле часу
8	Постійне включення або відключення обладнання	Залипання контактів реле	Аналіз роботи ланцюга	Заміна реле
9	Збої у живленні системи	Падіння або зникнення напруги	Вимірювання мережевої напруги	Встановлення стабілізатора або ДБЖ
10	Некоректна робота системи через забруднення датчиків	Пил, конденсат, корозія	Візуальна перевірка стану датчиків	Очищення або заміна забруднених датчиків

5. ПРОЄКТУВННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ФРУКТОСХОВИЩА

5.1. Вибір схеми живлення електрообладнання фруктосховища

Вибір схеми живлення електрообладнання фруктосховища обумовлюється вимогами до надійності, безпеки та енергоефективності. Враховуючи, що за ступенем надійності споживачів електроенергії фруктосховище відноситься до споживачів II категорії, його електропостачання має бути організоване таким чином, щоб забезпечити безперервну або своєчасно відновлювану подачу електроенергії до основного технологічного та допоміжного обладнання [19, 20].

Живлення фруктосховища здійснюється від комплектної трансформаторної підстанції (КТП), від якої електроенергія подається до електрощитової. У електрощитовій розміщено два окремих щити: силовий щит, призначений для живлення технологічного обладнання (компресори, вентилятори, холодильні установки тощо), та освітлювальний щит, що живить системи загального й аварійного освітлення.

Силова та освітлювальна мережі прокладаються незалежно одна від одної, що підвищує рівень електробезпеки, спрощує технічне обслуговування та зменшує ймовірність одночасного виходу з ладу обох систем у разі аварії. Усі основні лінії живлення виконані кабельними вводами, прокладеними у захисних металевих або пластикових трубах, відповідно до умов підвищеної вологості та агресивного середовища, що характерні для фруктосховищ.

З метою підвищення надійності системи передбачено резервне джерело живлення для критично важливого обладнання, такого як система вентиляції, частина холодильного устаткування та аварійне освітлення. У разі зникнення основного живлення від КТП передбачається перемикання на резервну лінію або підключення дизель-генераторної установки.

Таким чином, обрана схема електропостачання повністю відповідає вимогам II категорії надійності, забезпечуючи стабільну та безпечну роботу всіх систем фруктосховища.

5.2. Визначення навантажень

Значення розрахункової потужності P_P визначається за формулою [20]:

$$P_P = \frac{P_{II}}{\eta_{ПЕР}}, \quad (5.1)$$

P_{II} – необхідна потужність для приводу основного робочого вузла, Вт;

$\eta_{ПЕР}$ – ефективність силової передачі. У нашому випадку $\eta_{пер} = 1$, оскільки крильчатка вентилятора змонтована безпосередньо на валу електродвигуна, без проміжних передач.

$$P_P = \frac{0,22 \cdot 10^3}{1,0} = 0,22 \text{ кВт.}$$

Підключена (приєднана) потужність – це загальний рівень споживання електроенергії всім обладнанням, яке під'єднується до електричної мережі. Вона визначає рівень навантаження, що має витримувати електропостачальна система:

$$P_{ПП} = \frac{P_y}{\eta_{ЕД}}, \quad (5.2)$$

де P_y – номінальна (паспортна) потужність електродвигуна, кВт;

$\eta_{ЕД}$ – ефективність перетворення енергії електродвигуном (ККД).

$$P_{ПП} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{0,59} = 0,42 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт невідповідності каталожних характеристик обчислюється наступним чином:

$$K_{K.H} = \frac{P_P}{P_Y}; \quad (5.3)$$

$$K_{K.H} = \frac{0,22}{0,42} = 0,52.$$

Граничне значення потужності визначається за формулою:

$$P_{MAX} = \frac{P_Y \cdot K_{K.H} \cdot K_3}{\eta_{ЭД}} = P_{PP} \cdot K_{K.H} \cdot K_3, \quad (5.3)$$

K_3 – коефіцієнт навантаження обладнання, який приймається у межах 0,7...0,9. У цьому випадку обираємо значення $K_3 = 0,8$ як оптимальне для даної установки.

$$P_{MAX} = 0,42 \cdot 0,52 \cdot 0,8 = 0,17 \text{ кВт}$$

Значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ визначається згідно з технічною документацією.

Для вентиляційного пристрою типу Ц4-75 коефіцієнт $\cos \varphi_n$ становить 0,62, а для електродвигуна моделі АИР63В6У1 при $K_3 = 0,8$ значення $\cos \varphi_e$ дорівнює 0,5.

Параметр реактивної потужності визначається на основі співвідношення між активною складовою навантаження та кутом зсуву фаз, що зумовлений індуктивністю споживача. Формула виглядає так:

$$Q = P_{MAX} \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (5.4)$$

$$Q = 0,17 \cdot 1,73 = 0,29 \text{ кВа.}$$

Загальну кількість електроенергії, яку споживає установка за рік, визначаємо

за формулою:

$$A_{\text{РІК}} = P_{\text{МАХ}} \cdot T_{\text{РІК}}, \quad (5.5)$$

де $T_{\text{РІК}}$ – загальний час функціонування обладнання протягом року, год/рік.

$$A_{\text{ГОД}} = 0,17 \cdot 8760 = 1489,2 \text{ кВт}\cdot\text{год} / \text{рік}.$$

Визначення навантаження для решти електроприймачів проводиться за тією ж методикою, аналогічно до вищеописаної. Узагальнені результати по кожному з елементів системи зведені до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри електричних навантажень обладнання

Обладнання	Вентилятор	Електрокалорифер	Всього:
$P_{\text{П}}$, кВт	0,22	23,6	
$\eta_{\text{пер}}$	1	-	
$P_{\text{р}}$, кВт	0,22	23,6	
$P_{\text{у}}$, кВт	0,25	23,6	
$\eta_{\text{эд}}$	0,59	-	
$P_{\text{ІП}}$, кВт	0,42	23,6	24,02
$K_{\text{КН}}$	0,52	1,0	
$K_{\text{з}}$	0,8	1,0	
$P_{\text{МАХ}}$, кВт	0,17	23,6	
$\cos\varphi_{\text{Н}}$	0,62	1,0	
$\cos\varphi_{\text{з}}$	0,5	-	
Q , кВАр	0,29	-	
$T_{\text{рік}}$, год	8760	2160	
$A_{\text{РІК}}$, кВт·год/рік	1489,2	50976	52465,2

5.3. Вибір апаратури керування та захисту

Розглянемо приклад розрахунку параметрів та вибору відповідної апаратури для лінії №1, яка живить два вентиляторні електродвигуни. До складу цієї лінії входять агрегати типу В-Ц4-75-12,5. Основні експлуатаційні параметри

зазначеного електродвигуна наведено нижче:

$$P_{\text{дв}} = 0,25 \text{ кВт}; n = 2910 \text{ об / хв}; I_n = 1,1 \text{ А}; U_n = 380 \text{ В}; h = 90,5\%; \\ \cos\varphi = 0,90; K_i = 7,0.$$

Розраховуємо величину струму, що виникає при запуску електродвигуна:

$$I_n = I_n \cdot K_i, \quad (5.6)$$

$$I_n = 1,1 \cdot 7,0 = 7,7 \text{ А}.$$

Вибір магнітних пускачів. Для керування електродвигунами застосовують магнітні пускачі серії АСКО ПМ. Підбір пускача здійснюється з урахуванням напруги живлення, номінального струму двигуна та зовнішніх експлуатаційних умов.

Вибір електромагнітного пускача базується на таких критеріях [20]:

$$U_{\text{н.МП}} \geq U_{\text{ЕД}}; \quad (5.7)$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_p; \quad (5.8)$$

$$U_{\text{кот}} \geq U_{\text{н.м}}. \quad (5.9)$$

Для відповідності вимогам обрано електромагнітний пускач серії АСКО ПМ 0-06-01 380В [21], що характеризується такими параметрами: номінальна напруга живлення – 380 В; номінальний струм – 6 А; котушка управління розрахована на 380 В.

Перевіряємо відповідність встановлених параметрів заданим умовам:

$$380 B = 380 B; 6 A \succ 1,1 A; 220 B = 220 B.$$

Вибір здійснено вірно.

Вибір теплових реле. Щоб запобігти перевантаженню електродвигунів, застосовуємо теплове реле, інтегроване у магнітний пускач. Підбір електротеплового реле здійснюємо за такими критеріями [20]:

$$U_{ном.р.} \geq U_{мер}; \quad (5.10)$$

$$I_{ном.р} \geq I_{н.дв.}; \quad (5.11)$$

$$I_{т.р} \geq I_{н.дв.} \quad (5.12)$$

За умовами вибираємо теплове реле типу РТ-1306 [18], яке має наступні технічні характеристики: максимальний струм $I_{ном.р} = 1,6 A$; діапазон регулювання номінального струму не спрацювання 1,0-1,6 A [21]. Регулятор встановлюємо в положення, яке відповідає струму 1,1 A. Перевіряємо умови:

$$440 B \succ 380 B; 1,6 A \succ 1,1 A; 1,1 A = 1,1 A.$$

Умови дотримані.

Для забезпечення розподілу електроенергії обираємо розподільчий пристрій типу СПМ99-9-21УЗ. Його основні характеристики включають: наявність шести групових відгалужень; ввідний рубильник моделі ВР3237; виконання за кліматичним стандартом УЗ; придатність до експлуатації за умов дії зовнішніх механічних факторів; номінальна змінна напруга – 380 В; встановлюється у вертикальному положенні; ступінь пиловологозахисту – IP54.

Підбір автоматичних вимикачів. Підбір автоматичного вимикача виконується на основі відповідних параметрів та заданих технічних критеріїв [20]:

$$U_{a.ном} \geq U_{мер}; \quad (5.13)$$

$$I_{a.ном} \geq I_p; \quad (5.14)$$

$$I_{т.р} \geq I_p; \quad (5.15)$$

$$I_{відс.} \geq I_{пуск}; \quad (5.16)$$

За умовами вибираємо автоматичний вимикач ВА-2017/С АСКО УКРЕМ], що характеризується такими параметрами: номінальна напруга живлення – 380 В; номінальний струм – 6 А; характеристика С; струм електромагнітного розчіплювача 20 А [21].

Вибір ПЗА для іншого обладнання проводимо аналогічно.

5.4. Вибір методу прокладання та типу кабельно-провідникової продукції

Спосіб прокладки та маркування електропроводки визначається умовами експлуатації і категорією приміщення за рівнем електробезпеки. Для подачі живлення силовим споживачам передбачається використання проводу типу ВВГ, який розміщується в металевих трубах із тонкими стінками.

Площа перерізу струмопровідних жил вибирається з умови, що допустиме значення навантаження за нагрівом не повинно бути меншим від максимального струму тривалого режиму роботи кола [20]:

$$I_{доп} \geq I_{макс.р}. \quad (5.17)$$

Найбільший експлуатаційний струм живильної лінії, яка забезпечує живленням декількох споживачів, обчислюється за наступним співвідношенням:

$$I_{\text{макс.р}} = K_o \sum_1^n I_{\text{ном}}. \quad (5.18)$$

де K_o – коефіцієнт, що враховує ймовірність одночасної роботи всіх електроприймачів;

$\sum_1^n I_{\text{ном}}$ – загальна величина номінальних струмів підключених пристроїв, А.

На прикладі розглянемо підбір перерізу жил для підключення групової лінії №1.

З'єднання вентиляційного електродвигуна з магнітним пускачем здійснюється за допомогою проводу типу ВВГ (4x1,5), який прокладається в сталевих трубах. Обрана марка проводу здатна безпечно проводити струм до 19 А [20], що відповідає вимогам допустимого навантаження:

$$19 \text{ А} > 1,1 \text{ А}.$$

Максимальний робочий струм для групової лінії №1:

$$I_{\text{макс.р}} = 0,85 \cdot (1,1 + 22,8 + 1,1 + 22,8 + 1,1 + 22,8 + 1,1 + 22,8) = 81,3 \text{ А}.$$

Для магістралі приймаємо кабель ВВГ (5x25), який прокладається в сталевих трубах. Обрана марка проводу здатна безпечно проводити струм до 95 А [20], що відповідає вимогам допустимого навантаження:

$$95 \text{ А} > 81,3 \text{ А}.$$

Умови дотримані. Кабелі обрано вірно.

6. РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ

6.1. Обчислення навантажень на вводах до споживачів

Для виробничих приміщень підприємства приймаються розрахункові значення навантажень, які включають денний та вечірній періоди, на основі даних, наданих електротехнічним відділом. Всі результати заносяться до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Перелік основних виробничих споживачів

№ з/п	Найменування споживача	К-ть	P_D кВт	P_B кВт
1	Фруктосховище	1	25	25
2	Адміністративні будівлі	2	6	9
3	Холодильні камери	2	12	12
4	Переробний цех	1	40	10
5	Водонапірна башта	1	18	18
6	Млин	1	32	1
7	Зерносховище на 500 т	1	10	4

Схему розташування виробничих корпусів господарства можна знайти у графічній частині даної роботи.

6.2. Обчислення навантажень вуличного освітлення

Розрахунок потужності зовнішнього освітлення підприємства здійснюється за формулою [19]:

$$P_{з.о.} = L \cdot P_{0 \text{ вул.}} + N \cdot P_{0 \text{ прим.}} \quad (6.1)$$

де L – загальна довжина вуличної мережі в населеному пункті, метрів;

N – кількість виробничих будівель;

$P_{o\text{ вул.}}, P_{o\text{ прим.}}$ – нормативні значення потужності зовнішнього освітлення відповідно на 1 погонний метр вулиці та на одну будівлю (кВт), згідно джерел [19].

$$P_{з.о.} = 9 \cdot 0,25 = 2,25 \text{ кВт.}$$

6.3. Обчислення координат центру навантаження

З метою мінімізації втрат енергії в мережах, силовий трансформатор розміщують максимально близько до середньої точки електричних навантажень, які він обслуговує. Такий підхід забезпечує економічну доцільність прокладання електромереж та зменшує переріз провідників.

Розрахунок координат умовного центру споживання електричної енергії виконується за наступними виразами [19]:

$$x_{ц.н.} = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{\sum P_i}, \quad (6.2)$$

$$y_{ц.н.} = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{\sum P_i}, \quad (6.3)$$

де P_i – електроспоживання окремої точки або об'єкта, кВт;

x_i, y_i – координати, що характеризують розташування споживача на плані.

Координати точок електроспоживання визначаються на основі даних з графічної частини роботи.

Центр навантаження обчислюється для одного з максимумів – денного чи вечірнього – залежно від того, у який період сумарна потужність є більшою. Результати обчислень доцільно подати у вигляді таблиці 6.2.

Для енергозабезпечення об'єктів аграрного сектора застосовуються

комплектні трансформаторні підстанції з напругою 10/0,4 кВ. Тип КТП обирається з урахуванням кількості трансформаторів, їхньої потужності, числа споживачів та кількості відгалужень ліній 0,4 кВ [19].

№	Найменування споживача	P_D , кВт	P_B , кВт	$\cos\varphi_D$	$\cos\varphi_B$	x , см	y , см	$P \cdot x$	$P \cdot y$
1	Фруктосховище	25	25	0,8	0,85	27	14	675	350
2	Адміністративні будівлі	6	9	0,75	0,85	4,5	5	40,5	45
2	Адміністративні будівлі	6	9	0,75	0,85	8,5	5	76,5	45
3	Холодильні камери	12	12	0,75	0,85	12	5	144	60
3	Холодильні камери	12	12	0,75	0,85	16	5	144	60
4	Переробний цех	40	10	0,75	0,78	21	10	840	400
5	Водонапірна башта	18	18	0,82	0,85	10	16	180	288
6	Млин	32	1	0,75	0,78	15	16	480	512
7	Зерносховище на 500 т	14	4	0,70	0,75	21,5	16	301	224
	Разом:	165	100					2881	1984

Відповідно:

$$x_{ц.н.} = \frac{2881}{165} = 17,5$$

$$y_{ц.н.} = \frac{1984}{165} = 12,02.$$

6.4. Визначення навантаження для повітряних електроліній з робочою напругою 0,38 кВ

Для кожної з повітряних ліній, що працюють при напрузі 0,38 кВ, формується окрема розрахункова схема. На ній відображаються енергоспоживачі, потужність у моменти денного та вечірнього пікових навантажень, порядкова нумерація розрахункових відрізків та їх протяжність. Схематичне зображення кожної лінії

виконується умовно, без дотримання масштабу (рис. 6.1–6.2).

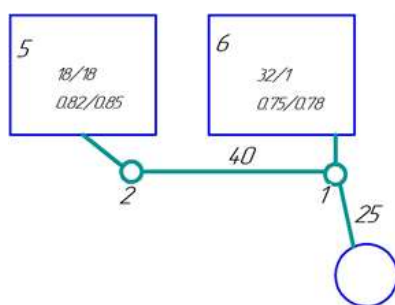


Рис. 6.1 – Схематичне зображення лінії електропередачі №1 для розрахунків

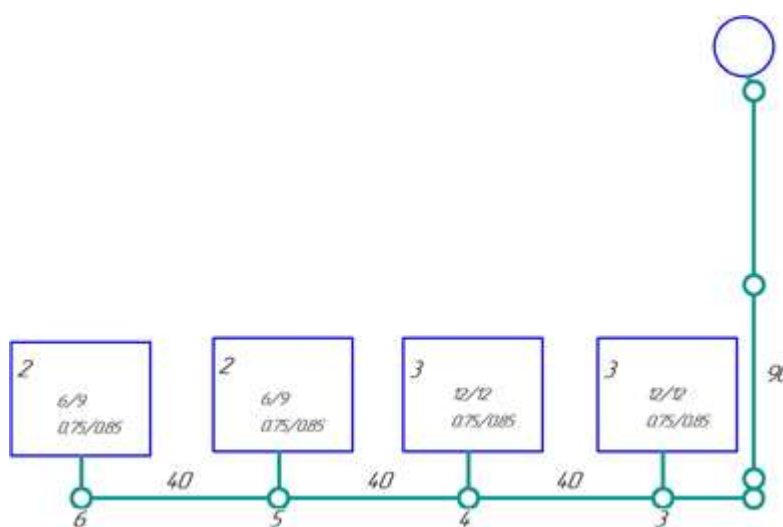


Рис. 6.2 – Схематичне зображення лінії електропередачі №2 для розрахунків

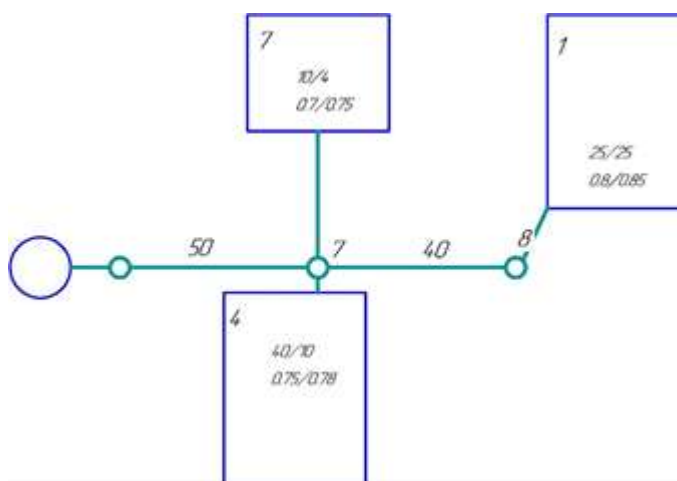


Рис. 6.3 – Схематичне зображення лінії електропередачі №3 для розрахунків

Обчислення навантажень на окремих відрізках повітряної лінії з напругою

0,38 кВ проводиться з урахуванням специфіки типів споживання. Оскільки навантаження по лінії є неоднорідними й не рівнозначними, використовується метод додаткових потужностей [19]:

$$P_p = P_{\sigma} + \Delta P_m, \quad (6.4)$$

P_{σ} – більше значення з двох навантажень, кВт;

ΔP_m – додаткова потужність, що враховує менше навантаження [19], кВт.

Для ділянок лінії, де навантаження різного характеру, середньозважене значення коефіцієнта потужності визначається за відповідною формулою:

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{\sum P_i \cdot \cos \varphi_i}{\sum P_i}, \quad (6.5)$$

де P_i – потужність, визначена для i -го енергоспоживача, кВт;

$\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності для i -го споживача [19].

Величини повної потужності на відповідних ділянках повітряної лінії обчислюються за наступними співвідношеннями:

$$S_{PD} = \frac{P_D}{\cos \varphi_D}, \quad (6.6)$$

$$S_{PB} = \frac{P_B}{\cos \varphi_B}. \quad (6.7)$$

Для ілюстрації виконаємо обчислення навантажень на повітряній лінії №1. Розрахунки здійснюємо, рухаючись від кінцевої точки лінії.

Ділянка 2-1:

$$P_{рд} = 18 \text{ кВт}; \cos \varphi_{д} = 0,82; S_{рд} = \frac{18}{0,82} = 21,9 \text{ кВА};$$

$$P_{рв} = 18 \text{ кВт}; \cos \varphi_{в} = 0,85; S_{рв} = \frac{18}{0,85} = 21,1 \text{ кВА};$$

Ділянка 1-ТП:

$$P_{рд} = 32 + 11,2 = 43,2 \text{ кВт}; \cos \varphi_{д} = \frac{32 \cdot 0,75 + 18 \cdot 0,82}{50} = 0,78;$$

$$S_{рд} = \frac{43,2}{0,78} = 55,3 \text{ кВА};$$

$$P_{рв} = 18 + 0,6 = 18,6 \text{ кВт}; \cos \varphi_{в} = \frac{18 \cdot 0,85 + 1 \cdot 0,78}{19} = 0,84;$$

$$S_{рв} = \frac{18,6}{0,84} = 22,1 \text{ кВА};$$

Обчислення навантажень на інших ділянках повітряних ліній з напругою 0,38 кВ виконується за аналогічною методикою та відображається у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок навантажень повітряних ліній 0,38 кВ

Ділянка лінії	Максимальне навантаження		Мінімальне навантаження		Надбавки		Розрахункове навантаження		Коефіцієнт потужності		Повна розрах. потужність	
	$P_{д}$, кВт	$P_{в}$, кВт	$P_{д}$, кВт	$P_{в}$, кВт	$\Delta P_{д}$, кВт	$\Delta P_{в}$, кВт	$P_{рд}$, кВт	$P_{рв}$, кВт	$\cos \varphi_{д}$	$\cos \varphi_{в}$	$S_{рв}$, кВА	$S_{рд}$, кВА
Пл 1												
2-1	18	18					18	18	0,82	0,85	21,95	21,17

1-ТП	32	18	18	1	11,2	0,6	43,2	18,6	0.78	0.84	55,3	22,14
ПЛ-2												
6-5	6	9					6	9	0.75	0.85	8	10,5
5-4	6	9	6	9	3,6	5,4	9,6	14,4	0.75	0.85	12,8	16,9
4-3	12	14,4	9,6	12	6	7.3	18	21,7	0.85	0.9	21,1	24,1
3-ТП	18	21,7	12	12	7,3	7.3	25,3	28,7	0.85	0.9	29,7	31,8
ПЛ-3												
8-7	25	25					25	25	0.8	0.85	30	29,4
7-ТП	40	25	25	14	15	8,5	55	33,5	0.78	0.85	70,5	39,4

6.5. Обчислення розрахункової потужності силових трансформаторів для підстанції

Визначення розрахункової потужності одно- або двотрансформаторних підстанцій здійснюється методом надбавок, що полягає у підсумовуванні активних навантажень на основних ділянках мережі 0,38 кВ, які відходять від підстанції. При цьому денні та вечірні навантаження розглядаються окремо. До вечірнього показника додається повна потужність зовнішнього освітлення населеного пункту [19].

$$P_{PДтр} = P_{PД\text{ лін.Б}} + \sum \Delta P_{PД\text{ лін.М}}, \quad (6.8)$$

$$P_{PВтр} = P_{PВ\text{ лін.Б}} + \sum \Delta P_{PВ\text{ лін.М}} + P_{з.о.}, \quad (6.9)$$

де $P_{PД\text{ лін.Б}}$, $P_{PВ\text{ лін.Б}}$ – найбільші розрахункові денні та вечірні навантаження відповідних ліній, що відходять від підстанції, у кіловатах;

$\sum \Delta P_{PД\text{ лін.М}}$, $\sum \Delta P_{PВ\text{ лін.М}}$ – сумарні надбавки від менших денних і вечірніх навантажень ліній, виміряні в кВт;

$P_{з.о.}$ – потужність зовнішнього освітлення, кВт.

Загальна розрахункова потужність трансформаторної підстанції, визначена для денного або вечірнього режиму, обчислюється із застосуванням відповідного коефіцієнта потужності [19] за формулою (6.7).

$$P_{рд\ tr} = 55 + 27 + 16,4 = 98,4 \text{ кВт};$$

$$P_{рв\ tr} = 33,5 + 17,7 + 11,2 + 2,25 = 67,65 \text{ кВт};$$

$$S_{рд} = \frac{98,4}{0,8} = 123 \text{ кВА}$$

$$S_{рв} = \frac{65,4}{0,83} = 78,8 \text{ кВА}$$

За розрахункову потужність трансформатора приймають найбільше значення, яке зазвичай припадає на денний період:

$$S_{р\ tr} = S_{рд} = 123 \text{ кВА}$$

6.6. Обчислення кількості та вибір силових трансформаторів для підстанції

Визначення встановленої потужності трансформаторів для підстанцій з одним або двома трансформаторами здійснюється на основі забезпечення їх нормальної роботи в межах економічно обґрунтованих діапазонів навантажень:

$$S_{ЕК. \min} \leq \frac{S_{P_{нід.}}}{n} \leq S_{ЕК. \max}, \quad (6.10)$$

де $S_{P_{нід.}}$ – потужність підстанції за розрахунком, кВА;

n – число трансформаторів, шт.;

$S_{EK.min}$, $S_{EK.max}$ – межі економічного діапазону навантаження трансформатора

з прийнятою номінальною потужністю, кВА.

Для розрахунків обираємо трансформатор із потужністю 63 кВА та встановленим економічним інтервалом роботи [19]:

$$86 \leq 123 \leq 125$$

Обрану номінальну потужність трансформатора контролюють з урахуванням його функціонування в нормальному експлуатаційному режимі при допустимих систематичних навантаженнях. Для гарантування стабільної роботи підстанції перевірку номінальної потужності трансформатора виконують за наступною формулою [19]:

$$\frac{S_P}{n S_H} \leq k_C, \quad (6.11)$$

де k_C – коефіцієнт, що характеризує допустиме систематичне навантаження [19]:

$$k_C = k_{cm} - \alpha (t_n - t_{nm}), \quad (6.12)$$

k_{cm} – коефіцієнт допустимого систематичного навантаження, взятий з таблиці відповідно до середньодобової температури повітря [19];

α – розрахунковий градієнт температури, одиниці $1/^\circ\text{C}$ [19];

t_n – фактична середньодобова температура навколишнього середовища, градуси Цельсія;

t_{nm} – табличне значення середньодобової температури повітря, градуси Цельсія [19].

$$k_c = 1.65 - 0.92 \cdot 10^{-2} \cdot (10,2 - (-10)) = 1,4$$

$$\frac{123}{1 \cdot 63} = 1,95 > 1,4$$

Якщо умова (6.11) не задовольняється, слід вибрати трансформатор із номінальною потужністю наступного більшого ступеня та повторити перевірку.

$$k_c = 1.59 - 0.92 \cdot 10^{-2} \cdot (10,2 - (-10)) = 1,4$$

$$\frac{123}{1 \cdot 100} = 1,23 < 1,4$$

Умова (5.11) підтверджується, тому остаточним вибором стає трансформатор з потужністю 100 кВА серії ТМГ.

6.7. Підбір перетину проводів для повітряних ліній

Підбір перетину проводів у мережах 0,38 кВ здійснюють із застосуванням методу економічних інтервалів з контролем допустимого падіння напруги [19]. Розрахунки виконуються для найбільшого навантаження, що переважає в вечірній або денний час, на ключових ділянках ліній. Кожному перетину проводу відповідає певний діапазон навантажень, у якому річні приведені витрати досягають мінімуму. Вибір проводів проводиться з урахуванням еквівалентної потужності району, ураховуючи умови ожеледиці та тип застосованих опор:

$$S_{EKB} = k_o S_P, \quad (6.13)$$

де k_o – коефіцієнт динамічного зростання навантаження; для нових ліній приймається значення 0,7 [19].

Падіння напруги на ділянках повітряних ліній обчислюється за формулою:

$$\Delta U_{\text{діл.}} = \Delta U_{\text{пит.}} \cdot S_P \cdot L_{\text{діл.}}, \quad (6.14)$$

де $\Delta U_{\text{пит.}}$ – питома величина втрати напруги [19], % на кВА·км;

$L_{\text{діл.}}$ – довжина відповідної ділянки лінії, км.

Спочатку обираємо базовий переріз проводу. Якщо він не відповідає вимозі щодо максимально допустимого падіння напруги, переходять до вибору більшого перетину. Збільшення перерізу проводів починається з головної ділянки лінії. Отримані результати розрахунку подані в таблиці 6.4.

Таблиця 5.4 – Підбір проводів повітряних ліній 0,38 кВ

Ділянка	S_P , кВА	$k_{\text{д}}$	$S_{\text{ЕКВ.}}$, кВА	$L_{\text{діл.}}$, км	$F_{\text{осн.}}$, мм ²	Втрати напруги, %	
						$\Delta U_{\text{пит.}}$, %/кВА	· км на ділянці
ПЛ 1							
2-1	21,95	0,7	15,365	0,04	АС25	0,88	0,540848
1-ТП	55,3	0,7	38,71	0,025	АС50	0,48	0,46452
ПЛ 2							
6-5	10,5	0,7	7,35	0,04	АС16	1,3	0,3822
5-4	16,9	0,7	11,83	0,04	АС25	0,88	0,416416
4-3	24,1	0,7	16,87	0,04	АС25	0,9	0,60732
3-ТП	31,8	0,7	22,26	0,09	АС25	0,9	1,80306
ПЛ 3							
8-7	30	0,7	21	0,04	АС35	0,67	0,5628
7-ТП	70,5	0,7	49,35	0,05	АС50	0,49	1,209075

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація роботи з охорони праці при роботі в фруктосховищах.

Організація роботи з охорони праці у фруктосховищах має бути системною та комплексною, оскільки цей об'єкт потребує особливої уваги через специфіку умов праці, які включають низькі температури, підвищену вологість та можливу роботу з важким обладнанням. Планування заходів з охорони праці здійснюється на основі аналізу ризиків та специфічних небезпек, що характерні для зберігання та обробки фруктів. Відповідні заходи включають забезпечення безпечних умов праці, регулярне технічне обслуговування обладнання та контроль за дотриманням правил безпеки. Фінансування заходів з охорони праці передбачає виділення окремих коштів у бюджеті підприємства, що дає змогу закуповувати необхідні засоби індивідуального захисту, проводити навчання працівників, а також модернізувати обладнання для підвищення безпеки [22, 23, 24, 25].

Коллективний договір у більшості фруктосховищ включає розділ «Охорона праці», де визначаються права та обов'язки працівників і роботодавця щодо забезпечення безпеки та гігієни праці. У цьому розділі також прописуються умови забезпечення спецодягом, засобами індивідуального захисту, а також механізми контролю за виконанням заходів з охорони праці. Організація навчання з охорони праці є обов'язковою і включає проведення вступних, первинних, повторних та позапланових інструктажів. Для цього розробляються спеціальні програми навчання, які враховують особливості роботи у фруктосховищах, та інструкції з охорони праці, що регламентують порядок виконання робіт. Ведеться журнал реєстрації інструктажів, що підтверджує проходження навчання працівниками, а також протоколи атестації робочих місць за умовами праці.

Забезпечення працівників спецодягом і засобами індивідуального захисту має відповідати санітарним нормам і специфіці роботи в умовах знижених температур та вологості. Спецодяг повинен бути зручним, теплим і захищати від впливу холодного середовища, а засоби індивідуального захисту – захищати органи дихання, шкіру та очі від можливих механічних та хімічних ушкоджень. Санітарно-

побутове забезпечення включає наявність душових, роздягалень, місць для відпочинку, що відповідають гігієнічним вимогам, а також забезпечення питною водою.

Відповідальність за організацію роботи з охорони праці покладається на керівників різних рівнів: від адміністрації фруктосховища до безпосередніх керівників змін і майстрів. Вони відповідають за своєчасне планування, проведення навчання, забезпечення засобами захисту, контроль за дотриманням вимог охорони праці. Також важливо, що у випадку порушень можуть застосовуватися дисциплінарні заходи, а в разі нещасних випадків – проводиться службове розслідування з визначенням винних і заходів щодо усунення причин. Такий системний підхід дозволяє забезпечити безпечні умови праці у фруктосховищах та мінімізувати ризики для здоров'я працівників.

Потенційні небезпеки при виконанні робіт у фруктосховищах. Потенційні небезпеки при виконанні робіт у фруктосховищах пов'язані з особливими умовами зберігання плодів, де підтримується низька температура і висока вологість. Одна з головних загроз – це ризик переохолодження та обмороження через тривале перебування працівників у холодних приміщеннях без належного захисту. Крім того, у таких умовах підвищується ймовірність появи слизьких поверхонь, що збільшує ризик падінь і травмування. Використання складного обладнання для сортування, пакування і транспортування фруктів створює небезпеку травм механічного характеру – затиснення, порізів або ударів.

Також у фруктосховищах може спостерігатися недостатня вентиляція, що призводить до накопичення шкідливих газів або недостатнього кисню, особливо у приміщеннях із системами газового охолодження. Це створює ризик отруєння або асфіксії. Не менш небезпечним є контакт з хімічними речовинами, які використовуються для обробки плодів чи підтримки санітарного стану, що може викликати подразнення шкіри, очей або отруєння при неправильному поводженні. Неправильне зберігання і переміщення вантажів часто призводить до м'язово-скелетних травм через перевантаження або неакуратну роботу.

Крім того, через шум від обладнання і транспортування плодів працівники можуть стикатися з ризиком зниження слуху або виникнення стресових станів. Електричні небезпеки також присутні, особливо при роботі з холодильними установками та автоматизованими системами, де можливі короткі замикання або ураження струмом за відсутності належного технічного обслуговування і дотримання правил безпеки. Усі ці фактори вимагають комплексного підходу до оцінки ризиків і впровадження відповідних заходів безпеки для запобігання травматизму та захворювань серед працівників фруктосховищ.

Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці. Для впровадження безпечних і здорових умов праці у фруктосховищах важливо починати з комплексного аналізу ризиків, що дозволяє визначити основні небезпеки та розробити ефективні заходи їх запобігання. Серед ключових рекомендацій – забезпечення належного рівня утеплення і вентиляції приміщень, що допоможе підтримувати комфортний мікроклімат, зменшуючи ризик переохолодження та накопичення шкідливих газів. Необхідно регулярно контролювати і підтримувати в робочому стані холодильне та інше обладнання, щоб мінімізувати ймовірність аварій та травм.

Велике значення має правильне забезпечення працівників спецодягом і засобами індивідуального захисту, які мають бути адаптовані до низьких температур і вологості, забезпечуючи теплоізоляцію та захист від механічних пошкоджень. Організація навчання з охорони праці повинна бути систематичною, з регулярним проведенням інструктажів та атестації робочих місць, що підвищить рівень свідомості працівників щодо дотримання безпечних прийомів роботи.

Також важливо впроваджувати системи контролю за дотриманням норм охорони праці, включаючи ведення документації, проведення аудитів і службових розслідувань у разі нещасних випадків. Рекомендується забезпечити комфортні санітарно-побутові умови – обладнання роздягалень, душових, місць для відпочинку з можливістю швидкого відновлення тепла та енергії. Для запобігання травмам на робочих місцях потрібно організувати безпечне зберігання і

транспортування вантажів, впровадити механізми автоматизації важких або небезпечних операцій.

Не менш важливо стимулювати відповідальність керівників усіх рівнів за безпеку праці, чітко розподіляючи обов'язки та заохочуючи активну участь у покращенні умов праці. Такий системний підхід допоможе не лише знизити виробничий травматизм, а й підвищити загальний рівень здоров'я і продуктивності працівників у фруктосховищах.

Висновки. Організація роботи з охорони праці у фруктосховищах є невід'ємною складовою забезпечення безпечних і здорових умов праці, що дозволяє мінімізувати виробничі ризики та запобігти травматизму. Аналіз потенційних небезпек показує, що основними загрозами для працівників є вплив низьких температур, механічні травми, шкідливі умови середовища та можливі хімічні впливи. Ефективна система управління охороною праці, яка включає планування, фінансування, навчання, забезпечення засобами захисту і відповідальність посадових осіб, створює умови для безпечної роботи і збереження здоров'я працівників.

Впровадження комплексних заходів, таких як належне оснащення робочих місць, систематичне навчання, контроль за дотриманням норм безпеки та створення комфортних санітарно-побутових умов, сприяє підвищенню продуктивності праці та зниженню виробничих ризиків. Відповідальність керівників на всіх рівнях і чітке регламентування заходів з охорони праці є запорукою успішної реалізації безпекових програм. Таким чином, системний підхід до охорони праці у фруктосховищах є ключем до створення ефективного і безпечного виробничого середовища.

8. ЕКОЛОГІЯ

Вступ. У сучасних умовах зростаючої уваги до сталого розвитку і збереження природних ресурсів важливо враховувати екологічні аспекти при модернізації виробничих об'єктів. Фруктосховище як складова агропромислової інфраструктури відіграє важливу роль у збереженні якості та безпеки сільськогосподарської продукції, тому впровадження нових енергоефективних та екологічно безпечних рішень у системі електропостачання є актуальним завданням. У цьому розділі розглядаються основні екологічні фактори, пов'язані з реконструкцією електрифікації, а також пропонуються шляхи зменшення негативного впливу на навколишнє середовище в межах діяльності фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро».

Вплив. Реконструкція системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» має важливе значення для підвищення ефективності зберігання продукції, проте вона також може впливати на навколишнє середовище і здоров'я людей, якщо не враховувати екологічні аспекти. Для людини основним джерелом потенційного негативного впливу є електромагнітні поля, що виникають під час роботи електрообладнання, трансформаторів та ліній електропередачі. Хоча рівні таких полів зазвичай відповідають нормативам, тривале перебування в зоні підвищеного електромагнітного випромінювання може викликати різні фізіологічні реакції – від зниження працездатності і підвищеної втоми до порушень сну, головних болів, подразнення нервової системи. Також важливо враховувати рівень шуму, який генерує електротехнічне обладнання. Постійний фоновий шум може спричиняти дискомфорт, стрес і впливати на психологічний стан працівників, що, в свою чергу, позначається на їхній продуктивності та здоров'ї.

Вплив на флору полягає передусім у можливому механічному порушенні ґрунтового покриву під час монтажних робіт, прокладання кабелів і встановлення обладнання, що призводить до втрати родючості та змін мікрофлори ґрунту. Електричні поля можуть також впливати на фізіологічні процеси рослин, зокрема на фотосинтез, дихання та обмін речовин, що негативно позначається на рості та розвитку окремих видів рослин. Важливою є й зміна мікрокліматичних умов у

безпосередній близькості від обладнання, наприклад, через локальне підвищення температури або зменшення вологості, що також може позначитися на стані рослинності.

Щодо фауни, електрифікація фруктосховища може впливати на дрібних тварин, птахів і комах, які мешкають у прилеглий зоні. Електромагнітні поля та шум можуть порушувати природні орієнтирні системи, викликати дезорієнтацію, змінювати поведінку тварин, знижувати їхню репродуктивну здатність і навіть призводити до загибелі. Особливо вразливими є комахи, які виконують важливі екологічні функції, зокрема запилення, що може мати подальші негативні наслідки для агроєкосистеми в цілому. Таким чином, у процесі реконструкції системи електрифікації необхідно застосовувати сучасні технології та матеріали, які зменшують рівень електромагнітного випромінювання і шуму, а також впроваджувати заходи з охорони ґрунту і біорізноманіття, щоб забезпечити екологічну безпеку та зберегти здоров'я працівників і навколишнє природне середовище..

Заходи. Для зменшення негативного впливу реконструкції системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» на людину, флору та фауну рекомендується впровадити комплекс заходів, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки та охорону здоров'я. По-перше, слід використовувати сучасне енергоефективне обладнання з низьким рівнем електромагнітного випромінювання, що відповідає державним стандартам і нормам безпеки.

По-друге, необхідно забезпечити якісне екранірування кабелів і електроустановок для мінімізації розповсюдження електромагнітних полів.

По-третє, важливо передбачити належну шумоізоляцію джерел шуму, що дозволить знизити рівень акустичного навантаження на працівників і навколишнє середовище.

Під час монтажних робіт слід дотримуватися технологій, які мінімізують порушення ґрунтового покриття, а після завершення робіт – проводити рекультивацію території для відновлення рослинності та поліпшення стану ґрунту. Також доцільно організувати контроль за рівнем електромагнітного

випромінювання і шуму в робочій зоні, а при виявленні перевищень – оперативно вживати заходів для їх усунення. Крім того, рекомендується створити захисні зелені насадження навколо фруктосховища, які допоможуть поглинати шум і сприятимуть збереженню місцевої фауни. Впровадження цих заходів дозволить знизити екологічні ризики, забезпечити безпечні умови праці та сприяти сталому розвитку виробничої діяльності на території ПСП «Слобожанщина Агро».

Окрім уже зазначених заходів, важливо впроваджувати системний підхід до зменшення негативного впливу реконструкції системи електрифікації фруктосховища. Зокрема, слід застосовувати автоматизовані системи моніторингу параметрів електромагнітного випромінювання та рівня шуму, що дозволить вчасно виявляти і усувати перевищення нормативів. Використання сучасних матеріалів і технологій, таких як ізоляційні покриття з підвищеними захисними властивостями, сприятиме зменшенню витоків струму і впливу електричних полів на довкілля. При плануванні та прокладанні електромереж рекомендується враховувати розташування природних зон та місць проживання дикої фауни, уникаючи їх пошкодження чи фрагментації.

Крім того, впровадження альтернативних і відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітрові установки, може значно знизити екологічне навантаження, зменшуючи залежність від традиційних електричних мереж. Планування енергоефективних режимів роботи обладнання дозволить знизити споживання електроенергії і відповідно зменшити рівень електромагнітного поля. Всі ці заходи у сукупності сприятимуть створенню безпечного і екологічно збалансованого середовища на території фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро», зберігаючи здоров'я людей і природні ресурси.

Висновки. Впровадження комплексних заходів із модернізації системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» дозволить мінімізувати негативний вплив на людину та навколишнє середовище, забезпечуючи безпеку і сталий розвиток виробництва.

9. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Ефективне функціонування фруктосховища безпосередньо залежить від надійності та енергоефективності його електрифікації, а також від стабільної підтримки оптимальних мікрокліматичних умов для зберігання продукції. У зв'язку з цим реконструкція системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» є актуальним заходом, спрямованим на підвищення загальної енергоефективності об'єкта, скорочення втрат електроенергії та забезпечення більш точного і надійного контролю умов зберігання.

Існуюча система електропостачання є технічно застарілою, морально й фізично зношеною, що призводить до нестабільної роботи обладнання, частих відключень та додаткових витрат на обслуговування. Окрім того, відсутність сучасної системи автоматичного керування мікрокліматом унеможливує підтримання оптимального температурно-вологісного режиму, що негативно впливає на збереження фруктів та знижує економічну доцільність зберігання продукції протягом тривалого періоду.

Запропонована реконструкція передбачає заміну застарілих елементів електромережі, впровадження нових, енергоощадних пристроїв та розробку системи автоматизованого керування мікрокліматом на основі традиційних засобів автоматики. Економічне обґрунтування даного заходу дозволяє визначити доцільність інвестицій, розрахувати термін окупності, обґрунтувати очікуване зменшення експлуатаційних витрат та оцінити загальний ефект від модернізації як у технічному, так і в фінансовому аспектах [26].

Таблиця 9.1. – Капіталовкладення в реконструкцію

№ з/п	Найменування обладнання	Кількість	Орієнтовна ціна за одиницю (грн)	Загальна вартість (грн)
1	Вентилятор В-Ц4-75-12,5 з електродвигуном АИР63В6У1	4	25000	100000
2	Калорифер СФОЦ-25/0,5	4	12000	48000

3	Електромагнітний пускач АСКО ПМ 0-06-01 380В	4	1200	4800
4	Теплове реле РТ-1306	4	900	3600
5	Розподільчий пристрій СПМ99-9-21У3	1	15000	15000
6	Ввідний рубильник ВР3237	1	2500	2500
7	Автоматичний вимикач ВА-2017/С АСКО УКРЕМ	1	1500	1500
8	Апаратура для системи автоматизації мікроклімату (кнопки, датчики, реле, витратні матеріали)	комплект	20000	20000
9	Кабель ВВГ (5x25), м	10	150	1500
10	Кабель ВВГ (4x1,5), м	25	30	750
11	КТП 10/0,4 кВ з трансформатором ТМГ-100	1	93030	93030
12	Опора залізобетонна СВ	12	1800	21600
13	Провід АС16, м	40	20	800
14	Провід АС25, м	210	25	5250
15	Провід АС35, м	40	30	1200
16	Провід АС50, м	30	35	1050
	Разом			320580

Економія електричної енергії за рік [26]:

$$E_{\varepsilon} = W \cdot C \cdot P; \quad (9.1)$$

$$E_{\varepsilon} = 140000 \cdot 12 \cdot 0,07 = 117600 \text{ грн / рік.}$$

Термін окупності [26]:

$$T_o = \frac{K}{E_{\varepsilon}}. \quad (9.2)$$

$$T_o = \frac{320580}{117600} \approx 2,7 \text{ роки.}$$

Таблиця 9.2 – Зведені показники економічної ефективності реконструкції системи електрифікації фруктосховища

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Обсяг використаної електроенергії за рік, кВт·год	140000	126000
Вартість електричної енергії за тарифом, грн/кВт·год	12,00	12,00
Щорічні фінансові витрати на спожиту електроенергію, грн	1680000	1512000
Зменшення фінансових витрат, грн/рік	–	117600
Процентне зменшення енергоспоживання, %	–	7
Капіталовкладення, грн	–	320580
Термін окупності, роки	–	2,7

Висновки. Проведений аналіз економічної ефективності реконструкції системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» Сумського району Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування мікрокліматом підтверджує доцільність запланованих технічних заходів. Завдяки впровадженню енергоефективного обладнання та автоматизації процесів зберігання вдалося досягти зменшення щорічного енергоспоживання з 140 тис. до 126 тис. кВт·год, що відповідає економії електроенергії на рівні 7%.

Це дозволило знизити щорічні фінансові витрати на оплату електроенергії на 117 600 грн. За умови капіталовкладень у розмірі 320580 грн строк окупності реконструкції становить 2,7 роки, що свідчить про високий рівень економічної доцільності проекту. Таким чином, запропоновані заходи не лише забезпечують надійну та безпечну роботу електросистеми, а й сприяють зменшенню експлуатаційних витрат та покращенню загальної енергоефективності підприємства..

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено комплексне рішення з реконструкції системи електрифікації фруктосховища ПСП «Слобожанщина Агро» Сумського району Сумської області з упровадженням автоматизованого керування мікрокліматом. На основі аналізу встановлено, що існуюча система електропостачання є технічно та морально застарілою: пошкоджена ізоляція провідників, забруднення електропроводки, відсутність належного захисту та часті аварійні відключення свідчать про її невідповідність сучасним вимогам безпеки, енергоефективності та надійності.

Проаналізовано конструкцію приміщень, визначено технологічні параметри зберігання фруктів та сформульовано вимоги до мікрокліматичних умов. Оптимальні значення температури в межах $0...+2$ °С, відносної вологості повітря 90–95 % та контрольованої вентиляції забезпечують тривале зберігання продукції без втрати якості. Було здійснено добір необхідного електротехнічного обладнання з урахуванням умов експлуатації, навантаження та вимог до автоматизації. Вибране обладнання забезпечує надійну роботу тепловентиляційної системи та мікрокліматичного контролю без використання мікропроцесорної техніки, що спрощує обслуговування. Встановлення комплектної трансформаторної підстанції потужністю 100 кВА, оновлення внутрішньої електромережі та монтаж сучасних теплогенеруючих і вентилюючих установок дозволили оптимізувати електроспоживання.

За результатами проведених розрахунків доведено економічну доцільність реконструкції: споживання електроенергії зменшилося на 14000 кВт·год за рік, що забезпечило щорічну економію в розмірі 117600 грн. Загальний обсяг капіталовкладень склав 320580 грн, а термін окупності становить 2,7 роки.

Таким чином, запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення енергоефективності, надійності та безпеки функціонування фруктосховища, покращують умови зберігання продукції та сприяють зниженню експлуатаційних витрат підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яковлев В.Ф., Мунтян В.О., Куценко Ю.М., Коваль Д.М., Ільїн. Проектування систем електропостачання в АПК. Принципи побудови СЕП. Навчальний посібник – Мелітополь: «Люкс», 2007.– 178с.
3. Мазур, В. А., Поліщук І. С., Телекало, Н. В., & Мордванюк, М.О. (2020). *Рослинництво*. Вінниця: ТОВ «Друк».
4. Addverb Technologies. (2023). Cold storage warehouse automation. Addverb Technologies. <https://addverb.com/industry/cold-storage-automation/>.
5. Подпратов, Г. І., Рожко, В. І., & Скалецька, Л.Ф. (2018). *Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва*. Київ: Аграрна освіта.
6. Іванов І. П. Автоматизація мікроклімату у фруктосховищах / І. П. Іванов, О. В. Петренко // Технічний збірник аграрної інженерії. – 2020. – Вип. 12. – С. 45–52.
7. Коваленко С. М. Сучасні системи контролю температури і вологості в овочесховищах / С. М. Коваленко, Н. І. Шевченко // Енергозбереження та автоматизація в сільському господарстві. – 2019. – № 3. – С. 33–38.
8. Мельник В. І. Розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом для зберігання фруктів / В. І. Мельник // Вісник Харківського національного аграрного університету. – 2021. – Вип. 7. – С. 58–64.
9. Semenov, A., Кожушко, Г. М., & Сахно, Т. В. (2019). Influence of UV radiation in pre-sowing treatment of seeds of crops. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(3(45)), 30–32. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.159954>.
10. Сидоренко Т. В. Автоматизація процесів вентиляції в овочесховищах / Т. В. Сидоренко, М. П. Гончаренко // Збірник наукових праць з агротехніки. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 22–29.
11. Moumni, M., Brodal, G., & Romanazzi, G. (2023). Recent innovative seed treatment methods in the management of seedborne pathogens. *Food Security*, 15(5), 1365–1382. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01384-2>.

12. Литвиненко О. Ю. Інтелектуальні системи керування мікрокліматом у фруктосховищах / О. Ю. Литвиненко // Автоматизація та управління в агропромисловому комплексі. – 2022. – № 4. – С. 15–21.
13. Царенко, О. М., Войтюк, Д. Г., & Швайко, В. М.. (2023). *Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів*. Київ: Мета.
14. Occhiuzzi, C., Camera, F., D'Orazio, M., D'Uva, N., Amendola, S., Bianco, G. M., Miozzi, C., Garavaglia, L., Garofalo, G., & Marrocco, G. (2022). Automatic monitoring of fruit ripening rooms by UHF RFID sensor network and machine learning. *Sensors*, 22(8), 2921. <https://doi.org/10.3390/s22082921>.
15. Wang, C. (2024). Intelligent agricultural greenhouse control system based on Internet of Things and machine learning. *Sensors*, 24(4), 1186. <https://doi.org/10.3390/s24041186>.
16. Morcego, B., Yin, W., Boersma, S., van Henten, E., Puig, V., & Sun, C. (2023). Reinforcement learning versus model predictive control on greenhouse climate control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207, 107824. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107824>
17. Basa, J. J. A., Cu, P. L. G., Malabag, N. N., Naag, L. A. V., Abacco, D. F. P., Siquihod, M. J. M., Madrigal, G. A., & Tolentino, L. K. S. (2019). Smart inventory management system for photovoltaic-powered freezer using wireless sensor network. *Sensors*, 19(22), 4932. <https://doi.org/10.3390/s19224932>.
18. Polygon Group. (2020). Climate control for storage of harvested produce. Polygon Group Blog. <https://www.polygongroup.com/en-US/blog/food-storage-blog-3/>.
19. Мартиненко, І. І, Лисенко, В. П., Тищенко, Л. П., Болбот, І. М., & Олійник, П. В. (2008). *Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК*. Київ: НМЦ Мін-ва аграрної політики України.
20. Квітка, С. О., & Постнікова, М. В. (2018). *Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка пуско-захисної апаратури*. Мелітополь: ТДАТУ.
21. АСКО-УКРЕМ – Українська електротехнічна корпорація. Каталог продукції. (2023). Вилучено із: https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/.

22. Семерня О.В., Василенко О. О., Хворост Т.В., Кіндя О. П. 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.

23. Пожарова О. В. Охорона праці : навчальний посібник / О. В. Пожарова. - Одеса, 2022. - 86 с. Режим доступу: <https://doi.org/10.32837/11300.18442>.

24. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р. (Редакція станом на 20.01.2018).

25. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНПАОП 0.00–1-1.21-98. К.: АТ «Київська книжкова фабрика».

26. Журило, І. В., & Полтавець, М. М. (2017). *Економіка та організація виробництва: Методичні вказівки до вивчення курсу для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*. Кропивницький: ЦНТУ.

ДОДАТКИ