

**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 зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» м. Обухів Київської області з розробкою системи автоматизації керування обробкою зерна для подальшого використання»

Виконала:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Волкогон Я. М.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ГЕЕ 2201 с.т.

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Сіренко Ю. В.

(Прізвище, ініціали)

**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**

\_\_\_\_\_ Волкогону Ярославу Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Реконструкція системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» м. Обухів Київської області з розробкою системи автоматизації керування обробкою зерна для подальшого використання»,

керівник роботи: \_\_\_\_\_ Сіренко Юлія Володимирівна, PhD, доцент

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “09” грудня 2024 року № 4057/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. Аналіз виробничо-господарської діяльності ТОВ «СПЕКТР-АГРО»

2. Технологічна частина

3. Розрахунок та вибір силових електроприймачів

4. Розробка системи автоматизації керування обробкою зерна для подальшого використання

5. Розробка силової електричної мережі

6. Охорона праці

7. Екологічна експертиза

8. Економічне обґрунтування

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Лінія обробки зерна для подальшого використання. Технологічне та електросилове обладнання. Схема електрична розташування.

2. Лінія обробки зерна для подальшого використання. Мережа розподільча електросилова. Схема електрична принципова.

3. Лінія обробки зерна для подальшого використання автоматизована. Схема електрична принципова.

4. Лінія обробки зерна для подальшого використання автоматизована. Шафа керування. Схема електрична з'єднань.

5. Лінія обробки зерна для подальшого використання автоматизована. Схема електрична підключень.

6. 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 розділу 1 та 2	02.12.2024 р. – 27.12.2024 р.	
6.	Підготовка розділу 3 та 4. Підготовка листів 1 та 2 графічної частини.	03.02.2025 р. – 28.02.2025 р.	
7.	Підготовка розділу 5 та 6. Підготовка листів 3 та 4 графічної частини.	03.03.2025 р. – 28.03.2025 р.	
8.	Підготовка розділів 7 та 8. Підготовка листа 5, 6 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)

**Волкогон Я. М.**  
(прізвище та ініціали)

Керівник  
кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Сіренко Ю. В.**  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Волкогон Ярослав Миколайович.** Реконструкція системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» м. Обухів Київської області з розробкою системи автоматизації керування обробкою зерна для подальшого використання.

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 реконструкцію системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» міста Обухів Київської області з розробкою системи автоматизації керування обробкою зерна для подальшого використання.

Робота включає опис технології сушіння та зберігання зерна з використанням активного вентилявання у бункерах, аналіз виробничого майданчика, вибір і розрахунок силових електроприймачів, а також розробку електричних схем силових та керувальних ланцюгів.

Застосовано електродвигуни серії АИР різної потужності та електричний повітрянагрівач Aerostar SEN 60-30/36. Розроблена система автоматизації побудована на основі релейно-контакторної логіки, що забезпечує надійність і простоту керування.

Проведено економічне обґрунтування проєкту, яке підтвердило ефективність впровадження за рахунок зниження електроспоживання та скорочення витрат. Запропоновані заходи сприяють підвищенню технологічної ефективності підприємства, покращенню умов праці та зниженню експлуатаційних витрат.

**Ключові слова:** електрифікація, автоматизація, зернопункт, вентилявання, сушіння зерна, зберігання, електродвигун, повітрянагрівач, економічна ефективність, система керування.

## ABSTRACT

**Volkohon Yaroslav Mykolaiovych.** Reconstruction of the electrification system of the grain terminal of SPECT-AGRO LLC in Obukhiv, Kyiv region, with the development of an automated grain processing control system for further use.

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.

This qualification work examines the reconstruction of the electrical system at the grain handling facility of SPEKTR-AGRO LLC, located in Obukhiv, Kyiv region, with the development of an automation system for grain processing for further use.

The work includes a description of the grain drying and storage technology using active aeration in bunkers, analysis of the production site, selection and calculation of power receivers, as well as the development of power and control circuit diagrams.

Electric motors of the AIR series with various power ratings and the Aerostar SEH 60-30/36 electric air heater have been applied. The developed automation system is based on relay-contactor logic, ensuring reliability and ease of control.

An economic assessment of the project was carried out, confirming the effectiveness of the proposed implementation through reduced power consumption and cost savings. The proposed measures contribute to increased technological efficiency of the enterprise, improved working conditions, and reduced operational expenses.

**Keywords:** electrification, automation, grain handling facility, aeration, grain drying, storage, electric motor, air heater, economic efficiency, control system.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВ «СПЕКТР-АГРО»</b> .....	9
1.1. Загальна інформація про ТОВ «СПЕКТР-АГРО».....	9
1.2. Кліматичні умови м. Обухів.....	10
1.3. Аналіз існуючого стану системи електрифікації.....	11
1.4. Висновки та пропозиції.....	12
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	14
2.1. Опис технології сушіння та зберігання зерна на підприємстві .....	14
2.2. Опис виробничого майданчика .....	15
2.3. Паспортні дані бункерів для вентилявання .....	16
2.4. Технологічні вимоги до системи електрифікації.....	17
<b>3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ</b> .....	19
3.1. Вибір електродвигунів для системи обробки зерна .....	19
3.2. Перевірочні розрахунки потужності електроприводів .....	20
3.3. Вибір повітряних нагрівачів .....	26
3.4. Розробка схеми розташування силових електроприймачів .....	27
<b>4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ОБРОБКОЮ ЗЕРНА ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ</b> .....	28
4.1. Короткий опис технологічного процесу .....	28
4.2. Технологічні вимоги до системи автоматизації .....	29
4.3. Розробка функціональної електричної схеми.....	30
4.4. Розробка та опис принципової електричної схеми керування.....	32
4.5. Розробка схеми з'єднання.....	35
4.6. Розробка схеми підключень.....	35
<b>5. РОЗРОБКА СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ</b> .....	36
5.1. Визначення схеми живлення для силового електротехнічного обладнання.....	36
5.2. Визначення розрахункових струмів електроприймачів .....	37

	7
5.3. Вибір автоматичних вимикачів .....	38
5.4. Вибір магнітних пускачів .....	40
5.5. Вибір марки і перерізу проводів і кабелів .....	41
<b>6. ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>43</b>
<b>7. ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА .....</b>	<b>47</b>
<b>8. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....</b>	<b>50</b>
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>53</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>54</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>57</b>

## ВСТУП

Агропромисловий комплекс є одним із ключових секторів економіки України, який забезпечує продовольчу безпеку держави, стабільні валютні надходження та робочі місця для мільйонів громадян. У цьому контексті особливе значення має ефективне функціонування інфраструктури з післязбиральної обробки, зберігання та підготовки зерна до реалізації або подальшої переробки. Одним із головних завдань сучасного зернопункту є забезпечення безперебійної та якісної обробки зернових культур, що включає етапи очищення, сушіння, сортування та зберігання продукції.

ТОВ «СПЕКТР-АГРО», що знаходиться в м. Обухів Київської області, виконує важливу функцію зі збирання, підготовки та зберігання зерна від сільськогосподарських виробників регіону. У зв'язку з розширенням виробничих потужностей, підвищенням обсягів заготівлі продукції, а також з метою зниження енергоспоживання та підвищення рівня автоматизації технологічних процесів, виникла необхідність у комплексній реконструкції системи електрифікації об'єкта. Крім того, актуальним є впровадження сучасної системи автоматизованого керування процесами сушіння та зберігання зерна, що дозволить забезпечити стабільну якість продукції, мінімізувати втрати та знизити вплив людського фактору.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технічного рішення з реконструкції системи електропостачання зернопункту та впровадження інноваційної автоматизованої системи керування обробкою зерна. У межах роботи передбачено аналіз існуючого стану електричної мережі підприємства, вибір оптимальної схеми модернізації з урахуванням технічних вимог, а також створення функціональної та надійної системи автоматизації, яка охоплюватиме ключові етапи технологічного циклу: від надходження сировини до її зберігання.

# 1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВ «СПЕКТР-АГРО»

## 1.1. Загальна інформація про ТОВ «СПЕКТР-АГРО»

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «СПЕКТР-АГРО» – це сучасне багатoproфільне підприємство аграрного сектору, зареєстроване та діюче на території України. Компанія здійснює свою господарську діяльність у м. Обухів Київської області, активно працюючи в напрямку агропромислової торгівлі, логістики, постачання техніки та супроводу сільськогосподарських виробників.

Керівництво підприємством здійснюють уповноважені представники – Лобач Володимир Петрович та Мельніченко Марина Олегівна. Завдяки професійному менеджменту та комплексному підходу до ведення бізнесу, ТОВ «СПЕКТР-АГРО» стабільно розвивається, розширюючи напрями своєї діяльності та географію присутності на українському аграрному ринку.

Основними видами економічної діяльності компанії є:

- посередницькі операції у сфері торгівлі сільськогосподарською продукцією, текстильною сировиною та напівфабрикатами;
- гуртова торгівля зерном, кормами, насінням, необробленим тютюном;
- оптове постачання молочних продуктів, яєць, харчових жирів та олій;
- гуртова реалізація цукру, шоколаду та кондитерських виробів;
- продаж сільськогосподарської техніки та спеціалізованого обладнання;
- роздрібна торгівля в сегменті садівництва, включаючи квіти, добрива, насіння та корми;
- складське зберігання та логістичне обслуговування агропродукції;
- окремі види фінансового посередництва;

- вирощування зернових та бобових культур, а також насіння олійних культур;
- виконання допоміжних робіт у сфері рослинництва.

ТОВ «СПЕКТР-АГРО» є важливим партнером для фермерських господарств, агрофірм і компаній, які працюють у суміжних галузях. Завдяки наявності власної інфраструктури, зокрема зерноховищ і технічних потужностей для первинної обробки продукції, підприємство має можливість забезпечити повний цикл від постачання ресурсів до реалізації готового продукту.

## **1.2. Кліматичні умови м. Обухів**

Місто Обухів, розташоване на південь від Києва, характеризується помірно континентальним кліматом, типовим для центральної частини України. Такий клімат вирізняється м'якою зимою та теплим літом, що створює сприятливі умови для ведення сільського господарства та зберігання агропродукції.

Середньорічна температура повітря становить близько  $+8,6$  °С. У зимовий період, зокрема в січні, середні температури опускаються до  $-3...-5$  °С, тоді як у липні – найтеплішому місяці року – показники досягають  $+19...+21$  °С. Річна кількість опадів коливається в межах 500–650 мм, при цьому найбільше зволоження припадає на літній період (особливо в червні та липні), а найменше – взимку. Відносна вологість повітря протягом року становить у середньому 73 %, підвищуючись у холодну пору року до 80–90 % і знижуючись влітку до 65 %.

Вітровий режим переважно стабільний, середня швидкість вітру сягає 2,5 м/с, що не створює серйозних загроз для польових робіт, проте в окремі періоди можливі локальні суховії. Кількість сонячного сьйва в регіоні становить близько 1900–1930 годин на рік, що забезпечує повноцінний вегетаційний період для більшості сільськогосподарських культур.

Кліматичні умови м. Обухів загалом сприятливі для вирощування зернових, бобових та олійних культур. Проте сезонна нерівномірність опадів і підвищена вологість у міжсезоння вимагають особливої уваги до організації процесів сушіння та зберігання зерна. Це зумовлює актуальність створення ефективної системи електрифікації та автоматизованого керування обробкою зерна на підприємствах, що працюють у цьому регіоні.

### **1.3. Аналіз існуючого стану системи електрифікації**

На даний час зернопункт ТОВ «СПЕКТР-АГРО» підключений до зовнішньої електромережі через комплектну трансформаторну підстанцію типу КТП 10/0,4 кВ №130, яка оснащена двома трансформаторами номінальною потужністю по 250 кВА кожен. Сама КТП-130 отримує живлення від розподільчої трансформаторної підстанції напругою 35/10 кВ по повітряній лінії електропередачі 10 кВ, що забезпечує надійне енергозабезпечення об'єкта в рамках встановлених технічних умов.

Подача електроенергії до приміщень зернопункту здійснюється кабельною лінією, виконаною кабелем типу АВББШВ з чотирма алюмінієвими жилами перерізом 90 мм<sup>2</sup>. Довжина цієї лінії становить 43 метри. Внутрішнє електропостачання реалізоване через силову мережу з напругою 380/220 В, яка прокладена відкрито та в трубах із використанням провідників типу АПВ з алюмінієвими жилами. Стан електропроводки оцінюється як задовільний, однак вона частково застаріла морально та технічно.

На підприємстві всі основні технологічні процеси, пов'язані з обробкою та переміщенням зерна, електромеханізовані. Проте керування машинами здійснюється вручну – через кнопкові пульти, що вказує на низький рівень автоматизації. У складі приводів використовуються асинхронні електродвигуни серії 4А з короткозамкненим ротором, які мають добру надійність, однак морально застаріли.

Комутаційна апаратура складається переважно з електромагнітних пускачів серій ПМЕ та ПМЛ, які відповідають базовим вимогам експлуатації, проте не забезпечують гнучкого керування та потребують оновлення. Захист електричних кіл від коротких замикань реалізовано за допомогою автоматичних вимикачів типів АП-50 та ВА51. Водночас захист від перевантажень забезпечується тепловими реле РТ, що також є конструктивно застарілими й обмеженими за функціональністю.

Таким чином, хоча існуюча система електропостачання забезпечує базову працездатність усіх споживачів і відповідає нормативам безпеки, вона потребує технічної модернізації. Особливо актуальним є впровадження автоматизованого керування технологічними процесами, оновлення захисної апаратури та оптимізація системи електроприводу з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності та надійності..

#### **1.4. Висновки та пропозиції**

Проведений аналіз існуючого стану системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» показав, що електропостачання об'єкта в цілому задовольняє базові вимоги до забезпечення енергією технологічного обладнання. Зовнішнє живлення через КТП-130 та кабельне підключення до внутрішньої мережі забезпечують стабільну подачу електроенергії. Внутрішні мережі та електропроводка перебувають у задовільному технічному стані, проте мають обмежену адаптивність до змін технологічних навантажень.

Водночас наявне обладнання для керування й захисту силових електричних кіл, зокрема пускачі та теплові реле, є морально застарілим і не відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, надійності та безпеки. Крім того, ручна система керування технологічними процесами не дозволяє оперативно реагувати на зміни виробничого середовища, що призводить до додаткових витрат часу, енергії та людських ресурсів.

У зв'язку з цим доцільно реалізувати заходи з модернізації системи електропостачання та впровадження автоматизованого керування процесами обробки зерна. До основних пропозицій належить:

- заміна застарілих пускачів і теплових реле на сучасні пристрої з функцією дистанційного моніторингу й захисту;

- впровадження автоматизованої системи керування, що забезпечить гнучке та ефективне керування роботою електродвигунів і технологічного обладнання;

- часткова реконструкція внутрішніх електричних мереж із використанням мідних провідників і сучасних кабельних систем;

- застосування енергозберігаючих технологій для зниження навантаження на трансформатори та мережу загалом.

Реалізація вищезазначених рішень дозволить підвищити ефективність використання електроенергії, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільну роботу зернопункту в умовах зростаючого виробничого навантаження.

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Опис технології сушіння та зберігання зерна на підприємстві

На зернопункті ТОВ «СПЕКТР-АГРО», розташованому в м. Обухів Київської області, обробка зерна для подальшого використання передбачає його сушіння та зберігання в умовах, що забезпечують збереження якості зернової продукції протягом усього періоду зберігання. Основна технологія обробки зерна на підприємстві полягає в активному вентиляванні зернової маси у спеціалізованих бункерах (рис. 2.1), що дозволяє ефективно знижувати вологість зерна та підтримувати його в належному стані [1-4].

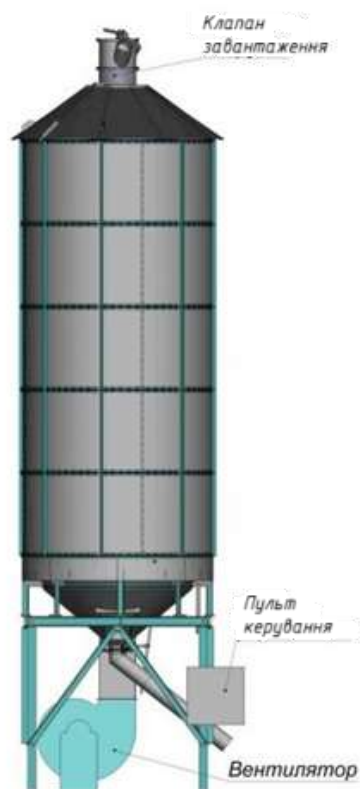


Рис. 2.1. Спеціалізований бункер для активного вентилявання зерна

Активне вентилявання здійснюється шляхом подачі атмосферного або попередньо підігрітого повітря через зернову масу за допомогою вентиляторів, які підключаються до систем повітропроводів, розташованих під бункерами. Така технологія дозволяє рівномірно осушувати зерно, запобігаючи розвитку

мікрофлори та виникненню самозігрівання зернової маси. Контроль температури та вологості здійснюється як у повітряному потоці, так і безпосередньо в зерні за допомогою спеціальних датчиків.

Сушіння зерна проводиться в основному в перехідний період після збирання врожаю, коли зерно надходить з підвищеною вологістю. Після досягнення необхідних параметрів вологості, зерно залишається на зберігання у бункерах або складах силосного типу. Під час зберігання періодично повторюється вентилявання для підтримання стабільного мікроклімату.

Вся технологія орієнтована на мінімізацію енерговитрат та забезпечення високої якості кінцевого продукту. У зв'язку з цим актуальною є задача автоматизації процесів сушіння та зберігання зерна з метою оптимізації режимів роботи вентиляторів, зменшення втручання персоналу та підвищення ефективності енергоспоживання.

Сушильна та вентиляційна лінія для обробки зерна на підприємстві ТОВ «СПЕКТР-АГРО» складається з двох бункерів моделі БВ-25 [5].

## **2.2. Опис виробничого майданчика**

Виробничий майданчик зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» розташований на території підприємства та призначений для приймання, сушіння, зберігання та попередньої підготовки зернової продукції до подальшого використання. Основні елементи інфраструктури майданчика включають зерноприймальні механізми, бункери для активного вентилявання, транспортне обладнання, системи контролю мікроклімату, а також допоміжні технічні засоби.

Бункери для активного вентилявання розміщені на відкритому майданчику під навісом, що забезпечує їх захист від атмосферних опадів та прямих сонячних променів. Така конструкція сприяє зменшенню впливу зовнішніх факторів на зернову масу, а також створює умови для безперервного доступу повітря до вентиляторних систем. Навіс виготовлений зі сталевих

конструкцій з покриттям з профнастилу або аналогічного матеріалу, що забезпечує довговічність і стійкість до корозії.

Поверхня майданчика має тверде покриття (бетон або щільно утрамбований щебінь), що дозволяє здійснювати зручний доступ техніки та персоналу для обслуговування обладнання. Поряд із бункерами розміщені електротехнічні шафи, до яких підключені вентилятори та елементи системи автоматизованого керування. Для забезпечення електропостачання використовуються підземні та надземні кабельні лінії, прокладені відповідно до вимог електробезпеки [6, 7].

Виробничий майданчик спроектований з урахуванням логістичних потреб підприємства, що дозволяє ефективно організувати потоки зерна, транспортних засобів та обслуговуючого персоналу. Всі технологічні процеси на майданчику інтегруються в загальну схему обробки зерна та підлягають подальшій автоматизації для підвищення надійності та продуктивності роботи зернопункту.

### 2.3. Паспортні дані бункерів для вентилявання

Для активного вентилявання зерна на зернопункті ТОВ «СПЕКТР-АГРО» використовуються бункери типу БВ-25, які є спеціалізованими ємностями для тимчасового зберігання та сушіння зерна шляхом подачі повітря через зернову масу. Інформація про технічні параметри бункерів наведена в табл. 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1. Технічні характеристики бункерів

Параметр	Значення
Тип бункера	БВ-25
Корисний об'єм	25 м <sup>3</sup>
Вантажність	16–18 тонн
Конструктивний матеріал	Сталеві листи з антикорозійним покриттям
Форма	Циліндрична з конусним дном
Висота	3,2 м

Діаметр	3,0 м
Вага порожнього бункера	1200 кг
Вентиляційна система	Нижня решітка, підключена до вентиляторів
Обладнання	Люки для огляду, система відведення конденсату, кріплення для датчиків температури та вологості

Таблиця 2.2. Інформація про електричне обладнання бункерів та його потужність

Елемент електрообладнання	Технічні характеристики	Електрична потужність
Вентилятор ВЦ	1 шт.	5,5 кВт
Електрокалорифер	1 шт.	36 кВт
Система автоматичного керування	Датчики температури та вологості	Енергоспоживання контролерів – до 0,5 кВт
Електричне живлення	Трифазна мережа 380 В, 50 Гц	Загальна максимальна потужність – до 42 кВт

#### 2.4. Технологічні вимоги до системи електрифікації

Система електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» повинна забезпечувати безперебійне та надійне живлення всього технологічного обладнання, зокрема вентиляторів для активного вентилявання бункерів, систем автоматичного керування, освітлення виробничого майданчика та допоміжних пристроїв.

Основні технологічні вимоги до системи електрифікації включають:

– система повинна гарантувати безперервне електропостачання з резервуванням живлення для критично важливих елементів (вентилятори, автоматика);

– всі електричні компоненти повинні бути вибрані з урахуванням оптимального співвідношення потужності та енергоспоживання. Передбачаються засоби контролю та регулювання режимів роботи вентиляторів з метою зниження споживання електроенергії;

– система електрифікації повинна інтегруватися з автоматизованою системою керування сушінням та зберіганням зерна, що забезпечує дистанційний контроль і регулювання параметрів (температура, вологість, інтенсивність вентиляції);

– всі електричні мережі та обладнання повинні відповідати нормам електробезпеки та мати захист від коротких замикань, перевантажень, перенапруг, а також від впливу вологи і пилу;

– конструкція системи електрифікації повинна передбачати можливість розширення та модернізації без значних змін у існуючій інфраструктурі;

– всі елементи системи повинні відповідати діючим державним стандартам і технічним регламентам, зокрема щодо електробезпеки, енергозбереження та екологічних вимог.

Забезпечення виконання цих вимог дозволить підвищити ефективність роботи зернопункту, знизити ризики аварійних ситуацій і оптимізувати енергоспоживання під час сушіння та зберігання зерна.

### 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

#### 3.1. Вибір електродвигунів для системи обробки зерна

Вибір електродвигунів для системи обробки зерна ТОВ «СПЕКТР-АГРО» є важливим етапом реконструкції системи електрифікації, оскільки від їх технічних характеристик залежить ефективність і надійність роботи устаткування.

Електродвигуни повинні мати достатню потужність для забезпечення необхідного обсягу повітряного потоку вентиляторів, враховуючи пускові навантаження та тривалу роботу в номінальному режимі без перегріву. Оптимальним варіантом є асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які відзначаються надійністю, простотою конструкції та невибагливістю у обслуговуванні. Важливим технічним параметром є клас захисту не нижче IP54, що забезпечує захист від пилу і бризок води, зважаючи на умови експлуатації.

Система напруги живлення має бути 230/380 В змінного струму з частотою 50 Гц, що відповідає стандартам електропостачання підприємства. Електродвигуни повинні відповідати кліматичним умовам регіону і мати кліматичне виконання, наприклад УХЛ4 або відповідну категорію розміщення 3 за ДСТУ, що гарантує стабільність роботи при перепадах температур і вологості.

Для енергозбереження доцільно застосовувати двигуни з класом енергоефективності IE2 або вище. Частота обертання двигунів має становити 1500 або 3000 об/хв залежно від конструкції вентилятора і технологічних вимог. Крім того, двигуни повинні бути сумісні із системами автоматичного керування швидкістю, зокрема через частотні перетворювачі, що дозволить оптимізувати режим роботи і підвищити ефективність сушіння та зберігання зерна.

Таким чином, електросилове обладнання повинно відповідати комплексним вимогам: мати номінальну потужність, бути асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором, мати клас захисту не нижче IP54, працювати від мережі 230/380 В змінного струму, 50 Гц, відповідати

кліматичному виконанню УХЛ4 і категорії розміщення 3, володіти класом енергоефективності ІЕ2 або вище, забезпечувати частоту обертання 1500 або 3000 об/хв, бути сумісним із системою регулювання швидкості та гарантувати надійну і довготривалу експлуатацію в умовах зернопункту. [8, 9].

Результати вибору електродвигунів для системи вентилявання зернових із урахуванням наведених вимог показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. – Результати вибору електродвигунів [10]

Поз.	Призначення	Тип двигуна	Р, кВт	n, об/хв	ІР	Клімат. викон.	U, В
М1	Електропривід норії завантаження	АІР112МА6У3	3	1500	ІР54	УХЛ3	230/380
М2	Електропривід вентилятора	АІР112М4У3	5,5	1500	ІР54	УХЛ3	230/380
М3	Електропривід лебідки	АІР71В4У3	0,75	3000	ІР54	УХЛ3	230/380

### 3.2. Перевірочні розрахунки потужності електроприводів

Для забезпечення надійної та ефективної роботи електроприводів у системі обробки зерна необхідно виконати перевірочні розрахунки їхньої потужності. Це дозволяє впевнитися в достатності обраної потужності приводу для подолання сил опору, що виникають під час роботи обладнання. Розрахунок також дозволяє врахувати умови пуску, навантаження в робочому режимі та тривалість включення, що критично важливо для забезпечення стабільної експлуатації.

У даному підрозділі перевірка буде проведена на прикладі електропривода завантаження (М1) норії Н-25 (рис. 3.2), для якого попередньо обрано асинхронний електродвигун типу АІР112МА6У3 потужністю 3 кВт [8].

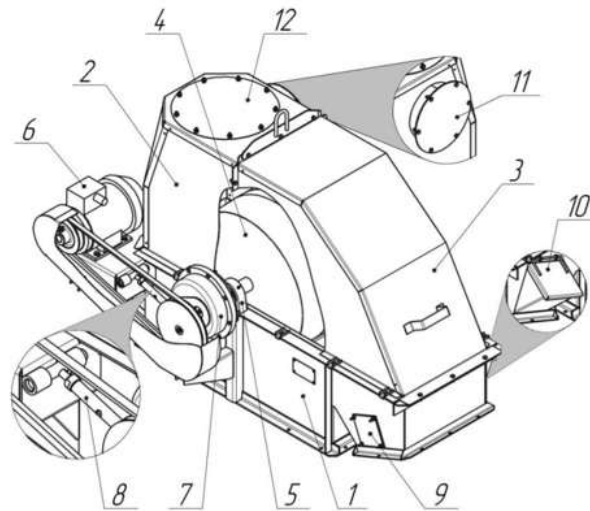


Рис. 3.2. – Привідна станція зернової норії типу Н-25:

1 – каркас; 2, 3 – кришка; 4 – барабан привідний; 5 – опора підшипникова;  
6 – електродвигун; 7 – редуктор; 8 – стяжка; 9 – місце для кріплення датчика  
переповнення; 10 – оглядовий люк; 11 – фланець системи аспірації; 12 –  
фланець вибухорозрядника.

Оціночну потужність електродвигуна, що забезпечує роботу норії типу Н-25, обчислюємо за відповідною формулою [8]:

$$P_{розр} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H \cdot 10^{-3}}{\eta_{заг}}, \quad (3.1)$$

де  $Q$  – паспортна продуктивність норії для подачі зерна в сушильний бункер, т/год;

$H$  – висота підйому зернової маси, м;

$\eta_{заг}$  – загальний коефіцієнт корисної дії агрегату.

Значення загального ККД для норії визначаємо за наступною залежністю:

$$\eta_{заг} = \eta_{ред} \cdot \eta_{пер}. \quad (3.2)$$

де  $\eta_{ред}$  – коефіцієнт корисної дії редуктора, що використовується у приводі норії; приймаємо 0,98;

$\eta_{пер.}$  – коефіцієнт ефективності роботи клинопасового механізму, який становить 0,93.

$$\eta_{заг} = 0,98 \cdot 0,93 = 0,91;$$

$$P_{розр} = \frac{9,81 \cdot 25000 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{0,91} = 2700 \text{ Вт.}$$

Підбір електроприводу для норії Н-25 здійснюється відповідно до співвідношення:

$$P_{ДВ} = P_{розр}, \quad (3.3)$$

де  $P_{ДВ}$  – номінальне значення потужності обраного електродвигуна, кВт.

Для реалізації приводу обираємо двигун типу АИР112МА6У3 з короткозамкненим ротором. Його технічні параметри:

$$P_H = 3000 \text{ Вт}, n_H = 970 \text{ об / хв.}; \eta_H = 0,83; \cos\varphi_H = 0,8; \mu_{II} = 2,2;$$

$$\mu_{min} = 1,6; \mu_{max} = 2,2 \quad [10].$$

Далі виконаємо перевірку відповідності двигуна вимогам запуску приводу. Така перевірка базується на критеріях, поданих у [8]:

$$M_{II} \geq M_{ЗР}, \quad (3.4)$$

де  $M_{II}$  – значення крутного моменту, який електродвигун може розвинути на момент пуску, за умови пониженої напруги в мережі, Н·м;

$M_{зр}$  – величина опору пуску, тобто моменту зсуву стрічки норії, Н·м.

Для визначення пускового моменту двигуна при ситуації зниження мережевої напруги застосовують наступний вираз [8]:

$$M_{п} = M_{н} \cdot \mu_{п} \cdot k_u^2, \quad (3.5)$$

де  $\mu_{п}$  – коефіцієнт, що визначає співвідношення пускового моменту до номінального для вибраного електродвигуна;

$k_u$  – поправочний коефіцієнт, що враховує зменшення напруги у мережі;

$M_{н}$  – номінальний обертовий момент електродвигуна, вимірюється у Н·м.

Розрахунок номінального моменту виконується за формулою:

$$M_{н} = \frac{P_{н} \cdot 10^3}{\omega_{н}}, \quad (3.6)$$

де  $\omega_{н}$  – кутова швидкість, рад/с.

$$\omega_{н} = \frac{\pi \cdot n_{н}}{30}, \quad (3.7)$$

де  $n_{н}$  – частота обертання валу двигуна в об/хв.

$$\omega_{н} = \frac{3,14 \cdot 1470}{30} = 153,9 \text{ рад / с};$$

$$M_{н} = \frac{3 \cdot 10^3}{153,9} = 19,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{п} = 19,5 \cdot 2,2 \cdot 0,9^2 = 34,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розрахунок моменту опору стрічки виконується згідно з [8], використовуючи формули:

$$M_{зр} = (0,2 \dots 0,3) M_{OH}; \quad (3.8)$$

$$M_{зр} = 0,3 \cdot M_{OH}, \quad (3.9)$$

де  $M_{OH}$  – момент опору приводу при номінальній швидкості обертання, Н·м.

$$M_{OH} = \frac{P_{розр}}{\omega_{ном}}; \quad (3.10)$$

$$M_{OH} = \frac{2700}{153,9} = 17,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{зр} = 0,3 \cdot 17,5 = 5,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, для подолання опорів на початковому етапі запуску приводу необхідно забезпечити момент не менше ніж 5,3 Н·м.

Тоді

$$34,7 \text{ Н} \cdot \text{м} > 5,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Оскільки значення, визначене за формулою (3.4), задовольняє умові, можна зробити висновок, що обраний електродвигун забезпечує достатній пусковий момент для надійного запуску норії.

Виконаємо оцінку електродвигуна, встановленого на приводі норії, щодо його здатності працювати при перевантаженнях. Аналіз здійснюється згідно з критерієм [8]:

$$M'_{\max} \geq 1,1 \dots 1,2 \cdot M_{O\max}, \quad (3.11)$$

де  $M_{O\max}$  – граничний момент опору транспортної стрічки норії, Н·м;

$M'_{\max}$  – найбільший момент, який може створити електродвигун при зменшеній напрузі в мережі, Н·м.

$$M'_{\max} = M_H \cdot \mu_{\max} \cdot K_U^2, \quad (3.12)$$

де  $\mu_{\max}$  – Кратність найбільшого моменту, який може розвивати вибраний електродвигун, становить  $\mu_{\max} = 2,2$ .

$$M'_{\max} = 19,5 \cdot 2,2 \cdot 0,9^2 = 34,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Величина максимального моменту опору стрічки зернової норії:

Максимальне значення моменту опору стрічки зернової норії визначається за формулою:

$$M_{O\max} = M_{OH}. \quad (3.13)$$

Тоді

$$34,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 1,2 \cdot 17,5 = 21 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після проведених розрахунків отримано, що дана умова (3.11) дотримується.

Отже, обраний електродвигун для приводу зернової норії відповідає всім технічним критеріям і може бути застосований в умовах експлуатації обладнання.

### 3.3. Вибір повітряних нагрівачів

Для підігріву повітря, що буде продуватися через зерно, приймаємо до установки електричний повітрянагрівач типу Aerostar SEH 60-30/36, потужністю 36 кВт (рис. 3.3). Технічні характеристики калорифера наведено в таблиці 3.2.



Рис. 3.3. Електричний повітрянагрівач Aerostar SEH 60-30/36

Таблиця 3.2. – Технічні характеристики Aerostar SEH 60-30/36

Параметр	Значення
Модель	Aerostar SEH 60-30/36
Тип каналу	Для прямокутних каналів
Типорозмір каналу	600 × 300 мм
Тип нагрівача	Електричний
Номінальна потужність	36 кВт
Кількість секцій	12
Електроживлення	3~ 380 В, 50 Гц
Габаритні розміри	665 × 680 × 340 мм
Призначення	Нагрівання повітря у вентиляційних системах

### **3.4. Розробка схеми розташування силових електроприймачів**

Розробка схеми розташування силових електроприймачів є важливою частиною проектування системи електрифікації зернопункту, оскільки вона забезпечує наочне уявлення про просторову організацію електроспоживачів на виробничому майданчику та дозволяє оптимізувати прокладання електричних мереж. Силові електроприймачі – це основне електрообладнання, яке споживає значну частину електроенергії в процесі сушіння та зберігання зерна, тому їхнє правильне розміщення з урахуванням технічних і експлуатаційних вимог має першочергове значення.

На зернопункті ТОВ «СПЕКТР-АГРО» силові електроприймачі включають: електродвигун норії завантаження (М1), електродвигун вентилятора активного вентилявання (М2), електродвигун лебідки (М3), а також електричний повітрянагрівач Aerostar SEN 60-30/36. Усі ці прилади розташовані на відкритому майданчику під навісом, де встановлені бункери для сушіння та зберігання зерна. При розміщенні електроприймачів враховано зручність їх монтажу, експлуатаційне обслуговування, мінімізацію довжини кабельних трас, а також забезпечення умов електробезпеки.

Силові електроприймачі підключаються до відповідних силових щитів через кабельні лінії з урахуванням допустимих струмових навантажень. Всі кабельні траси прокладаються по зовнішніх стінах металевих або бетонних конструкцій із дотриманням норм захисту від механічних пошкоджень та впливу атмосферних чинників. Для кожного електроприймача передбачено окремий пусказахисний апарат у складі щита керування або пульта місцевого управління.

На основі розміщення обладнання виконано схему розташування силових електроприймачів у масштабі, яка слугує основою для прокладання електромереж та подальшого виконання монтажних робіт. Така схема забезпечує системність у розташуванні всіх електроспоживачів, оптимізує розміщення силових кабелів та сприяє підвищенню загальної надійності електропостачання технологічного обладнання.

## 4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ОБРОБКОЮ ЗЕРНА ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ

### 4.1. Короткий опис технологічного процесу

На рисунку 4.1 представлена принципова схема організації процесу сушіння та подальшого зберігання зерна з метою його наступного використання.

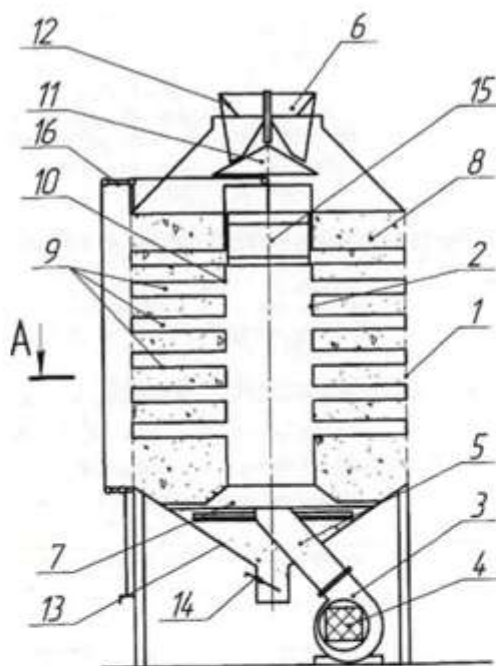


Рис. 4.1 – Технологічна схема лінії сушіння та вентиляції зерна в бункерах:

1 - зовнішній циліндр; 2- внутрішній циліндр; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – повтропідвідний пристрій; 6 – вузол подачі зерна; 7 – вузол виводу зерна; 8 – кільцевий простір; 9 – п’ятигранні коробки; 10 – плечики; 11 – конус; 12 – розподільний зернової маси; 13 – зворотній конус; 14 – шибера; 15 – клапан; 16 – тросо-балкова система.

При закритому положенні шибера 14 подача зерна здійснюється норією (не зображена на схемі) до завантажувального вузла, звідки воно надходить у кільцевий простір 8. Рівень насипу регулюється залежно від мети зберігання,

типу зернової культури та її вологості. Після повного завантаження бункера за допомогою тросо-балкової системи 16 клапан 15 опускають нижче рівня зерна, після чого запускають вентилятор 3.

Повітря, що подається вентилятором, проходить крізь отвори у внутрішньому циліндрі 2, надходить до п'ятигранних коробів і далі спрямовується в зернову товщу. Пронизуючи шар зерна, повітря виходить через перфоровану оболонку зовнішнього циліндра.

У процесі руху крізь електрокалорифер 4 повітря нагрівається, що зменшує його відносну вологість. Конструкція силосу передбачає два вологоміри: один встановлений у нижній або центральній частині зовнішнього циліндра і регулює запуск вентилятора, другий контролює вологість повітряного потоку та керує електрокалорифером. Окрім цього, система оснащена температурним датчиком для контролю зернової маси.

#### **4.2. Технологічні вимоги до системи автоматизації**

Система автоматизації обробки зерна на зернопункті ТОВ «СПЕКТР-АГРО» має відповідати комплексу технологічних вимог, що забезпечують безперервність, ефективність та безпеку виконання основних операцій – сушіння, вентилявання та зберігання зерна. Автоматизація дозволяє мінімізувати участь обслуговуючого персоналу, підвищити точність керування параметрами технологічного процесу, своєчасно реагувати на відхилення та запобігати аварійним ситуаціям [11, 12, 13].

Система автоматичного керування повинна забезпечувати стабільне підтримання заданих параметрів мікроклімату всередині бункерів, зокрема температури та вологості повітря, швидкості повітряного потоку, а також часу циклів вентилявання та сушіння. Необхідною умовою є наявність засобів вимірювання контролюючих параметрів – температурних датчиків, датчиків вологості, реле тиску, реле рівня та інших сенсорів [14].

Керування технологічним обладнанням повинно здійснюватися автоматично з можливістю ручного втручання або аварійного зупинення. До складу автоматизованих об'єктів входять: електроприводи вентиляторів, норій, лебідок, а також електричні повітрянагрівачі. Система повинна виконувати логічну послідовність увімкнення обладнання відповідно до обраного режиму обробки зерна, з урахуванням температурних умов і продуктивності процесу.

Крім цього, автоматизована система повинна мати функцію реєстрації основних параметрів та подій для подальшого аналізу, що дозволяє оптимізувати режими роботи та своєчасно виявляти відхилення. Обов'язковим є також дотримання вимог електробезпеки та електромагнітної сумісності, а апаратура управління повинна бути захищена від пилу, вологи та температурних коливань [15].

Таким чином, система автоматизації повинна бути надійною, енергоефективною, масштабованою, легкою в обслуговуванні та адаптованою до умов конкретного об'єкта з можливістю модернізації в майбутньому.

### **4.3. Розробка функціональної електричної схеми**

У автоматичному режимі система розподілу повітря функціонує за наступним алгоритмом (рис. 4.2). При запуску електроприводу M1, що відповідає за подачу зерна норією, одночасно подається напруга на привід M2, який піднімає клапан за допомогою лебідки. Рух заглушки вгору триває до моменту спрацювання кінцевого вимикача LS (SQ1), що зупиняє підйом.

Коли об'єм зерна досягає рівня, визначеного датчиком рівня LS (SL1), подача припиняється – норія M1 вимикається, і надходить команда на запуск приводу M2 для опускання клапана. Цей процес триває до торкання клапана зернової маси, після чого спрацьовує вимикач рівня LS (SQ2), розриває ланцюг живлення і зупиняє привід.

Контроль вологості повітря, яке виходить із бункера, здійснює вологомір MS (SM2). Оскільки вологість повітря корелює з вологістю зерна, цей датчик визначає момент переходу з режиму сушіння на режим зберігання (консервації). Водночас, інший вологомір MS (SM1), який відслідковує стан зовнішнього повітря, відповідає за активацію електрокалорифера з метою попереднього осушення повітря перед його подачею до зернової маси.

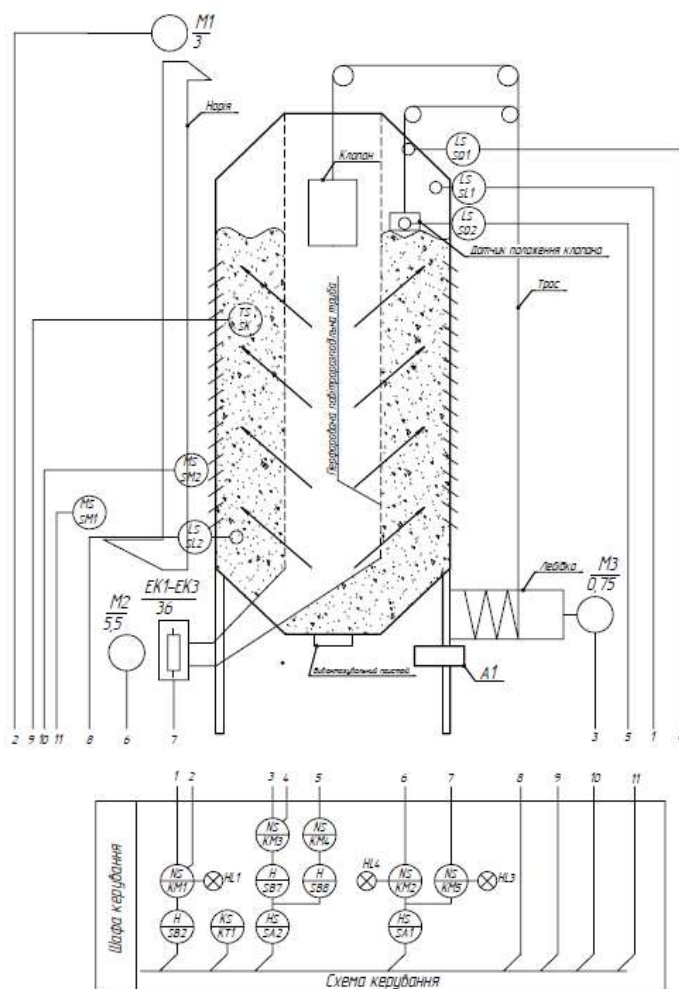


Рис. 4.2. Функціональна електрична схеми системи автоматизації керування обробкою зерна для подальшого використання

Умови запуску вентилятора М3 різняться в залежності від режиму. У режимі сушіння вентилятор активується при досягненні зерном допустимого рівня та за умови, що клапан занурено в масу (контроль виконує датчик LS (SL2)). У режимі консервації, при виявленні підвищеної температури

всередині зернової товщі, вентилятор МЗ автоматично вмикається завдяки сигналу від температурного сенсора TS (SK1).

#### 4.4. Розробка та опис принципової електричної схеми керування

Запропонована система автоматизованого управління дозволяє реалізувати як ручний, так і автоматичний режим функціонування технологічної лінії (рис. 4.3).

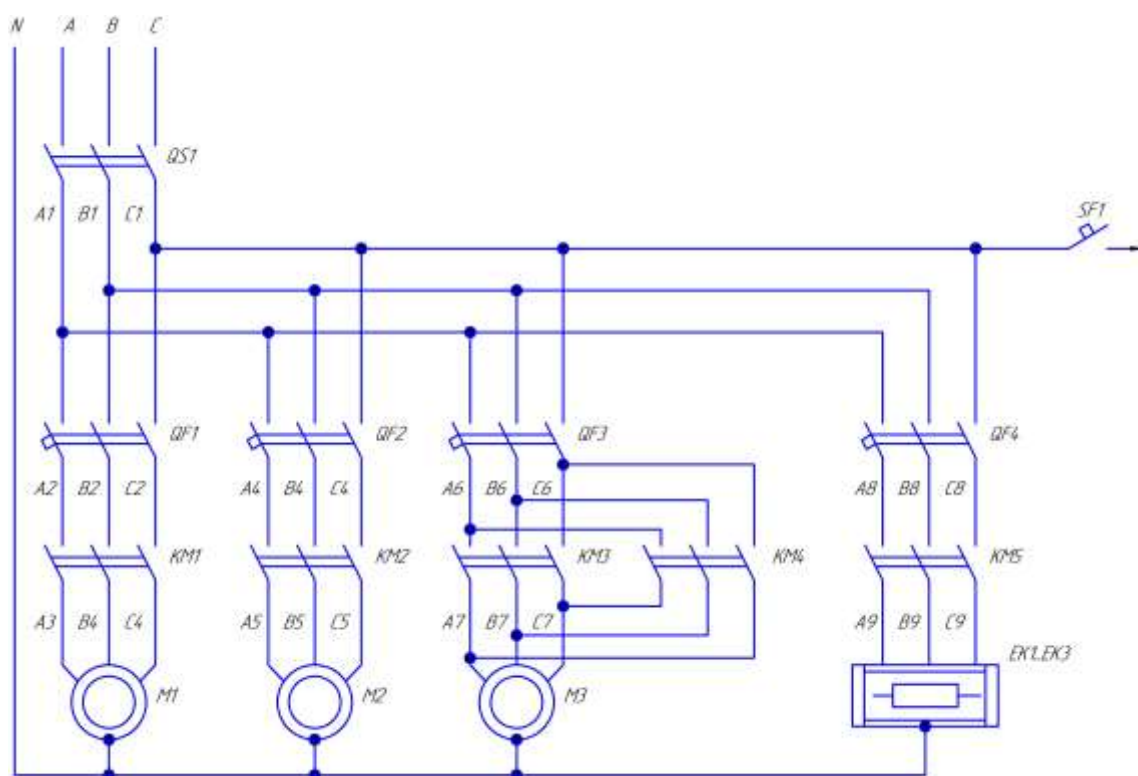


Рис 4.3 – Силова частина кола принципової схеми керування

У режимі автоматичного керування положення перемикача SA1 встановлюється на позначку «А», тоді як при переході до ручного управління – на «Р».

Контроль рівня заповнення силосу зерновим матеріалом здійснюється за допомогою датчиків рівня SL1 і SL2. Параметри вологості зернової маси та повітря на вході визначаються відповідно сенсорами В1 і В2, а температурний стан зерна фіксується термодатчиком SK1.

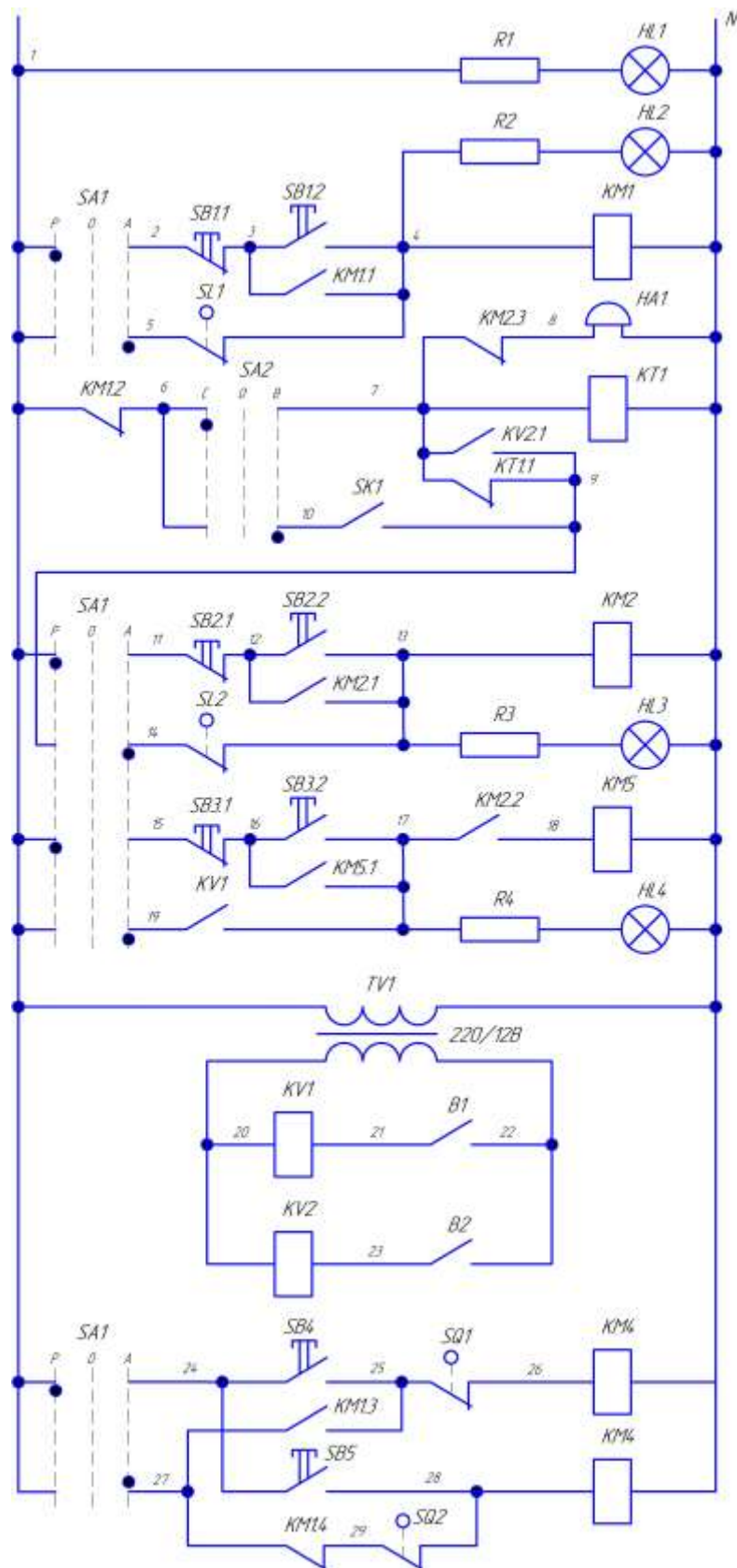


Рис 4.3 – Коло керування системою автоматизації

**Режим ручного управління.** Коли обрана ручна експлуатація системи, перемикач SA1 переводиться в позицію «Р». Управління функціональними

елементами лінії сушіння зерна здійснюється безпосередньо з кнопкових постів SB1, SB2, SB3 і SB4.

**Режим автоматичного управління.** Для активації автоматичного циклу перемикач SA1 встановлюється у положення «А». За умови відсутності зерна у бункері, замкнутий контакт рівнеміра SL1 подає напругу на котушку магнітного пускача KM1, що запускає електродвигун M1 норії Н-25. Завантаження триває до досягнення граничного рівня, при якому SL1 розмикається та зупиняє двигун.

Положення клапана-заглушки контролюється двома кінцевими вимикачами – SQ1 і SQ2, які чергують активацію або деактивацію пускачів KM3 і KM4, відповідно, керуючи електродвигуном M3, що відповідає за рух клапана.

У випадку, якщо показники вологості зерна перевищують встановлену норму, спрацьовує вологомір B2, внаслідок чого замикається його контактна група, що активує проміжне реле KV2.

У результаті замикання контакту KV2.1 активується ланцюг керування, що забезпечує подачу живлення на вентилятор та блок електрокалорифера. Після подачі напруги спрацьовує пускач KM2, який запускає M2, що відповідає за обертання вентилятора – цикл сушіння зернової маси починається.

Коли вологість продукту знижується до заданої межі, вологомір B2 розмикає свій контакт, що призводить до знеструмлення пускача KM2 та зупинки M2.

Одночасно через замкнений контакт KM2.3 вмикається звуковий індикатор HA1, який повідомляє про завершення операції сушіння.

У разі, якщо показник вологості повітряного потоку, який подається до силосу, перевищує допустиме значення, активується вологомір B1. Це, у свою чергу, призводить до спрацювання проміжного реле KV1 та подачі напруги на котушку пускача KM5. Якщо вентилятор у цей момент працює, то пускач KM5 активує повітрянагрівачі EK1-EK3, що починають сушити повітря.

Після того, як вологість повітря знижується до рівня 65 %, контакт датчика В1 розмикається, що викликає автоматичне відключення електрокалориферів від мережі.

#### **4.5. Розробка схеми з'єднання**

Загальні вимоги до складання схеми включають забезпечення чіткої логічної послідовності підключень, відповідності схемного позначення елементів до стандартів, правильного вибору перерізу провідників залежно від навантаження, а також дотримання електробезпеки під час монтажу.

Всі з'єднання мають бути марковані, доступні для обслуговування та захищені від впливу пилу, вологи і механічних пошкоджень. Виконання схеми повинно забезпечити безпечну експлуатацію обладнання, швидке виявлення несправностей і простоту в модернізації або розширенні системи.

Схема показана в графічній частині роботи.

#### **4.6. Розробка схеми підключень**

Схема підключень системи автоматизації повинна забезпечувати надійне, безпечне та зручне керування технологічним обладнанням. Усі електричні з'єднання мають бути виконані відповідно до нормативних документів і стандартів електромонтажу, з дотриманням правильного фазування, полярності та маркування провідників.

Схема повинна передбачати зручну логіку розміщення елементів, доступність до обслуговування, чітке зонування силових і керувальних кіл. Особливу увагу слід приділити захисту від коротких замикань, перевантажень і впливу зовнішніх чинників – пилу, вологи, температурних перепадів. Проводи повинні прокладатися в кабель-каналах або трубах, із застосуванням герметичних ввідів та клемних з'єднань.

Схема показана в графічній частині роботи.

## 5. РОЗРОБКА СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

### 5.1. Визначення схеми живлення для силового електротехнічного обладнання

Схема розрахунку силової розподільної мережі наведена на рис. 5.1.

Електропостачання лінійного комплексу сушіння зернової продукції здійснюється від існуючого на території підприємства комплектного трансформаторного пункту (КТП) 10/0,4 кВ, обладнаного двома силовими трансформаторами потужністю по 250 кВА кожен. Ввід живлення до приміщення виконується кабельною лінією з чотирижильного кабелю типу ВББШв із мідними провідниками [16, 17].

Для забезпечення живлення силових електроустановок лінії сушіння зерна передбачена п'ятипровідна мережа, побудована за схемою TN-C-S. Розділення нульового провідника на робочий нуль (N) та захисний провідник (PE) відбувається у ввідній силовій розподільній шафі А1.

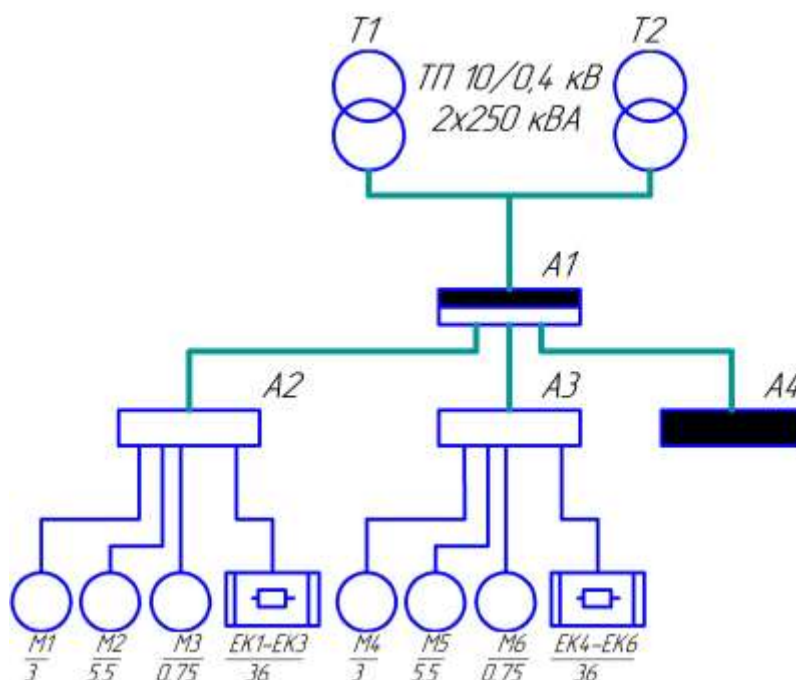


Рис. 5.1. – Схема розрахунку силової розподільної мережі

## 5.2. Визначення розрахункових струмів електроприймачів

Визначення номінальних значень струмів електрообладнання проводиться за формулами, наведеними у джерелах [17]:

- для нагрівальних електричних приладів:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H}; \quad (5.1)$$

- для трифазного асинхронного двигуна з ротором, замкненим накоротко:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}, \quad (5.2)$$

де  $P_H$  – номінальна потужність електрообладнання, кВт;

$U_H$  – номінальна напруга живлячої мережі, В;

$\eta_H$  – номінальний коефіцієнт корисної дії обладнання;

$\cos \varphi_H$  – номінальний коефіцієнт потужності електрообладнання.

Розрахункові значення струмів для групових і магістральних відрізків мережі визначаються за формулою, наведеною у джерелах [17]:

$$I_p = K_0 \cdot \sum I_H, \quad (5.3)$$

де  $K_0$  – коефіцієнт одночасної роботи електроустановок;

$\sum I_H$  – сума розрахункових струмів усіх елементів лінії сушіння зерна, виражена в амперах.

Процедуру визначення розрахункового навантаження проілюструємо на прикладі електродвигуна М1, який використовується в приводній станції зернової норії марки Н-25.

Двигун М1 має тип АИР112МА6У3:

$$I_{H M1} = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,83} = 6,9 \text{ A}$$

Подібним чином виконуємо визначення величини струму для іншого електротехнічного обладнання лінії сушіння зернової продукції.

Розрахункове значення струму для магістрального відрізка А1–А2 становить:

$$I_{p.A1-A2} = 1 \cdot (6,9 + 12,4 + 1,45 + 54,7) = 75,6 \text{ A}$$

Визначаємо величину струму ввідної лінії:

$$I_{p.вводу} = 0,8 \cdot (75,6 + 75,6 + 8,7) = 127,9 \text{ A}$$

### 5.3. Вибір автоматичних вимикачів

Обираємо автоматичний вимикач для електроприводу норії за наступними критеріями [17]:

- 1) серія виробника: Legrand RX3 тип С ЗР;
- 2) номінальна напруга живильної мережі:

$$U_{н АВ} \geq U_{м}, \quad (5.4)$$

$$400 \text{ В} \geq 380 \text{ В}.$$

- 3) за конструктивною формою:

- кількість полюсів – триполюсний;
- тип розчіплювача – комбінований;

4) за номінальним значенням струму теплових захисних елементів:

$$I_{нТР} \geq I_{розр}, \quad (5.5)$$

$$10 A \geq 6,9 A.$$

5) за величиною струму спрацювання електромагнітних розчіплювачів:

$$I_{від.EMP} \geq I_{пуск.розр}, \quad (5.6)$$

де  $I_{пуск.розр}$  – розрахунковий пусковий струм відповідної ділянки електромережі, А;

$$I_{пуск.розр} = \kappa_i \cdot I_{нАД}, \quad (5.7)$$

де  $\kappa_i$  – кратність пускового струму електроприводу норії завантаження, А.

$$I_{нАД} = 7 \cdot 6,9 = 48,3 A.$$

Визначення величини струму спрацювання електромагнітного розчіплювача здійснюємо за такою формулою:

$$I_{від.EMP} = \kappa \cdot I_{нТР}, \quad (5.8)$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт кратності спрацювання розчіплювача автоматичного вимикача; для вимикачів з характеристикою «С» приймаємо  $\kappa = 10$  [9];

$$I_{від.EMP} = 10 \cdot 10 = 100 A.$$

$$100 A > 48,3 A.$$

6) за рівнем захисту від впливу зовнішнього середовища: IP20;

7) за кліматичними умовами експлуатації та категорією розміщення: У3.

Аналогічним чином виконуємо підбір автоматичних вимикачів для захисту іншого електрообладнання. Отримані результати наведені у розрахунково-монтажній таблиці силової електричної мережі, яка представлена у графічній частині роботи.

#### 5.4. Вибір магнітних пускачів

Обираємо контактор для електроприводу норії за наступними критеріями [17]:

1) за серією виробника: Legrand СТХ3 22;

2) за номінальним значенням напруги живлячої мережі:

$$U_{нМП} \geq U_m, \quad (5.9)$$

$$600 B \geq 380 B.$$

3) за номінальним значенням струму:

$$I_{нМП} \geq I_{розр}, \quad (5.10)$$

$$9 A \geq 6,9 A.$$

4) за конструктивними особливостями: нереверсивний тип, без вбудованих теплових реле та електромеханічних блокувань;

5) за ступенем захисту від впливів зовнішнього середовища: IP20;

- б) за наявністю керуючих кнопок «Пуск» і «Стоп»: відсутні;
- 7) за кліматичним виконанням та категорією розміщення: УЗ.

Аналогічним способом здійснюється підбір магнітних пускачів для управління іншим електрообладнанням. Отримані результати відображені у розрахунково-монтажній таблиці силової електромережі, що наведена у графічній частині роботи.

### 5.5. Вибір марки і перерізу проводів і кабелів

Підбір провідників для забезпечення живлення електротехнічного обладнання здійснюється відповідно до умови [17]:

$$I_{TR.PP} \geq I_{розр.}, \quad (5.11)$$

де  $I_{TR.PP}$  – допустиме тривале значення струму, яке може пропускати жила провідника, А;

$I_{розр.}$  – розрахунковий струм відповідної ділянки електромережі, А.

Процедуру підбору та перевірки провідників для живлення електрообладнання розглянемо на прикладі М1, встановленого у приводному блоці норії завантаження бункерів. Для монтажу обрано кабель типу ВВГнг з кількістю жил  $4 \times 1,5$  мм<sup>2</sup>. Допустиме тривале навантаження для даного типорозміру становить  $I_{TR.PP} = 19$  А [11].

$$I_{TR.PP} = 19 \text{ А} \geq I_{розр.} = 6,9 \text{ А.}$$

Оскільки умова (5.11) виконується, обраний тип кабелю є технічно обґрунтованим.

З метою захисту кабельної лінії від можливих механічних ушкоджень, зменшення ризику займання у випадку короткого замикання, а також для

запобігання потраплянню пилу, передбачаємо прокладку кабелів у металевому рукаві типу РЗ-ЦХ.

Для вводу електроживлення в приміщення зернопункту вибирається кабель марки ААБ з чотирма жилами перерізом  $50 \text{ мм}^2$  ( $4 \times 50$ ). Допустиме тривале струмове навантаження для цього провідника становить  $I_{TR.ДР} = 155 \text{ А}$  [17].

Підбір типу та перерізу кабелів для решти електрообладнання сушильної лінії, а також для магістральних електричних відгалужень, здійснюється за тією ж методикою. Усі результати підбору фіксуються в розрахунково-монтажній таблиці, яка представлена в графічній частині роботи.

## 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

*Організація роботи з охорони праці на ТОВ «СПЕКТР-АГРО».* На ТОВ «СПЕКТР-АГРО» робота з охорони праці організована відповідно до вимог чинного законодавства України. Управління охороною праці здійснюється через систему планування, фінансування та контролю виконання заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці. Щорічно на підприємстві складається та затверджується план заходів з охорони праці, який включає як технічні, так і організаційні рішення. На фінансування заходів у 2024 році було виділено понад 2% від фонду оплати праці, що відповідає мінімальним законодавчим вимогам.

У колективному договорі передбачено окремий розділ, присвячений охороні праці. В ньому визначено обов'язки адміністрації щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці, гарантії працівникам при роботі у шкідливих умовах, механізм розслідування нещасних випадків (хоча за останні роки таких випадків на підприємстві не зафіксовано), а також права працівників щодо відмови від виконання робіт у разі виникнення небезпеки для життя чи здоров'я.

Навчання з охорони праці організовано згідно з затвердженими програмами, які охоплюють первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі. На підприємстві ведуться журнали реєстрації інструктажів з охорони праці, є затверджені інструкції для кожної професії та виду робіт. Усі працівники проходять перевірку знань відповідно до затверджених графіків, за результатами якої складаються протоколи атестації.

ТОВ «СПЕКТР-АГРО» забезпечує своїх працівників необхідним спецодягом та засобами індивідуального захисту відповідно до нормативів. Для працівників, які виконують роботи в шкідливих або небезпечних умовах, передбачено додаткове санітарно-побутове забезпечення: душові, кімнати для зберігання та сушки спецодягу, побутові приміщення, обладнані у відповідності до санітарних норм.

Контроль за організацією роботи з охорони праці покладено на інженера з охорони праці, а також на керівників структурних підрозділів, які несуть персональну відповідальність за дотримання вимог безпеки на ввірених їм ділянках. Перевірки стану охорони праці проводяться щоквартально з оформленням відповідних актів і вжиттям заходів щодо усунення виявлених недоліків [13-17].

***Потенційні небезпеки при виконанні робіт на зернопункті ТОВ «СПЕКТР-АГРО».*** Під час виконання робіт на зернопункті ТОВ «СПЕКТР-АГРО» існує низка потенційних небезпек, які можуть становити загрозу для життя і здоров'я працівників. Основні з них такі [18, 19]:

Однією з найпоширеніших небезпек є пил, який утворюється під час транспортування, перевантаження та очищення зерна. Пил може викликати алергічні реакції, хронічні захворювання органів дихання, а також створює ризик вибуху в умовах недостатньої вентиляції. У вибухонебезпечних зонах необхідне суворе дотримання протипожежного режиму та використання вибухозахищеного електрообладнання.

До механічних небезпек належать відкриті рухомі частини транспортних і технологічних механізмів (норії, транспортери, шнеки), які можуть спричинити травмування працівників при недотриманні інструкцій з безпечної експлуатації або при відсутності захисних кожухів.

Висота також є потенційно небезпечною зоною – обслуговування норійних башт, бункерів чи естакад передбачає роботу на висоті. При цьому існує ризик падіння, особливо при відсутності засобів індивідуального захисту (страхувальні пояси, каски), а також неналежно обладнаних робочих майданчиків.

Існує також підвищений ризик ураження електричним струмом, оскільки зернопункт оснащений великою кількістю електричного обладнання. Несправна ізоляція, самовільне втручання в електрощити або недотримання правил технічної експлуатації створюють загрозу ураження струмом або виникнення пожежі.

Не слід виключати також ризики, пов'язані з порушенням ергономіки праці. Зокрема, перенавантаження опорно-рухового апарату при ручному переміщенні важких вантажів або при тривалій роботі у незручному положенні.

Окремо варто згадати про ризики, пов'язані з підвищеним рівнем шуму та вібрації, які виникають при роботі обладнання. Тривале перебування в таких умовах без засобів індивідуального захисту слуху може призвести до погіршення слуху та загального перевтомлення..

***Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці.*** Для забезпечення безпечних і здорових умов праці на зернопункті ТОВ «СПЕКТР-АГРО» доцільно впровадити комплекс заходів, які охоплюють технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні аспекти. Нижче наведено конкретні рекомендації:

У першу чергу слід удосконалити систему вентиляції для ефективного видалення зернового пилу з робочих зон. Це дозволить не лише знизити ризик захворювань органів дихання, а й мінімізує ймовірність пилових вибухів. У вибухонебезпечних зонах необхідно використовувати тільки сертифіковане вибухозахищене обладнання.

Також рекомендується модернізувати технологічне обладнання — встановити захисні кожухи на всі рухомі частини машин і механізмів, обладнати аварійними кнопками зупинки в доступних місцях, а також ввести системи блокування роботи обладнання при відкритті захисних огорожень.

Особливу увагу слід приділити організації робіт на висоті. Робочі майданчики повинні бути обладнані поручнями та нековзкими настилами. Працівники мають бути забезпечені сертифікованими засобами індивідуального захисту: касками, страхувальними системами, захисним взуттям та жилетами з високою видимістю.

Необхідно проводити регулярні навчання та інструктажі з охорони праці, зокрема з питань пожежної безпеки, безпечного використання електрообладнання та надання першої допомоги. Варто оновити інструкції з

охорони праці відповідно до актуальних стандартів та змін у технологічному процесі, а також забезпечити доступність їх для всіх працівників.

Для зменшення навантаження на працівників потрібно впровадити механізовані засоби для переміщення вантажів, а також чергувати види робіт, що дозволить уникнути монотонності та перенапруження.

У зонах підвищеного шуму та вібрації необхідно застосовувати звукопоглинаючі матеріали та видати працівникам засоби індивідуального захисту слуху (навушники або беруші).

Важливо також облаштувати належні санітарно-побутові умови: душові кабінки, гардеробні з роздільним зберіганням спецодягу, кімнати відпочинку, чисту питну воду та аптечки на всіх ділянках.

Крім того, слід запровадити щорічний медичний огляд працівників із залученням лікарів-профпатологів для раннього виявлення ознак профзахворювань. Оцінка ризиків повинна проводитися не рідше одного разу на рік із залученням спеціалістів з охорони праці та відповідними коригуваннями в технологічних процесах..

**Висновки.** Отже, за результатами аналізу можна зробити висновок, що організація роботи з охорони праці на ТОВ «СПЕКТР-АГРО» знаходиться у задовільному стані. На підприємстві функціонує система управління охороною праці, яка включає планування, фінансування, навчання персоналу та контроль за дотриманням вимог безпеки. Підтримується належна документація – ведуться журнали інструктажів, протоколи атестації, затверджені інструкції з охорони праці. Працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту, спецодягом, а також мають доступ до санітарно-побутових умов. За останні роки на підприємстві не зафіксовано нещасних випадків виробничого характеру, що свідчить про ефективність профілактичної роботи. Разом із цим, враховуючи наявні потенційні небезпеки, рекомендовано впроваджувати додаткові заходи щодо вдосконалення умов праці з урахуванням сучасних вимог безпеки та технічного розвитку виробничих процесів.

## 7. ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА

Вступ. Сучасні агропромислові підприємства, зокрема зернопункти, мають істотний вплив на довкілля в процесі своєї виробничої діяльності. Електрифікація, автоматизація технологічних процесів обробки та зберігання зерна, а також використання енергетичного обладнання супроводжуються викидами в атмосферу, утворенням шуму, теплового випромінювання, твердих та рідких відходів. У зв'язку з цим важливим аспектом модернізації зернопункту є врахування екологічних факторів і впровадження рішень, що спрямовані на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

У даному розділі розглянуто потенційні джерела екологічного навантаження, пов'язані з реконструкцією системи електрифікації та впровадженням автоматизованої системи керування обробкою зерна, а також запропоновано технічні та організаційні заходи для мінімізації такого впливу. Аналізуються основні екологічні чинники – споживання електроенергії, рівень викидів забруднюючих речовин, енергоефективність обладнання та шляхи оптимізації виробничих процесів відповідно до вимог екологічного законодавства України.

Вплив. Реконструкція системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-Агро» супроводжується низкою факторів, що можуть впливати на стан навколишнього природного середовища. У процесі виконання будівельно-монтажних робіт можливе тимчасове порушення ґрунтового покриву, підвищення рівня шуму, а також збільшення обсягів викидів від транспортних засобів і механізмів. Після завершення реконструкції вплив зміщується в площину експлуатації оновленого обладнання.

Функціонування нової системи електрифікації та автоматизованого керування процесами обробки зерна призводить до споживання електроенергії, що потенційно впливає на загальне енергетичне навантаження на регіональну енергосистему. Якщо електроенергія виробляється з неекологічних джерел, опосередковано зростає рівень викидів парникових газів. Водночас, сучасне

обладнання характеризується вищим класом енергоефективності, що дозволяє зменшити витрати енергії у порівнянні зі старими системами.

Крім того, технологічний процес обробки зерна може супроводжуватися виділенням пилу, запахів та незначним шумовим забрудненням, особливо у разі інтенсивної роботи вентиляційних систем та механізмів. Такі фактори можуть мати локальний вплив на повітряний басейн та акустичний фон у безпосередній близькості до підприємства.

Заходи. Для мінімізації негативного впливу реконструкції системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-Агро» на навколишнє середовище передбачено комплекс технічних та організаційних заходів. Перш за все, на етапі будівництва необхідно забезпечити дотримання правил з охорони ґрунтів і попередження їх ерозії, а також контроль за рівнем шуму, що виникає внаслідок роботи будівельної техніки. Впровадження сучасних енергоефективних технологій у процес автоматизації дозволить значно знизити споживання електроенергії, що позитивно вплине на загальний енергетичний баланс і зменшить непрямі викиди парникових газів.

Значна увага приділяється також контролю за рівнем пилу та інших забруднюючих речовин у повітрі, що виникають під час роботи зернообробних механізмів. Використання систем аспірації та фільтрації допоможе зменшити забруднення атмосфери і покращити мікроклімат на території підприємства. Автоматизована система керування дозволить оптимізувати роботу обладнання, уникати перевантажень і аварійних ситуацій, що часто супроводжуються несанкціонованими викидами і підвищеним енергоспоживанням.

Організаційно важливо забезпечити регулярний моніторинг екологічного стану, своєчасне технічне обслуговування обладнання і навчання персоналу дотриманню вимог екологічної безпеки. Впровадження таких заходів сприятиме не лише збереженню природних ресурсів, а й підвищенню загальної ефективності виробничих процесів, що є важливим складником сталого розвитку підприємства..

Висновки. Екологічний стан ТОВ «СПЕКТР-Агро» за результатами аналізу є задовільним і не перевищує гранично допустимих норм впливу на навколишнє середовище. Реконструкція системи електрифікації та впровадження автоматизованої системи керування обробкою зерна передбачають застосування сучасних енергоефективних технологій, що дозволяють мінімізувати негативні екологічні наслідки виробничої діяльності.

Впроваджені заходи з контролю за рівнем пилу, шуму та викидів забруднюючих речовин забезпечують збереження якісних показників атмосферного повітря і акустичного комфорту в прилеглих районах. Автоматизація технологічних процесів сприяє підвищенню точності регулювання параметрів роботи обладнання, що дозволяє уникнути надмірного енергоспоживання та аварійних ситуацій.

Реалізація проекту реконструкції системи електрифікації з урахуванням екологічних аспектів сприяє підвищенню сталості виробничої діяльності підприємства, збереженню природних ресурсів та покращенню екологічної безпеки в регіоні. Рекомендується продовжувати моніторинг екологічних показників і дотримуватися нормативних вимог для підтримання стабільно задовільного стану довкілля.

## 8. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Реконструкція системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» у місті Обухів спрямована на модернізацію існуючої інфраструктури та впровадження автоматизованої системи керування обробкою зерна. Це дозволить підвищити ефективність виробничих процесів, знизити витрати на електроенергію, покращити якість обробки зерна та зменшити втрати продукції, що у підсумку сприятиме підвищенню економічної стійкості підприємства [20].

Таблиця 8.1 – Розрахунок капіталовкладень

Найменування	Кількість, шт.	Орієнтовна ціна за 1 шт., грн	Загальна вартість, грн
Шафа ввідна розподільча Елекон В19-7-6 У	1	18000	18000
Шафа металева Елекон з монтажною панеллю ШМП-3 IP31	2	8000	16000
Електричний двигун серії АИР112МА6	2	25000	50000
Електричний двигун серії АИР112М4	2	22000	44000
Електричний двигун серії АИР71В4	2	12000	24000
Електричний повітрянагрівач Aerostar SEN 60-30/36	2	6500	13000
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 250 А	1	18000	18000
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 125 А	2	10000	20000
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 32 А	1	3000	3000
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 2 А	2	800	1600
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 10 А	2	1200	2400
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 16 А	3	1800	5400
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 63 А	2	5500	11000
Автоматичний вимикач Legrand RX3 тип С 3Р 100 А	2	9000	18000
Контактор Legrand CTX3 22 9 А	4	1400	5600

Контактор Legrand CTX3 22 18 А	2	1800	3600
Контактор Legrand CTX3 65 65 А	2	5000	10000
Пост кнопочий КУ-120	3	700	2100
Пост кнопочий КУ-110	2	600	1200
Лампа сигнальна Neosignal NS-22	4	150	600
Кінцевий вимикач ВП16-1Б	2	400	800
Датчик рівня ЕВ-1М	2	2000	4000
Датчик вологості Vaisala HMP60	2	6000	12000
Датчик температури DHT22	2	300	600
Перемикач пакетний ПП2-16	4	500	2000
Реле проміжне РП-21	4	400	1600
Трансформатор ТСЗИ-12/220	2	4000	8000
Кабель ВВГнг (4х1,5), м	106	30	3180
Кабель ВВГнг (4х10), м	36	300	10800
Кабель ВВГнг (5х16), м	22	550	12100
Кабель ААБ (4х50), м	43	1200	51600
<b>Загальні капіталовкладення, грн</b>			<b>372280</b>

Впровадження сучасних енергоефективних електричних пристроїв на лінії сушіння та вентилявання зерна дозволить знизити річне споживання електроенергії на зернопункті приблизно на 5% [20].

Згідно з даними електротехнічної служби ТОВ «СПЕКТР-АГРО», за минулий рік лінія сушіння та вентилявання зерна у бункерах спожила близько 450 тисяч кіловат-годин електроенергії.

Розрахунок обсягу електроенергії, використаної в проектованому варіанті, виконуємо за формулою [20]:

$$W_{np} = W_{\delta} - \frac{W_{\delta} \cdot 5\%}{100}, \quad (8.1)$$

$$W_{np} = 450 - \frac{(450 \cdot 5)}{100} = 427,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річне зниження фінансових витрат завдяки зменшенню енергоємності технологічного процесу визначається за формулою:

$$E_{el} = (W_{\delta} - W_{np}) \cdot C, \quad (8.2)$$

де  $C$  – ціна за 1 кВт·год електроенергії, гривень.

$$E_{el} = (450 - 427,5) \cdot 7 = 157,5 \text{ тис.грн.}$$

Термін окупності інвестицій [18]:

$$T_{ок} = \frac{K_{дод.}}{E_{el}}; \quad (8.3)$$

$$T_{ок} = \frac{372280}{157500} = 2,4 \text{ року}$$

Таблиця 8.2 – Техніко-економічні показники

Показники	Варіант	
	базовий	проектний
Додаткові інвестиції, грн.	-	372280
Річний обсяг спожитої електричної енергії, тис. кВт·год	450	427,5
Витрати на електроенергію, тис. грн	3150	2992,5
Відсоток зниження електроспоживання, %	-	5
Загальний річний економічний ефект, грн	-	157500
Період окупності інвестицій, роки	-	2,4

Висновок до розділу. Проведений економічний аналіз показав, що впровадження реконструкції системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» із застосуванням автоматизованої системи керування призведе до суттєвого зниження споживання електроенергії на 5%, що забезпечить річну економію витрат на електроенергію в розмірі 157,5 тис. грн. При цьому додаткові інвестиції у розмірі 372280 грн окупляться за 2,4 роки, що є прийнятним терміном для таких проєктів.

## ВИСНОВКИ

У роботі проведено комплексний аналіз та реконструкція системи електрифікації зернопункту ТОВ «СПЕКТР-АГРО» з розробкою системи автоматизації керування обробкою зерна для подальшого використання.

Враховуючи особливості технології сушіння та зберігання зерна, зокрема активне вентилявання у бункерах, було обрано відповідне електросилове обладнання, що забезпечує надійну та ефективну роботу. Серед основних електродвигунів використано типи серії АИР – зокрема електродвигуни моделей АИР112МА6, АИР112М4 та АИР71В4, які задовольняють вимоги за потужністю та кліматичними умовами експлуатації.

Для повітрянагріву обрано електричний повітрянагрівач Aerostar SEN 60-30/36, що відповідає необхідній тепловій потужності та технічним характеристикам, забезпечуючи якісне сушіння зерна. Систему захисту і керування реалізовано за допомогою автоматичних вимикачів Legrand серії RX3 різних номіналів, контактних пускачів СТХ3, а також елементів керування та індикації – кнопочових постів, сигнальних ламп та перемикачів, що дозволяє організувати зручне та безпечне управління обладнанням.

Розроблені електричні схеми, включно з функціональною та принциповою, а також схема підключень і схема розташування силових електроприймачів, враховують вимоги безпеки, надійності та зручності обслуговування. Прокладка кабелів здійснюється з використанням кабелів ВВГнг та ААБ відповідних перерізів, що гарантує безперебійну роботу та відповідає нормам електробезпеки.

Економічне обґрунтування підтвердило доцільність впровадження реконструкції за рахунок зниження електроспоживання на 5%, що призведе до суттєвої економії витрат і дозволить окупити інвестиції приблизно за 2,4 роки. Впровадження запропонованої системи автоматизації сприятиме підвищенню ефективності виробничих процесів, зменшенню експлуатаційних витрат та підвищенню рівня безпеки праці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мазур, В. А., Поліщук І. С., Телекало, Н. В., & Мордванюк, М.О. (2020). *Рослинництво*. Вінниця: ТОВ «Друк».
2. Єременко, О. А., & Капінос, М. В. (2020). Вплив передпосівної обробки насіння на продуктивність сортів гороху посівного в умовах Південного Степу України. *Гельветика, Таврійський науковий вісник*, 113, 41–48.
3. Технологія зберігання і переробки зерна : дайджест. Вип. 7. [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олабоді. – Київ, 2016. – 13 с. – Режим доступу : <http://library.nuft.edu.ua/inform/zerno2016.pdf>.
4. Технологія виробництва і переробки сільськогосподарської продукції. Н.І. Хомик, Н.Б. Гаврон, Н.А Рубінець. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 248с.
5. Бункер вентилируемый БВ-25, БВ-40. [Електронний ресурс] – режим доступу: [http://zernograd.com.ua/catalog/ohladiteli/bunker\\_ventiliruemiy\\_bv\\_25\\_bv\\_40-id31204.html](http://zernograd.com.ua/catalog/ohladiteli/bunker_ventiliruemiy_bv_25_bv_40-id31204.html).
6. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Форт, 2017. – 760 с.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Від 25.07.2006 Затв. Наказ Мінпалива № 258 (Із змінами та доповнення у відповідності до наказів Міненервугілля України № 91 від 13.02.2012 № 905 від 16.11.2012 № 273 від 16.05.2013).
8. Електропривод робочих машин : підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 290 с.
9. Основи електропривода виробничих машин та комплексів [текст]: навч. посіб./ В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 254 с.
10. Каталог електродвигунів АИР. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://xn--80aqy.com.ua/katalog\\_elektrodvigateli\\_air/](https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrodvigateli_air/)

11. Carol L Jones. (2022). Grain Handling Automation and Controls. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. URL: <https://openresearch.okstate.edu/server/api/core/bitstreams/6ed96aef-0daf-4692-9295-18a38782c82c/content/>
12. Vivekanand, C. V., M, I. T., R, A., E, E. K., & S, J. (2024). Efficient Harvest to Storage: Advancing with Automated Grain Systems. 2024 7th International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT), 5, 207–213. <https://doi.org/10.1109/iccpct61902.2024.10672665/>
13. J, L., S, L. S. V., R, M., & R, M. (2022). Automated food grain monitoring system for warehouse using IOT. Measurement Sensors, 24, 100472. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100472/>
14. Schuler, A., Făgărășan, I., Calofir, V., Arghira, N., Simoiu, M. S., & Iliescu, S. S. (2024). New trends in automation applied to monitor and control grain quality in silos. 2022 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), 188, 1–6. <https://doi.org/10.1109/aqtr61889.2024.10554103/>
15. Голубев, Л.П., Ківа, І.Л. (2020). Удосконалення автоматизованої системи сушки зерна без ворущіння. Прикладні питання математичного моделювання, Том 3, №2.2, 105–112.
16. Квітка, С. О., & Постнікова, М. В. (2018). Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка пуско-захисної апаратури». Мелітополь: ТДАТУ.
17. Дипломне проектування зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Методичні рекомендації. Частина 2 «Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка пуско-захисної апаратури» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – 76 с.
18. Семерня О.В., Василенко О.О., Хворост Т.В, Кіндя О.П. (2023). 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.

19. Федоренко, С. В., Тишковець, В. П. (2017). Особливості охорони праці на підприємстві: економічні аспекти розвитку. Економіка та держава, 1/2017, 56–58.

20. 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