

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 зернокомплексу СФГ «Гай», с. Гаї, Роменського району, Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування лінією очистки зерна»

Виконав:

(підпис)

Чорненко Р.П.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ЕТЕС 2301ст.-2 р.н.

(Науковий) керівник:

(підпис)

Сіренко Ю.В.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025

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

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри енергетики
та електротехнічних систем

Чепіжний А.В.

“ ___ ” _____ 202_ року

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

Чорненку Роману Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція системи електрифікації зернокомплексу СФГ «Гай», с. Гаї, Роменського району, Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування лінією очистки зерна

керівник роботи: Сіренко Юлія Володимирівна, PhD, доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “24” вересня 2024 року №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, посібники, методичні рекомендації до виконання роботи, інтернет-джерела

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

Вступ

1. Аналіз господарської діяльності СФГ «Гай».

2. Характеристика технології післязбиральної обробки зерна

3. Вибір та перевірка електроприводу технологічних машин

4. Автоматизація системи очищення зернових

5. Розробка електричної мережі 0,4 кВ зернокомплексу

6. Охорона праці

7. Екологія

8. Економічне обґрунтування

Висновки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Лінія очищення зерна. Схема технологічна.

2. Лінія очищення зерна автоматизована. Схема електрична принципова.

3. Лінія очищення зерна автоматизована. Шафа керування. Схема електрична з'єднань.

4. Лінія очищення зерна автоматизована. Схема електрична підключень.

5. Показники техніко-економічні. Таблиця.

6. Консультанти розділів роботи:

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

7. Дата видачі завдання: “ 3 ” вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Чорненко Р.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Сіренко Ю.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чорненко Роман Петрович «Реконструкція системи електрифікації зернокомплексу СФГ «Гай», с. Гаї, Роменського району, Сумської області з розробкою системи автоматизованого керування лінією очистки зерна».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки за освітньою програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025, 59 с.

У кваліфікаційній роботі досліджено технічний стан існуючої системи електропостачання зернокомплексу СФГ «Гай» та обґрунтовано необхідність її реконструкції. В роботі розглянуто теоретичні аспекти побудови систем електрифікації та автоматизації технологічних процесів, а також практичні рішення щодо підвищення енергоефективності та надійності обладнання. Проаналізовано технологічний процес післязбиральної обробки зерна, технічний стан електрообладнання та кабельних мереж, розроблено систему автоматизованого керування лінією очищення. Особливу увагу приділено вибору силового електрообладнання, розрахунку навантажень та розробці схеми електропостачання зернокомплексу. Окремий розділ присвячено автоматизованому контролю технологічних параметрів, що забезпечує стабільність роботи та зниження впливу людського фактора. У фінальній частині представлено техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованих рішень, а також охарактеризовано основні вимоги до охорони праці та екологічної безпеки. Запропоновані заходи дозволяють підвищити продуктивність об'єкта, зменшити енерговитрати та підвищити загальну ефективність технологічного процесу. Результати роботи можуть бути використані як практичний приклад модернізації агропромислових об'єктів. Робота має міждисциплінарне значення, поєднуючи електротехніку, автоматизацію та аграрну інженерію. Запропоновані

рішення є актуальними для сучасного агропромислового виробництва в умовах енергетичної нестабільності.

Ключові слова: зернокомплекс, електрифікація, автоматизована система керування, енергоефективність, електропривод, захисне обладнання, проектування, охорона праці.

ABSTRACT

Chornenko Roman Petrovych "Reconstruction of the electrification system of the grain complex SFG "Gai", village of Gai, Romensky district, Sumy region with the development of an automated control system for the grain cleaning line".

Qualification work for the bachelor's degree in electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics under the educational program Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025, 59 p.

The qualification work examines the technical condition of the existing power supply system of the grain complex SFG "Gai" and justifies the need for its reconstruction. The work considers theoretical aspects of building electrification systems and automation of technological processes, as well as practical solutions for increasing energy efficiency and reliability of equipment. The technological process of post-harvest grain processing, the technical condition of electrical equipment and cable networks were analyzed, and an automated control system for the cleaning line was developed. Particular attention was paid to the selection of power electrical equipment, load calculation, and development of a power supply scheme for the grain complex. A separate section is devoted to automated control of technological parameters, which ensures stability of operation and reduction of the influence of the human factor. The final part presents a feasibility study for the implementation of the proposed solutions, as well as characterizes the main requirements for labor protection and environmental safety. The proposed measures allow to increase the productivity of the facility, reduce energy consumption, and increase the overall efficiency of the technological process. The results of the work can be used as a practical example of the modernization of agro-industrial facilities. The work has interdisciplinary significance, combining electrical engineering, automation, and agricultural engineering. The proposed solutions are relevant for modern agro-industrial production in conditions of energy instability.

Keywords: grain complex, electrification, automated control system, energy efficiency, electric drive, protective equipment, design, labor protection.

ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	10
<u>1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СФГ «ГАЙ»</u>	11
<u>1.1. Загальні відомості про сільськогосподарське господарство</u>	10
<u>1.2. Аналіз виробничої діяльності</u>	11
<u>1.3. Аналіз системи електрифікації зернокомплексу</u>	12
<u>1.4. Висновки та пропозиції</u>	Помилка! Закладку не визначено.
<u>2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА</u>	14
<u>2.1. Опис процесів технології післязбиральної обробки зерна на зернокомплексі</u>	14
<u>2.2. Опис виробничих приміщень зернокомплексу</u>	15
<u>2.3. Технічні характеристики технологічних машин</u>	16
<u>2.4. Технологічні вимоги до системи електрифікації зернокомплексу</u>	20
<u>3. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН</u>	19
<u>3.1. Вибір силового електрообладнання для очисної машини</u>	19
<u>3.2. Перевірочний розрахунок електроприводу зерноочисної машини</u>	20
<u>3.3. Розташування силового електрообладнання</u>	22
<u>4. АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ</u>	24
<u>4.1. Опис технологічного процесу очищення</u>	24
<u>4.2. Технологічні вимоги до системи автоматизації</u>	25
<u>4.3. Розробка та опис автоматизованої системи керування очищенням</u>	26
<u>4.4. Розробка схеми з'єднання</u>	30
<u>4.5. Складання схеми підключень</u>	31
<u>4.6. Складання специфікації на обладнання</u>	28
<u>5. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 КВ ЗЕРНОКОМПЛЕКСУ</u>	30
<u>5.1. Загальні вимоги до електричної мережі</u>	30
<u>5.2. Вибір кабелів для електричної мережі</u>	30
<u>5.3. Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів</u>	32
<u>5.4. Вибір магнітних пускачів та теплових реле</u>	34
<u>5.5. Вибір розподільчих та шаф керування</u>	41
<u>5.6. Складання специфікації на матеріали на обладнання</u>	42
<u>6 ОХОРОНА ПРАЦІ</u>	39

<u>7. ЕКОЛОГІЯ</u>	44
<u>8. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</u>	47
<u>ВИСНОВКИ</u>	49
<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</u> ..	Помилка! Закладку не визначено.

ВСТУП

Сучасне сільське господарство неможливо уявити без ефективного використання електроенергії та автоматизованих систем керування технологічними процесами. В умовах зростання потреб у продовольстві, енергозбереженні та підвищенні якості обробки сільськогосподарської продукції особливої актуальності набуває модернізація існуючих електротехнічних комплексів, зокрема у сфері післязбиральної обробки зерна. Зернокомплекси є ключовими елементами агропромислової інфраструктури, адже забезпечують очищення, сушіння, зберігання та підготовку зерна до реалізації чи переробки. Проте багато таких об'єктів, збудованих ще в минулі десятиліття, мають застарілі електрифікаційні системи та не відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності, надійності й автоматизації.

Об'єктом роботи є зернокомплекс селянського фермерського господарства (СФГ) «Гай», розташований у селі Гаї Роменського району Сумської області. На підприємстві використовуються лінії очистки зерна, технічний стан та рівень автоматизації яких не повністю відповідають потребам ефективної та безперебійної роботи. У зв'язку з цим виникає необхідність у реконструкції електрифікаційної системи комплексу та впровадженні сучасної автоматизованої системи керування технологічним процесом очищення зерна.

Метою роботи є технічне обґрунтування та проектування реконструкції системи електропостачання зернокомплексу СФГ «Гай» із розробкою системи автоматизованого керування лінією очистки зерна з урахуванням вимог надійності, енергоефективності, безпеки та екологічної доцільності.

У роботі розглядаються питання аналізу існуючого стану електрифікації об'єкта, розробки структурної схеми електропостачання, вибору обладнання, а також алгоритмів і технічних засобів автоматизованого керування.

1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СФГ «ГАЙ»

1.1. Загальні відомості про сільськогосподарське господарство

Селянське фермерське господарство «Гай» розташоване в мальовничому селі Гаї Роменського району Сумської області (рис. 1.1). Господарство функціонує в умовах типового аграрного регіону, де землеробство й тваринництво традиційно становлять основу економічного розвитку.



Рис. 1.1. Територіальне розташування СФГ «Гай»

Очолює підприємство досвідчений керівник, Кириленко Юрій Миколайович, який поєднує глибоке розуміння сучасних технологій сільськогосподарського виробництва з практичним досвідом ведення фермерської справи. Під його керівництвом господарство демонструє стабільну динаміку розвитку, активно впроваджуючи інновації та прагнучи підвищення ефективності виробничих процесів.

Основним напрямом діяльності СФГ «Гай» є вирощування зернових і технічних культур, які становлять стратегічну основу продовольчої безпеки як регіону, так і країни в цілому. Окрім вирощування сільськогосподарських культур, господарство займається їхньою післязбиральною обробкою — зокрема,

очищенням, сушінням та підготовкою до зберігання або реалізації. У структурі господарства функціонує зернокомплекс, який виконує ключову роль у забезпеченні якості продукції, що надходить на ринок.

Діяльність підприємства спрямована на забезпечення високої врожайності, підвищення продуктивності праці, мінімізацію втрат сировини та скорочення витрат енергії. Особлива увага приділяється модернізації технологічних процесів, впровадженню сучасних електротехнічних рішень та автоматизації, що дозволяє фермерському господарству ефективно конкурувати на внутрішньому аграрному ринку та забезпечувати стабільні обсяги виробництва сільськогосподарської продукції.

1.2. Аналіз виробничої діяльності

Виробнича діяльність СФГ «Гай» демонструє позитивну динаміку розвитку, що проявляється в ефективному використанні земельного фонду площею 119 гектарів та стабільному зростанні врожайності головних вирощувальних аграрних культур. Внаслідок грамотного підходу до агротехнічних заходів, застосуванню сучасних добрив, якісного насіння та своєчасному обробітку ґрунту, підприємству вдається щороку підвищувати показники урожайності.

У таблиці 1.1 наведено порівняльний аналіз урожайності основних культур, які вирощуються у аграрному підприємстві, за останні аналізуючі роки.

З таблиці, найбільше зростання спостерігається у врожайності пшениці та кукурудзи, що зумовлено більш інтенсивними технологіями вирощування та підвищенням якості агротехнічного обслуговування. Також позитивна динаміка простежується у виробництві олійних культур — соняшнику та сої. Усі ці фактори свідчать про те, що господарство веде послідовну політику оновлення технологій і прагне підвищення рентабельності виробництва.

Таблиця 1.1. Порівняльний аналіз урожайності основних культур, які вирощуються у господарстві

Культура	22 рік	23 рік	24 рік
Пшениця	4,7 т/га	5,2 т/га	5,8 т/га
Кукурудза	8,2 т/га	8,9 т/га	9,5 т/га
Соняшник	2,1 т/га	2,5 т/га	2,9 т/га

Соя	1,8 т/га	2,1 т/га	2,4 т/га
-----	----------	----------	----------

Зростання врожайності створює передумови для модернізації матеріально-технічної бази, зокрема автоматизації процесів на зернокомплексі, що є предметом дослідження та розробки в межах цього дипломного проєкту.

1.3. Аналіз системи електрифікації зернокомплексу

Зернокомплекс СФГ «Гай» виконує важливу роль у технологічному ланцюгу післязбиральної обробки зернових культур. Його основні функції включають очищення, сортування, сушіння та тимчасове зберігання продукції. Для надання умов якісної роботи технообладнання застосовується система електрифікації, яка включає як силову, так і освітлювальну мережу.

Основне електрообладнання зернокомплексу складається з таких елементів:

- електродвигуни, які встановлені на норіях, стрічкових транспортерах, зерноочисних машинах типу СМ-4 та сепараторах БЦС-25;
- щити управління типу ШУ-8436 або ШУ-Е-ЩРН, що виконують функцію комутації та захисту;
- контактори серії ПМЛ, які застосовуються для пуску та зупинки електродвигунів;
- автоматичні вимикачі ВА47-100 та ВА88-35, які забезпечують захист ліній живлення від перевантажень та коротких замикань;
- трансформаторна підстанція типу КТП-25/10-0,4 кВ, розміщена поруч із зернокомплексом.

Електропостачання здійснюється через повітряну лінію 0,4 кВ, яка підключена до вищезазначеної трансформаторної підстанції. Розподіл електроенергії на об'єкті здійснюється за допомогою силових кабелів типу АВВГ 4×16 та АПВВГнг 4×25, що прокладені частково відкрито, частково у пластикових кабель-каналах. Через вік обладнання спостерігається фізичне зношення контактних груп і часткова втрата ізоляційних властивостей кабелів.

Загальне середньомісячне споживання електроенергії становить приблизно 1500 кВт·год, що свідчить про значне навантаження на систему електропостачання.

У пікові періоди (жнива, сушка зерна) можливе короткочасне перевищення допустимих струмових навантажень, що призводить до перегріву кабелів та частих спрацювань захисної апаратури.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

2.1. Опис процесів технології післязбиральної обробки зерна на зернокомплексі

Після збирання зернових культур важливим етапом є їх післязбиральна обробка, яка має на меті забезпечити довготривале зберігання, покращити якість продукції та підготувати її до реалізації чи переробки. На зернокомплексі СФГ «Гай» цей процес реалізується за класичною багатостадійною схемою, в основі якої лежить механічне очищення зерна з використанням спеціалізованого обладнання.

Початковим етапом є приймання зерна, яке надходить від комбайнів автотранспортом. Зерно завантажується до бункерів-накопичувачів, звідки воно подається на попереднє очищення.

Для виконання попереднього та первинного очищення використовується зерноочисна машина СМ-4 (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Зерноочисна машина СМ-4

Машина СМ-4 забезпечує продуктивність до 12 тон/год і дозволяє отримати зерно, придатне для подальшої обробки чи сушіння. Проте в умовах СФГ «Гай» обладнання, встановлене на машині СМ-4, є фізично зношеним, що негативно

впливає на якість очищення та стабільність роботи. Часті зупинки та потреба у ремонті знижують загальну продуктивність зерноочисного процесу.

Крім того, слід відзначити, що система автоматизації у машині СМ-4 повністю відсутня, а керування процесами здійснюється вручну. Це ускладнює контроль за параметрами очищення, знижує ефективність роботи персоналу та не дозволяє оперативно реагувати на зміну характеристик зернової маси.

Для більш тонкого очищення зернової маси використовується барабанний сепаратор БЦС-25, який здійснює розподіл зерна за аеродинамічними властивостями. Цей сепаратор оснащений системою аспірації та решітним барабаном, який обертається з заданою частотою. В процесі сепарації відбувається видалення легких домішок, пилу, бур'янів, насіння інших культур.

Продуктивність машини БЦС-25 становить близько 25 тон/год. Її використання дозволяє суттєво підвищити якість зернової продукції та забезпечити відповідність вимогам до товарного зерна.

Зерно, яке пройшло очищення, може бути направлено на сушіння (у разі перевищення допустимої вологості), або безпосередньо до тимчасових сховищ, з яких здійснюється його подальше транспортування або реалізація.

Усі процеси післязбиральної обробки реалізуються за допомогою електропривідних механізмів – норій, шнекових та стрічкових транспортерів, що забезпечують транспортування зерна між технологічними етапами. Координація та керування обладнанням на сьогодні здійснюється переважно вручну, без участі сучасних систем автоматизації, що ускладнює оперативне управління процесами та підвищує ризик технологічних збоїв.

Таким чином, наявна система післязбиральної обробки зерна є функціональною, однак має потенціал для модернізації шляхом впровадження автоматизованого керування, що дозволить оптимізувати роботу зернокомплексу та зменшити енерговитрати.

2.2. Опис виробничих приміщень зернокомплексу

На зернокомплексі СФГ «Гай» основні виробничі процеси, пов'язані з післязбиральною обробкою зерна – зокрема, очищення, транспортування та тимчасове накопичення – виконуються під відкритим навісом. Такий підхід дозволяє здійснювати базові технологічні операції, однак має низку обмежень щодо захисту обладнання та персоналу від несприятливих погодних умов.

Навіс має каркасну металеву конструкцію, що складається з вертикальних опорних стійок із сталевого профілю, з'єднаних між собою горизонтальними балками. Покрівля навісу виконана з профнастилу, що забезпечує захист від атмосферних опадів зверху, але конструкція відкрита з боків. Площа навісу дозволяє розмістити основне обладнання зерноочисної лінії (машина СМ-4, сепаратор БЦС-25). Електрообладнання встановлено без спеціалізованих захисних кожухів, що підвищує ризик його пошкодження від пилу, вологи та коливань температур.

Окремо на території зернокомплексу розташоване зерносховище, яке є закритим приміщенням з покращеними умовами зберігання. Його конструкція включає бетонну основу, металеві стіни з теплоізоляцією та двосхилий дах. Всередині зерносховища забезпечено природну вентиляцію, що дозволяє підтримувати допустимий рівень вологості та температури для зберігання очищеного зерна.

2.3. Технічні характеристики технологічних машин

Для ефективної обробки зерна на зернокомплексі СФГ «Гай» використовуються сучасні технологічні машини, зокрема зерноочисна машина СМ-4 та сепаратор БЦС-25. Вони забезпечують якісну очистку та сепарацію зерна після збору, але з часом потребують модернізації та оновлення через знос і відсутність автоматизації.

Зерноочисна машина СМ-4 використовується для первинного очищення зернових від великих і дрібних домішок, пилу та іншого сміття. Вона має вібраційну систему очищення, що забезпечує ефективне розділення зерна за розмірами часток.

Сепаратор БЦС-25 є спеціалізованою машиною для очищення зерна від легких домішок та пилу за допомогою аеродинамічної технології. Він оснащений

барабаном з решітками, що дозволяє виконувати тонке очищення зерна, застосовуючи принципи аеродинамічної сепарації.

Технічні характеристики БЦС-25 наведені в таблиці 2.2.

2.4. Технологічні вимоги до системи електрифікації зернокомплексу

Система електрифікації зернокомплексу має забезпечити безперебійну та ефективну роботу всіх технологічних процесів, пов'язаних з обробкою зерна. Враховуючи масштаби роботи комплексу та специфіку технологічного обладнання, до системи електрифікації ставляться низка вимог, що включають енергоефективність, надійність, безпеку та можливість автоматизації процесів.

З метою зниження енергоспоживання і зменшення витрат на електроенергію система електрифікації повинна бути спроектована з урахуванням принципів енергоефективності. Важливо використовувати обладнання, що має високу енергоефективність, а також застосовувати автоматичні системи регулювання, які дозволяють оптимізувати споживання електричної енергії, знижуючи її витрати в залежності від поточної потреби.

Для отримання високих показників продуктивності та сталої роботи комплексу важливо впровадити системи автоматизації та дистанційного управління електричними системами. Всі технологічні процеси, такі як очищення зерна, сушіння, сепарація та зберігання, повинні мати централізовану систему контролю, яка дозволяє стежити за станом обладнання, налаштовувати робочі режими та оперативно реагувати на можливі несправності.

Безпека є важливим аспектом при проектуванні системи електрифікації зернокомплексу. Для цього необхідно застосовувати відповідні заходи для захисту від коротких замикань, перевантажень, а також від перепадів напруги. Усі елементи системи, включаючи електрощити, трансформатори, прокладки та кабельні лінії, повинні відповідати нормативним вимогам безпеки. Крім того, має бути забезпечена належна ізоляція, захист від замикання на землю та заземлення обладнання.

Оскільки технології на зернокомплексі можуть змінюватися, а вимоги до потужності можуть зростати, система електрифікації повинна бути спроектована з можливістю гнучкого розширення. Це дозволить при необхідності інтегрувати нові

машини, розширювати площі для обробки зерна та впроваджувати нові технологічні процеси без значних витрат на модернізацію інфраструктури.

Система електрифікації повинна бути спроектована так, щоб забезпечити легкість технічного обслуговування та ремонту обладнання. Оскільки робота зернокомплексу має сезонний характер, важливо забезпечити доступність запчастин і обладнання для своєчасного ремонту і заміни. Також необхідно розробити план профілактичного обслуговування для уникнення несправностей у найбільш критичних компонентах системи.

3. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

3.1. Вибір силового електрообладнання для очисної машини

При виборі силового електрообладнання для зерноочисної машини важливо враховувати як технічні характеристики самого устаткування, так і умови його експлуатації, вимоги енергоефективності, електробезпеки, зручності обслуговування та можливості автоматизації. Основна мета — забезпечення надійної, безперебійної, економічно доцільної та безпечної роботи всіх електроприводів, що забезпечують технологічний процес очищення зерна.

Електродвигуни повинні відповідати навантаженням робочих механізмів машини. Недопустимо використання обладнання із надмірним запасом потужності, оскільки це призводить до перевитрати електроенергії, як і надмірне навантаження, яке викликає перегрів і швидкий знос.

Вибір електрообладнання здійснюється з урахуванням режиму роботи (S1 – тривалий, S2 – короткочасний, S3 – повторно-короткочасний тощо). Для зерноочисної машини найчастіше обирають двигуни з тривалим або повторно-короткочасним режимом.

У зв'язку з підвищеною запиленістю робочої зони та ймовірною вологістю, силові обладнання повинні мати захист не нижче IP54, а краще IP55, що забезпечує захист від пилу і водяних бризок.

Матеріали електрообладнання повинні бути стійкими до температур, які виникають у літній період, а також мати захист від конденсату й корозії. У разі роботи на відкритому повітрі необхідно використовувати термостійке і вологостійке обладнання.

Необхідна наявність засобів захисту від перевантаження, короткого замикання, зниження напруги та обриву фази. Використовуються теплові реле, автоматичні вимикачі, пускачі із захисними пристроями, а також УЗО при необхідності.

Перевагу слід надавати електродвигунам класу енергоефективності IE2 або IE3, які забезпечують менше енергоспоживання при тій самій продуктивності.

Обладнання повинно мати уніфіковану конструкцію, кріплення та стандартні розміри. Важливо також передбачити простоту доступу до вузлів для обслуговування, змащування, перевірки ізоляції тощо [8, 9].

3.2. Перевірочний розрахунок електроприводу зерноочисної машини

Метою перевірного розрахунку є встановлення відповідності електродвигуна за потужністю, моментом і режимом роботи до механізму, що ним приводиться. В нашому випадку – це решітний механізм, який забезпечує коливальні рухи сита для очищення зерна.

Вихідні дані:

- тип машини: СМ-4;
- механізм: решітний (коливальний);
- маса решітного механізму: 80 кг;
- частота коливань: $f = 4 \text{ с}^{-1}$ (≈ 240 коливань/хв);
- амплітуда коливань: $a = 0,04 \text{ м}$;
- ККД передачі (редуктор + механічні втрати): $\eta = 0,85$;
- коефіцієнт запасу потужності: $k = 1,2$;
- потужність встановленого двигуна за паспортом: 2,2 кВт.

Швидкість коливань визначимо за формулою:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot A, \quad (3.1)$$

$$v = 2 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 0,04 = 1,005 \text{ м / с}$$

Оскільки механізм має зворотно-поступальний рух, сила інерції розраховується як:

$$F_i = m \cdot a_{\max} = m \cdot (2\pi \cdot f)^2 \cdot A, \quad (3.2)$$

$$F_i = 80 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 4)^2 \cdot 0,04 = 807,36 \text{ Н}.$$

Потужність, необхідна для приводу:

$$P = \frac{F_i \cdot v}{\eta}, \quad (3.3)$$

$$P = \frac{807,36 \cdot 1,005}{0,85} = 0,956 \text{ кВт}.$$

З урахуванням коефіцієнта запасу:

$$P_{\text{розрах}} = P \cdot K_z, \quad (3.4)$$

$$P_{\text{розрах}} = 0,956 \cdot 1,2 = 1,15 \text{ кВт}.$$

Електропривод насіннеочисної машини повинен задовольняти умові [6]:

$$P_{\text{ов}} \geq P_{\text{розрах}}, \quad (3.5)$$

Оскільки:

$$2,2 \text{ кВт} > 1,15 \text{ кВт},$$

Електродвигун решітного механізму обрано вірно.

Перевірка за пусковим моментом [6, 8]:

$$M_{\text{н.ЕД}} \geq M_{\text{н.решіт}}, \quad (3.6)$$

Визначення моментів електродвигуна:

$$M_{\text{нЕД}} = M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{н}} \cdot K_u^2, \quad (3.7)$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (3.8)$$

$$M_H = \frac{2200}{0,105 \cdot 1450} = 14,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{нЕД} = 14,5 \cdot 2,10,9^2 = 24,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначення моменту опору решітного механізму:

$$M_{решім} = \frac{P_{розрах}}{\omega_H}, \quad (3.9)$$

$$M_{решім} = \frac{1150}{0,105 \cdot 1450} = 7,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перевіряємо умову (3.6):

$$M_{н.ЕД} = 24,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \succ M_{н.решім} = 7,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова виконується.

3.3. Розташування силового електрообладнання

Силове електрообладнання, яке забезпечує функціонування технологічних машин зернокомплексу, постачається у вигляді комплектних виробів заводського виготовлення. До складу постачання входять електродвигуни, пускозахисна апаратура, комутаційні пристрої, з'єднувальні кабелі та щитові елементи. Усі компоненти розміщуються відповідно до затвердженого плану розташування технологічного обладнання.

Монтаж електрообладнання виконується з урахуванням зручності обслуговування, забезпечення надійного електропостачання та дотримання вимог

електробезпеки. Зокрема, електродвигуни встановлюються безпосередньо на приводах робочих органів (решіт, шнеків, норій), силові шафи закріплюються поблизу місць експлуатації, а кабельні лінії прокладаються у металевих або пластикових коробах та трубах згідно з нормами ПУЕ.

Загальна структура розташування електрообладнання забезпечує оптимальну логістику електроживлення, мінімізацію довжини кабелів і зменшення втрат енергії. Ураховано також можливість подальшої автоматизації та модернізації системи.

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ

4.1. Опис технологічного процесу очищення

Технологічний процес очищення зерна на зернокомплексі здійснюється за допомогою спеціалізованих машин, зокрема зерноочисної установки типу СМ-4. Схема технологічна машини наведена на листі графічної частини проєкту.

Процес починається з подачі вороху, який завдяки роботі шнекових живильників (на схемі не зображені) рівномірно транспортується до завантажувального транспортера. Цей транспортер переміщує зернову масу до розподільного шнека.

Далі зернова суміш надходить до повітряного каналу першої аспірації, де здійснюється первинне видалення легких домішок – лушпиння, пилу та солом'яних частинок. Вони осідають у відстійній камері та видаляються через шнековий транспортер у відповідний вихід.

Після первинного очищення зерно потрапляє на ситовий механізм, де відбувається сортування за розмірами. Прохід через перше решето дозволяє виділити дрібні домішки (пісок, дрібні фрагменти рослинного походження), які виводяться назовні. Залишок зерна, що залишився після просіювання, спрямовується до другого аспіраційного каналу, де проходить додаткову очистку повітряним потоком від легких, але ще присутніх включень.

Далі очищений матеріал потрапляє у зерновий шнек, який транспортує його до одного з відгалужень двопоточної норії. Норія підіймає зерно на потрібну висоту, після чого воно подається в сортувальний барабан – циліндричне сито, що має отвори, розмір яких менший за довжину основної культури. Цей етап призначений для остаточного видалення коротких домішок (наприклад, уламків соломи чи насіння бур'янів).

Завдяки поетапному багаторівневому очищенню зернова маса, що виходить із машини, має високу якість і повністю готова до подальшого зберігання або реалізації.

4.2. Технологічні вимоги до системи автоматизації

Система автоматизації зерноочисної машини СМ-4 повинна забезпечити безперервний, ефективний і безпечний процес очищення зерна з урахуванням поетапної обробки зернової маси, як це передбачено технологічним процесом. Зважаючи на складність і багатоступеневість очищення, автоматизована система повинна відповідати низці технологічних вимог:

- автоматизація має забезпечувати чітку послідовність увімкнення і вимкнення механізмів;

- система повинна включати датчики рівня в бункерах і контрольні елементи, які попереджають або зупиняють процес у випадку перевантаження, залипання або виходу із ладу окремих механізмів (наприклад, при зависанні зерна в шнеку або решеті);

- аспіраційні системи першої та другої ступенів повинні функціонувати відповідно до завантаженості машини. Автоматика повинна підтримувати стабільну продуктивність повітряних потоків для якісного видалення легких домішок і виключення пилоутворення;

- панель керування має містити світлову та/або звукову індикацію для відображення стану роботи окремих вузлів, аварійного відключення, відсутності напруги або перевищення струмових навантажень;

- система повинна містити теплові реле та автоматичні вимикачі, які забезпечують захист електродвигунів при перевантаженнях, короткому замиканні або перегріві;

- передбачена можливість перемикання між ручним і автоматичним режимами керування. Ручний режим використовується під час технічного обслуговування або в аварійних ситуаціях.

- автоматизована система має знижувати простой обладнання, запобігати холостому ходу і сприяти оптимальному розподілу навантаження між приводами;

- конструкція системи автоматизації має бути відкритою до розширення – підключення додаткових модулів контролю або передачі даних, зокрема в систему моніторингу загального енергоспоживання зернокомплексу.

Система автоматизації для машини СМ-4 повинна не тільки забезпечувати стабільний технологічний процес очищення зерна, а й сприяти підвищенню надійності, якості продукції та зниженню витрат на обслуговування й енергоресурси.

4.3. Розробка та опис автоматизованої системи керування очищенням

Схема автоматизованого керування системою очищення зерна наведена в графічній частині проєкту.

Система автоматизованого керування очисною машиною СМ-4 забезпечує керування усіма технологічними вузлами, а також переміщенням машини вздовж бурта зернової маси. Основна особливість цієї системи полягає в здатності машини самостійно пересуватися як під час роботи (вздовж бурта), так і при зміні робочої позиції – без залучення зовнішніх транспортних засобів.

Принцип дії механізму самопересування.

Рух очисної машини забезпечується спеціальним приводом, який включає в себе храповий механізм, відкритий редуктор з циліндричними колесами, ланцюгові передачі, що приводять у дію ходові колеса, а також вал керування муфтами з кулачковим з'єднанням.

У робочому режимі обертання від електродвигуна (позначено як М2) передається на ходові колеса через храповий механізм, що забезпечує повільний поступальний рух машини. Для швидшого переміщення між рядами бurtів замикається кулачкова муфта, що забезпечує підключення більшої швидкості пересування.

Увімкнення основного електродвигуна М1, який забезпечує роботу очисних і транспортуючих органів, здійснюється за допомогою кнопок керування (наприклад, SB2 і SB4). Для запобігання аваріям при короткому замиканні в мережі система обладнана автоматичним вимикачем QF1. Захист двигунів від перевантаження

забезпечують теплові реле (КК1, КК2), які розмикають електричне коло в разі перевищення допустимого струмового навантаження.

Автоматичне регулювання подачі зерна.

Для зменшення участі оператора та покращення надійності, система оснащена механізмом автоматичного контролю рівня завантаження. Живильний вузол, який включає розподільний шнек, рухому заслінку та пружинний клапан-дозатор, реагує на надлишкове надходження зернової маси (M2). У разі свержзаповнення корпусу шнеку розподілення, матеріал-зерно тисне на клапан, який, у свою чергу, через систему упорів впливає на вимикач в кінці (SQ1). Цей сигнал активує електромагніт (YA1), розташований у приладі самопереміщення, який переміщує вгору фіксатор храпового колеса, зупиняючи рух машини.

Таким чином, подача зерна припиняється або сповільнюється до відновлення нормального рівня навантаження, після чого рух автоматично поновлюється. Така логіка роботи дозволяє забезпечити рівномірну подачу матеріалу на очисні решета і аспіраційні системи, запобігає перевантаженню вузлів і забезпечує оптимальні умови для якісного очищення.

4.4. Розробка схеми з'єднання

Розробка схеми з'єднання шафи керування системою очищення зерна передбачає врахування ряду загальних вимог, які забезпечують надійність, безпеку та ефективність роботи всієї установки. В першу чергу, схема повинна відповідати чинним нормативним документам щодо електробезпеки та електротехнічного проектування.

Електрообладнання, що використовується у схемі, повинно бути сертифікованим і призначеним для роботи в умовах запиленого середовища зернопереробних підприємств. Усі кабельні з'єднання мають виконуватись з урахуванням механічного захисту та ізоляції, а маркування провідників повинно бути чітким та зрозумілим для забезпечення швидкої діагностики у разі несправностей. Також важливо забезпечити надійне заземлення електрообладнання, особливо в умовах підвищеної вологості або на відкритих ділянках під навісом.

Шафа керування повинна бути розміщена у зручному для обслуговування місці, захищена від впливу зовнішніх факторів і мати систему вентиляції або охолодження, якщо того вимагає навантаження. Компонування схеми повинно забезпечувати логічну послідовність включення виконавчих механізмів, таких як двигуни, приводи транспортерів і системи аспірації, а також передбачати захист від коротких замикань, перевантажень і нештатних режимів.

Схема електрична з'єднання шафи керування системою очистки зернових наведена в графічній частині проєкту.

4.5. Складання схеми підключень

Складання схеми підключень для системи очищення зерна потребує дотримання основних принципів електромонтажу з урахуванням технічних, експлуатаційних та безпекових параметрів. Усі з'єднання повинні бути виконані згідно документів підписаного проєкту, з виконанням нормованих навантажень, типів провідників та перерізу кабелів.

Схема повинна забезпечувати просте й однозначне підключення електрообладнання з чітким розмежуванням силових і керуючих кіл, що значно знижує ризик помилок при монтажі чи обслуговуванні. Важливо дотримуватися кольорового маркування провідників і стандартів позначення, що уніфікує роботу з системою для різних спеціалістів. Усі клемні з'єднання мають бути доступними для контролю і надійно зафіксованими для уникнення вібраційних розривів.

Додатково слід передбачити можливість перевірки окремих ланцюгів без необхідності повного демонтажу. Наявність пояснювального креслення, а також резерву для можливого розширення або модернізації системи, підвищує довговічність та гнучкість всієї конструкції.

Схема електрична підключень системою очистки зернових наведена в графічній частині проєкту.

4.6. Складання специфікації на обладнання

Перелік матеріалів та обладнання для забезпечення системи автоматизації системи очищення зерна показано в розділі економічного обґрунтування реконструкції системи електрифікації у таблиці визначення капітальних витрат на реалізацію проєкту.

5. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 КВ ЗЕРНОКОМПЛЕКСУ

5.1. Загальні вимоги до електричної мережі

Вибір схеми живлення зернокомплексу базується на необхідності забезпечити стабільну роботу технологічного обладнання при існуючих умовах електроспоживання. З огляду на загальну потужність електроспоживання об'єкта та характер навантажень, обґрунтованим є застосування трифазної системи живлення з номінальною напругою 380/220 В змінного струму частотою 50 Гц. Така конфігурація дозволяє ефективно живити потужні електродвигуни машин та агрегатів, а також забезпечити однофазне навантаження для допоміжного обладнання.

Система заземлення виконується за типом TN-C-S, що відповідає вимогам безпеки при експлуатації сільськогосподарських об'єктів. Це означає, що нульовий захисний та робочий провідники об'єднані в одному PEN-провіднику на вводі, а далі розділяються на PE і N у розподільчому щиті. Усі металеві частини обладнання, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, обов'язково під'єднуються до системи захисного заземлення.

Розподіл електроенергії здійснюється через головний розподільчий щит, від якого живляться окремі лінії – для живлення очисної машини, транспортерів, аспіраційних установок та освітлення.

У схемі передбачено застосування автоматичних вимикачів, контакторів, теплових реле та елементів керування, що дозволяють локалізувати аварії, здійснювати контроль за параметрами мережі та забезпечувати безпечний запуск і зупинку обладнання..

5.2. Вибір кабелів для електричної мережі

Вибір кабелів для електричної мережі зернокомплексу виконується з урахуванням типу навантаження, умов прокладання, допустимого струмового навантаження, втрат напруги та середовища експлуатації. Оскільки зернокомплекс працює в умовах підвищеної запиленості, перепадів температур і вологості,

доцільно використовувати кабелі з підвищеним рівнем захисту, стійкі до механічних і хімічних впливів. Зазвичай для силових мереж застосовуються мідні кабелі типу ВВГнг-LS, які мають ізоляцію з полівінілхлориду, не підтримують горіння та придатні для прокладання як усередині приміщень, так і назовні в трубах або кабель-каналах. Для живлення очисної машини, транспортерів і аспіраційного обладнання використовуються кабелі перерізом 4–10 мм² залежно від номінального струму електродвигунів. При виборі перерізу проводів обов'язково враховується не лише величина струму навантаження, а й довжина кабельної лінії, щоб уникнути надмірних втрат напруги, які можуть впливати на роботу обладнання.

Для керуючих і сигнальних кіл використовуються багатожильні мідні кабелі типу КВВГ або АВВГ з перерізом 1,5–2,5 мм², що забезпечують надійну передачу керуючих сигналів і сумісність з елементами автоматизації. Усі кабелі повинні бути належним чином марковані, прокладені в захисних трубах або коробах у разі відкритого монтажу та закріплені згідно з монтажними нормами. Крім того, варто забезпечити запас довжини кабелів для можливого обслуговування або модернізації системи. Такий підхід до вибору кабелів гарантує безпеку, надійність та довговічність роботи електричної мережі зернокомплексу.

Для вибору кабелів електроприводу очисної машини СМ-4 слід враховувати потужність електродвигунів, тип мережі живлення (трифазна 380 В), спосіб прокладання кабелів, а також умови експлуатації (підвищена запиленість, волога, можливий вплив механічних навантажень).

Вихідні дані:

- потужність електродвигуна решітного механізму – 2,2 кВт;
- потужність електродвигуна механізму переміщення – 3,0 кВт;
- напруга живлення – 380 В;
- коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) – 0,8;
- ККД двигунів – близько 0,85;

Для орієнтовного визначення струму використаємо формулу:

$$I_{розр.} = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}, \quad (5.1)$$

Для двигуна 2,2 кВт:

$$I = \frac{2200}{1.73 \cdot 380 \cdot 0.8 \cdot 0.85} \approx 4.8 \text{ A.}$$

Для двигуна 3,0 кВт:

$$I = \frac{3000}{1.73 \cdot 380 \cdot 0.8 \cdot 0.85} \approx 6.6 \text{ A}$$

Умова вибору кабелів для живлення очисної машини наступна [9]:

$$I_{\text{тр.лр}} \geq I_{\text{розр.}} \quad (5.2)$$

За результатами розрахунків для обох двигунів цілком достатньо мідного чотирижильного кабелю з наступними характеристиками:

- для електродвигуна решітного механізму – кабель ВВГнг-LS (4×1.5 мм²), тривалодопустимий струм для даного кабелю становить 16 А;
- для електродвигуна механізму переміщення – кабель ВВГнг-LS (4×2.5 мм²), тривалодопустимий струм для даного кабелю становить 16 А.

Обидва кабелі призначені для стаціонарної прокладки, мають знижену горючість (нг), низький димовий та газовий викид (LS), що відповідає вимогам безпеки для сільськогосподарських об'єктів. Якщо передбачається прокладання кабелів на відкритому повітрі або в умовах ризику механічного пошкодження, рекомендовано застосовувати металорукав або захисні труби.

5.3. Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів

Розрахунок і вибір автоматичних вимикачів для електродвигунів очисної машини СМ-4 виконується з урахуванням номінального струму навантаження, пускових струмів, часу спрацювання та умов захисту кабельної лінії й самого

двигуна. Основне завдання – захистити ланцюг від перевантаження та короткого замикання.

У процесі вибору захисного обладнання було детально проаналізовано основні чинники, які істотно впливають на результативність його роботи:

$$U_{ном} = U_{мережі}, \quad (5.3)$$

$$I_{ном.ав} \geq I_{розрах}, \quad (5.4)$$

$$I_{відс.} \geq I_{пуск}, \quad (5.5)$$

$$I_{пуск} = \sum I_{ном} + \Delta I, \quad (5.6)$$

$$I_{відс.} = k \cdot \sum I_{ном}, \quad (5.7)$$

Таким чином, беремо до установки автоматичні вимикачі від вітчизняного виробника АСКО. Для захисту лінії очищення зернових обираємо автоматичний вимикач триполюсний диференційний типу ДВ-2006. Технічні характеристики апарату наведено в таблиці 5.1.



Рис. 5.1. Диференційний автоматичний вимикач ДВ-2006

Таблиця 5.1. – Технічні характеристики ДВ-2006

Виробник / Бренд:	АСКО-УКРЕМ
Тип обладнання:	Автоматичний вимикач диф. струму (АВДС)
Номінальний струм:	16 А
Струм витоку, мА:	30
Кількість полюсів:	4 шт.
Кількість модулів:	4 шт.
Номінальна напруга:	220 В
Відключна здатність, кА:	4.5 кА
Часострумова характеристика:	С
Спосіб монтажу:	DIN-рейка

5.4. Вибір магнітних пускачів та теплових реле

Вибір магнітних пускачів для лінії очищення зерна є важливим етапом у забезпеченні надійної та ефективної роботи всього технологічного процесу. Магнітні пускачі використовуються для дистанційного керування електродвигунами, які приводять у дію окремі вузли та агрегати лінії, такі як транспортери, вентилятори, сепаратори, норії тощо. При виборі пускачів слід враховувати потужність і номінальний струм двигунів, до яких вони підключаються, тип і режим роботи електроприймачів, умови навколишнього середовища, частоту включень і вимкнень, а також необхідність забезпечення теплового захисту.

Окрім цього, головне приділити увагу на нормованість пускачів чинним стандартам і вимогам безпеки, зокрема щодо класу захисту, стійкості до пилу та вологи, що є актуальним для умов агропромислового виробництва. Вибір пристроїв також залежить від схеми автоматизації: у разі потреби програмного або послідовного запуску агрегатів можуть застосовуватися пускачі з додатковими блок-контактами або модулі з реле часу. Оптимальне рішення передбачає використання пускачів із вбудованим тепловим реле, що забезпечує захист електродвигунів від перевантаження. Таким чином, правильно підібрані магнітні пускачі сприяють безпечному функціонуванню обладнання, зменшенню ризику аварій і зниженню експлуатаційних витрат.

МП вибираємо за такими основними умовами:

$$U_{ном} \geq U_{двигуна}; \quad (5.8)$$

$$I_{ном} \geq I_p; \quad (5.9)$$

$$U_{кот.кер} \geq U_{мережі}. \quad (5.10)$$

Додатково враховуємо категорію розміщення, кліматичне виконання, ступінь захисту від навколишнього середовища.

Для системи очищення зерна обираємо пускачі АСКО. Для електродвигунів механізму переміщення та решітного механізму приймаємо до установки магнітний пускач АСКО ПМ 1-12-10 220В (рис. 5.2). Технічні параметри наведено в таблиці 5.2.



Рис. 5.2. Електромагнітний пускач АСКО ПМ 1-12-10 220В

Таблиця 5.2. Технічні характеристики АСКО ПМ 1-12-10 220В

- номінальна робоча напруга силових контактів: **~220/380/660 В**
- напруга ізоляції: **660 В**
- номінальний робочий струм (АС-1): **20А**
- номінальний робочий струм (АС-3): **12А**
- номінальний робочий струм (АС-4): **5А**
- номінальна робоча напруга котушки керування: **220 В**
- діапазон ввімкнення робочої напруги котушки керування: **80-110% Us**
- діапазон вимкнення робочої напруги котушки керування: **30-60% Us**
- кількість і вид контактів: **3NO+1NO**
- електрична зносостійкість по АС-3: **1 500 000 циклів**
- механічна зносостійкість по АС-3: **10 000 000 циклів**
- габаритні розміри ГхШхВ: **80x45x71 мм**
- ступінь захисту: **IP20**

Вибір електротеплових реле є ключовим етапом у забезпеченні захисту електродвигунів від перевантаження при тривалій роботі, що особливо актуально для сільськогосподарського обладнання, зокрема на лінії очищення зерна. Основним критерієм при виборі реле є відповідність діапазону струмового налаштування параметрам електродвигуна, зокрема його номінальному струму. Реле має спрацьовувати у разі перевищення цього струму понад допустимі межі, але не реагувати на короткочасні пускові струми.

До уваги береться також тип навантаження та режим роботи двигуна – при частих пусках або тривалому режимі з піковими навантаженнями слід обирати реле з можливістю тонкого регулювання струмового діапазону. Умови експлуатації – вологість, запиленість, температура навколишнього середовища – також впливають на вибір: у складних умовах доцільно використовувати реле з підвищеним ступенем захисту. Важливим є наявність ручного або автоматичного скидання, можливість дистанційної індикації спрацювання, а також сумісність реле з конкретною серією магнітних пускачів, що застосовуються в системі.

Таким чином, вибір електротеплового реле повинен забезпечити надійний захист електродвигуна, адаптацію до режиму роботи обладнання та відповідність технічним умовам об'єкта, що сприяє безаварійній роботі всієї лінії та зменшенню простоїв.

5.5. Вибір розподільчих та шаф керування

Вибір розподільчих пристроїв та шаф керування для лінії очищення зерна є важливою складовою проєктування електротехнічної частини системи автоматизації, оскільки від цього залежить стабільність, безпека та зручність в експлуатації обладнання. Основним критерієм вибору є потужність та кількість електроспоживачів, що підключаються, а також рівень автоматизації технологічного процесу. Розподільчі пристрої повинні забезпечувати надійний розподіл електроенергії між усіма споживачами, захист мережі від коротких замикань,

перевантажень, а також мати можливість для подальшої модернізації або розширення.

Шафи керування обираються з урахуванням конфігурації лінії, кількості та типу електродвигунів, необхідності локального або дистанційного керування, а також специфіки роботи окремих технологічних вузлів. Важливу роль відіграє вибір ступеня захисту корпусу (IP), особливо зважаючи на запиленість та вологість у сільськогосподарських приміщеннях. У конструкції шаф передбачаються монтажні рейки для кріплення магнітних пускатів, реле, автоматичних вимикачів, клемних блоків, приладів індикації та елементів управління. Також доцільно враховувати ергономіку доступу до елементів керування, можливість провітрювання або охолодження у разі великого тепловиділення.

Таким чином, правильно обрані розподільчі пристрої та шафи керування сприяють ефективному функціонуванню лінії очищення зерна, підвищують рівень безпеки персоналу та забезпечують зручність технічного обслуговування і ремонту.

5.6. Складання специфікації на матеріали на обладнання

Складання специфікації на матеріали та обладнання для лінії очищення зерна є завершальним етапом технічного проєктування електротехнічної частини та відіграє важливу роль у плануванні закупівель, монтажу і подальшої експлуатації системи. Специфікація включає в себе перелік усіх необхідних компонентів з точним зазначенням їхніх технічних характеристик, кількості, одиниць виміру, маркування, виробника та, за потреби, місця встановлення.

До переліку обладнання входять магнітні пускаті відповідного номінального струму і типу керування, електротеплові реле для захисту двигунів, автоматичні вимикачі, клемники, кнопкові постіви, сигнальні лампи, кінцеві вимикачі, а також контактори, трансформатори струму та реле часу у разі застосування елементів автоматизації. Обов'язково вказуються типи електродвигунів, що використовуються на окремих машинах, з урахуванням їх потужності, напруги живлення, кількості обертів та конструктивного виконання.

До матеріалів зазвичай включають кабельно-провідникову продукцію з зазначенням типу кабелю, перерізу, кількості жил, довжини та виду ізоляції; труби або лотки для прокладання кабелів; електротехнічні коробки; ізолювальні матеріали; маркувальні елементи; заземлювальні елементи; кріплення. У специфікації також наводяться технічні характеристики розподільчих щитів і шаф керування – їхній тип, габарити, ступінь захисту, матеріал корпусу, а також склад внутрішнього оснащення.

Коректно складена специфікація забезпечує прозорість для монтажної організації, дозволяє уникнути перевитрат, спрощує логістику постачань та є основою для складання кошторису і закупівельної документації.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація роботи з охорони умов робочих місць на зернових установках.

Організація роботи з охорони умов робочих місць є складовою частиною складу суцільної системи керування фермерством і направлена на забезпечення безпечних і здорових умов праці для працівників. Керування охороною умов робочих місць планує точне планування заходів із передбаченням виробничої шкоди організму і професійним захворюванням, визначення відповідальних осіб, розробку відповідних нормативних документів, а також контроль за їх виконанням.

Планування міроприємств з охорони робочих умов виконується на підставі аналізу виробничих ризиків, результатів перевірок та аудиту умов праці. У річному плані передбачаються конкретні заходи щодо модернізації обладнання, поліпшення умов здійснення труда, рекомендацій та навчання, а також заходи з профілактики виробничого травматизму. Фінансування міроприємств з охорони умов робочих місць здійснюється відповідно до чинного законодавства, як правило, у розмірі не менше ніж 0,5% від фонду оплати праці. Кошти спрямовуються на закупівлю засобів індивідуального захисту, проведення медоглядів, навчання працівників, перекваліфікацією робочих місць, удосконалення побутових умов тощо.

У колективному договорі зернокомплексу, як правило, передбачено окремий розділ «Охорона праці», в якому визначені зобов'язання роботодавця щодо організації нешкідливих обставин праці, видачі спецпокриття шкіри та ЗІЗ, проведення навчань і медоглядів. Також фіксуються обов'язки працівників щодо дотримання вимог охорони обставин труда та системи відслідковування і міри за їх порушення.

Навчання з охорони обставин роботи здійснюється з умовами нормативної документації. На господарстві необхідно, щоб були затверджені програми навчання та рекомендації з охорони обставин роботи для кожної професії, книги фіксування при вступі, перед роботою, повторного, не за планом та направлено інструктажів, документація фіксування перевірки знань, а також документи про проходження

атестації. Всі працівники перед допуском до роботи проходять інструктажі та навчання, а також періодичне перевіряння знань.

Підприємство забезпечує працівників потрібними спецречами, спецобувкою та засобами особистого захищення відповідно до умов праці. Для забезпечення гігієни праці та відпочинку облаштовуються санітарно-побутові приміщення: гардеробні, душові, кімнати відпочинку, їдальні, пункти медичної допомоги. Усе це повинно відповідати нормам і стандартам безпеки.

Відповідальність за організацію роботи з охорони обставин роботи призначається на керівника підприємства, головного інженера, інженера з охорони обставин труда, відповідальних за підрозділи. Вони зобов'язані контролювати стан робочих місць, впроваджувати міроприємства щодо усунування знайдених невідповідностей, здійснювати розслідування нещасних випадків, а також сприяти навчанню працівників. Недотримання вимог охорони праці передбачає дисциплінарну, адміністративну або кримінальну відповідальність.

Таким чином, ефективна організація роботи з охорони обставин роботи на зернооб'єкті базується на системному погляді до керування небезпек, виконанні умов нормативної документації, відповідному фінансуванні та постійному контролі за дотриманням правил безпеки [13, 14, 15].

Чинники небезпек, що впливають на працівників зернокомплексу. Працівники зернокомплексу зазнають впливу низки небезпечних та хворобливих виробничих чинників, що можуть негативно впливати на їхнє здоров'я, працездатність та безпеку. Ці фактори мають різне походження – фізичне, хімічне, біологічне, а також пов'язані з особливостями технологічних процесів.

Одним з основних небезпечних факторів є запиленість повітря робочої зони. Під час переміщення, сушіння, очищення та зберігання зерна в повітрі утворюється велика кількість пилу органічного походження, який може спричинити алергічні реакції, хронічні захворювання дихальних шляхів (бронхіти, астму), а також створювати вибухонебезпечне середовище.

Серед фізичних факторів слід виокремити високий рівень шуму від роботи транспортерів, вентиляторів, сушарок та іншого обладнання. Тривалий вплив шуму може викликати зниження слуху, підвищену стомлюваність і нервову

перенапруження. Також мають значення вібрації від роботи техніки, особливо для операторів зерноочисних і сушильних машин.

Температурний режим на зернокомплексах також є важливим фактором: у сушильних зонах можуть бути високі температури, що спричиняє теплове навантаження на організм, а в неопалюваних приміщеннях узимку – переохолодження. Крім того, існує ризик опіків від гарячих поверхонь або вогню при несправності сушарного обладнання.

До хімічних шкідливих факторів належать випари пестицидів, гербіцидів, засобів для фумігації зерна, залишки яких можуть бути присутні в сировині. Контакт із цими речовинами без належного захисту може призвести до отруєнь або накопичення токсичних речовин в організмі.

Також не варто ігнорувати біологічні фактори – можливість розвитку мікроорганізмів, грибків, спор цвілі у вологому або зіпсованому зерні. Ці агенти можуть спричинити серйозні захворювання дихальних шляхів, дерматити та алергічні реакції.

Серед механічних небезпек варто зазначити ризики травмування при роботі з рухомими частинами обладнання, транспортними механізмами, під час навантаження-розвантаження зерна. Часто працівники можуть зазнати порізів, забоїв або навіть ампутацій у разі порушення техніки безпеки.

Усі ці фактори потребують обов'язкової ідентифікації, аналізу ризиків та впровадження заходів захисту: використання засобів індивідуального захисту, належної вентиляції, своєчасного обслуговування обладнання, системного навчання персоналу та організації медичного нагляду..

Модернізація щодо застосування відповідних обставин труда на зернооб'єкті. Для впровадження відповідних обставин роботи на зернооб'єкті доцільно реалізувати комплекс заходів, що охоплюють усі аспекти виробничої діяльності та передбачають активну участь як керівництва, так і працівників.

Насамперед слід розробити і впровадити ефективну систему управління охороною праці. Це передбачає постійне виявлення небезпечних і шкідливих факторів, оцінку професійних ризиків, передбачення профілактичних міроприємств, моніторинг дотримання вимог безпеки та постійне вдосконалення виробничих

процесів. Важливо забезпечити регулярне оновлення інструкцій, програм навчання та інструктажів із урахуванням змін у технології, обладнанні та нормативній базі.

Рекомендується приділяти особливу увагу вентиляції приміщень та системам аспірації, які дозволяють зменшити запиленість повітря, що є одним з найнебезпечніших факторів на зернокомплексі. У місцях підвищеного шуму необхідно встановлювати шумоізоляційні екрани або організовувати чергування з обмеженням тривалості впливу шуму, а працівникам видавати відповідні засоби захисту слуху.

Необхідно організувати обов'язкове медичне обстеження працівників при прийомі на роботу та періодичні профілактичні огляди. Це дозволяє своєчасно виявляти початкові ознаки профзахворювань та вживати заходів для запобігання їх розвитку.

Забезпечення працівників сертифікованим спецобувкою, спецвбранням та різними речами особистого захищення (окулярами, рукавицями) є обов'язковою умовою. Видача ЗІЗ має бути фіксована в спеціальних журналах, а самі засоби повинні бути підібрані відповідно до конкретних виробничих умов.

Важливо створити комфортні санітарно-побутові умови: обладнані шафи, приміщення використання душу, приміщення для їдалень, підхід до питної води. Це не лише сприяє дотриманню гігієнічних норм, але й підвищує рівень задоволеності працівників.

Одним із ключових напрямів є підвищення рівня свідомості та відповідальності працівників щодо питань безпеки. Для цього слід систематично проводити тренінги з охорони обставин роботи, збори, тренування щодо дій у разі аварійних ситуацій. Доцільно запроваджувати мотиваційні механізми — преміювання за дотримання вимог безпеки або участь у програмах з поліпшення умов праці.

Крім того, має бути чітко визначена відповідальність посадових осіб за виконання приписів з охорони роботи. Періодичні перевірки, аудит, оперативне усунення виявлених недоліків і ведення відповідної документації забезпечують контроль та зменшення виробничих ризиків.

Комплексне впровадження зазначених рекомендацій дозволяє не лише знизити рівень виробничого травматизму та захворюваності, а й покращити загальний

морально-психологічний клімат у працівників, підняти показники продуктивність роботи та зміцнити репутацію підприємства як відповідального роботодавця.

Висновки. Забезпечення безпечних і здорових умов праці є важливою складовою ефективної роботи підприємства. Моніторинг структури керування охороною обставин роботи вказує на необхідність комплексного підходу, який включає планування, фінансування, навчання персоналу, забезпечення речами особистого захищення, формування належних санітарно-побутових умов та функційне призначення керуючих осіб за посадами. Самими небезпечними та шкідливими факторами на зернокомплексі є запиленість повітря, шум, вібрація, висока температура, хімічні речовини та ризик травмування при роботі з технікою. Їхній вплив може призвести до професійних захворювань, нещасних випадків і зниження працездатності персоналу.

Для покращення ситуації необхідно впроваджувати сучасні засоби захисту, вдосконалювати технічне обладнання, проводити регулярні інструктажі й навчання, організувати медичне спостереження та стимулювати дотримання правил надійності умов роботи. Головне завдання створення культури безпеки праці на всіх рівнях виробництва.

Отже, впровадження системного підходу до охорони праці на зернокомплексі сприяє зниженню виробничих ризиків, збереженню життя та здоров'я працівників, підвищенню продуктивності та стабільності виробничого процесу.

7. ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА

Вступ. Екологічний стан сільськогосподарських підприємств є важливим фактором сталого розвитку аграрного сектору, особливо в умовах зростаючої уваги до збереження довкілля. У цьому розділі розглянуто основні екологічні аспекти діяльності зернокомплексу СФГ «Гаї», розташованого в Роменському районі Сумської області. Аналіз екологічного впливу господарської діяльності підприємства дозволяє оцінити рівень використання природних ресурсів, можливі джерела забруднення навколишнього середовища. Головний напрям призначений темам утилізації відходів, раціональному використанню енергетичних ресурсів і мінімізації викидів у повітря та воду, що є важливими чинниками екологічної безпеки регіону..

Вплив. Вплив діяльності зернокомплексу на людей, флору та фауну є багатокомпонентним і проявляється як у безпосередній зоні функціонування підприємства, так і на прилеглих територіях. Одним із найважливіших факторів є забруднення атмосферного повітря пиловими частинками, які утворюються під час сушіння, очищення та транспортування зерна. Ці викиди можуть містити залишки пестицидів, сполуки азоту, а також мікрочастинки органічного походження, які в разі тривалого вдихання здатні викликати алергічні симптоми, тривалі хвороби системи дихання, псування загального самопочуття працівників і населення навколишніх населених пунктів. В особливо несприятливих метеоумовах концентрація забруднювальних речовин у повітрі може перевищувати допустимі санітарні норми.

Шумове навантаження є ще одним фактором, який негативно впливає на фізіологічний та психологічний стан людей. Постійне функціонування вентиляторів, зерносушарок, транспортерів створює високий рівень шуму, що може призвести до зниження слуху, порушень сну, підвищеної втомлюваності та дратівливості. Також шум справляє деструктивний вплив на фауну, змушуючи тварин змінювати місця проживання, порушує міграційні шляхи птахів та знижує рівень відтворення популяцій у дикій природі.

Щодо рослинного світу, то постійне осідання пилу на листках і поверхні ґрунту порушує природні процеси фотосинтезу, газообміну та водного обміну в рослинах. Це може призвести до зниження врожайності прилеглих сільськогосподарських угідь, зменшення чисельності дикорослих видів, зникнення чутливих до забруднення рослин. У разі потрапляння забруднювальних речовин у ґрунт можливе зниження його родючості, порушення мікрофлори та накопичення токсичних елементів у харчовому ланцюзі.

Фауна також зазнає впливу внаслідок шуму, забруднення повітря, вод і ґрунтів. Дрібні ссавці, земноводні, комахи та птахи можуть бути витіснені з територій навколо зернокомплексу, що веде до зменшення біорізноманіття, порушення природного балансу екосистем. Крім того, при недотриманні правил зберігання і транспортування пального або хімікатів можливе забруднення водойм, що спричиняє загибель водної флори і фауни, а також створює потенційну загрозу для сільськогосподарських культур та тваринництва.

Заходи. З метою зниження негативного впливу діяльності зернокомплексу на навколишнє середовище необхідно впроваджувати комплекс організаційно-технічних та екологічних зусиль, направлених на маленьке забруднення повітря, води, ґрунтів та на пониження впливу на здоров'я людей, флору та фауну. Одним із першочергових напрямів є модернізація технологічного обладнання – встановлення пиловловлювальних систем, фільтрів та аспіраційних установок на ділянках сушіння та очищення зерна. Це дозволить суттєво зменшити концентрацію пилу в повітрі та поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці.

Також важливим є облаштування шумопоглинаючих екранів або ізоляція джерел підвищеного шуму, що сприятиме зменшенню акустичного навантаження як на працівників підприємства, так і на екологію. Заощадне розміщення зерносховищ і виробничих об'єктів із урахуванням санітарно-захисних зон допоможе знизити ризики для здоров'я населення прилеглих територій.

Для попередження забруднення ґрунтів і вод необхідно дотримуватися правил зберігання та транспортування пально-мастильних матеріалів, мінеральних добрив і засобів захисту рослин, виключаючи можливість їхнього потрапляння у навколишнє середовище. Важливо облаштувати спеціальні майданчики для тимчасового

зберігання відходів, проводити їх сортування та організувати своєчасне вивезення або утилізацію згідно з вимогами екологічного законодавства.

Доцільним є також проведення постійного екологічного моніторингу стану атмосферного повітря, ґрунтів та водних об'єктів поблизу зернокомплексу. Це дозволить своєчасно виявляти і локалізувати потенційні джерела забруднення, а також застосовувати результуючі управлінські рішення щодо збереження природи. Крім того, на часі проводити навчання персоналу з питань екологічної безпеки, що сприятиме формуванню відповідального ставлення до природоохоронних заходів на всіх рангах відділів.

Висновки. У результаті проведеного аналізу встановлено, що діяльність зернокомплексу СФГ «Гаї Роменського району Сумської області має певний екологічний наслідок на природу, а саме на якість повітря, шарів землі, водних джерел, на самопочуття людей, флору і фауну. Основними джерелами екологічного навантаження є пилові викиди, шумове забруднення, можливе забруднення ґрунтів і вод продуктами технічного обслуговування та залишками сільськогосподарських хімікатів. Водночас, вжиття комплексу заходів, таких як встановлення пиловловлювальних систем, шумоізоляція обладнання, належне поводження з відходами, дотримання вимог щодо зберігання хімічних речовин і паливно-мастильних матеріалів, а також здійснення постійного екологічного моніторингу, дає змогу суттєво знизити шкідники на природу.

8. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Ефективне функціонування зернопереробного комплексу значною мірою залежить від надійності та енергоефективності його електротехнічної інфраструктури. З урахуванням зростання вартості енергоресурсів та необхідності зниження експлуатаційних витрат, виникає потреба в модернізації систем електропостачання та впровадженні енергозберігаючих технологій.

Метою даного розділу є аналіз економічної доцільності здійснення планових рішень щодо реконструкції системи електрифікації зернокомплексу. Зокрема, розглядаються витрати на електроенергію до та після реалізації проєкту, розраховується потенційна економія коштів, а також визначається термін окупності інвестицій. Економічне обґрунтування є важливим критерієм прийняття рішень щодо реалізації технічних змін у виробничій інфраструктурі.

1. Розрахунок споживання електроенергії:

$$P_{вст} = P_1 + P_2; \quad (8.1)$$

$$P_{вст} = 3,0 \text{ кВт} + 2,2 \text{ кВт} = 5,2 \text{ кВт}$$

$$W_{міс} = P_{вст} \cdot t_{роб}; \quad (8.2)$$

$$W_{міс} = 5,2 \cdot 176 = 915,2 \text{ кВт}\cdot\text{год} / \text{міс}$$

2. Вартість електроенергії після модернізації:

$$C_{міс} = W_{міс} \cdot C_{ел}; \quad (8.3)$$

$$C_{міс} = 915,2 \times 5 = 4576 \text{ грн} / \text{міс}$$

3. Витрати до реконструкції:

$$C_{\text{до}} = W_{\text{до}} \cdot C_{\text{ел}} \quad (8.4)$$

$$C_{\text{до}} = 1500 \cdot 5 = 7500 \text{ грн / міс}$$

4. Економія:

$$E_{\text{міс}} = C_{\text{до}} - C_{\text{міс}}; \quad (8.5)$$

$$E_{\text{міс}} = 7500 - 4576 = 2924 \text{ грн / міс}$$

$$E_{\text{річ}} = E_{\text{міс}} \cdot 12; \quad (8.6)$$

$$E_{\text{річ}} = 2924 \times 12 = 35088 \text{ грн / рік}$$

5. Термін окупності:

$$T_{\text{окупн}} = B_{\text{обл}} / E_{\text{міс}}; \quad (8.7)$$

$$T_{\text{окупн}} = 42795 / 2924 \approx 14.6 \text{ місяців } (\sim 1,5 \text{ сезони})$$

Висновки. Реконструкція з автоматизацією та енергоощадними електродвигунами забезпечує економію до 35 000 грн/рік. Окупність інвестицій у 42795 грн становить приблизно 14.6 місяців, що відповідає 1,5 виробничим сезонам. Це підтверджує ефективність проєкту.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз господарської діяльності СФГ «Гай» дозволив виявити основні проблеми існуючої системи електрифікації зернокомплексу, які негативно впливають на ефективність роботи підприємства та якість технологічного процесу післязбиральної обробки зерна. Розроблена реконструкція системи електрифікації забезпечує підвищення надійності та безпеки електропостачання зернокомплексу, що сприяє безперебійній роботі технологічного обладнання. Вибір та перевірка електроприводу технологічних машин лінії очищення зерна підтвердили їх відповідність вимогам технологічного процесу, що гарантує ефективне і стабільне функціонування обладнання.

Автоматизована система керування лінією очищення зерна, розроблена в межах проекту, дозволяє оптимізувати технологічний процес, підвищити точність контролю та знизити трудові витрати, що позитивно впливає на загальну продуктивність зернокомплексу. Проект електричної мережі напругою 0,4 кВ враховує всі технічні та безпекові вимоги, включно з правильним вибором кабелів, автоматичних вимикачів та захисних пристроїв, що забезпечує стабільну роботу системи електропостачання.

Запропоновані заходи з охорони праці та екології інтегровані у проектну документацію, що створює безпечні умови роботи персоналу і мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище. Економічне обґрунтування показало, що реконструкція системи електрифікації та впровадження автоматизації лінії очищення зерна є доцільними, оскільки дозволяють знизити експлуатаційні витрати і підвищити ефективність роботи зернокомплексу.

Реконструкція з автоматизацією та енергоощадними електродвигунами забезпечує економію до 35 000 грн/рік. Окупність інвестицій у 42795 грн становить приблизно 14.6 місяців, що відповідає 1,5 виробничим сезонам. Це підтверджує ефективність проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zhang, Y., Li, H., & Chen, W. (2020). Design and implementation of an automated grain cleaning system based on machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105239.
2. Jones, M., & Patel, R. (2021). Optimization of automated grain cleaning using sensor fusion and AI algorithms. *Biosystems Engineering*, 207, 15-27.
3. Vasylychenko O.O., Khvorost T.V., Semernia O.V., Kindia O.P. (2021). *Occupational Safety Methods for Engineering Students*. Sumy: SNAU.
4. Kumar, A., & Singh, R. (2021). Trends in automation for grain processing. *Journal of Food Systems Engineering*, 12(1), 45-60.
5. ДСТУ EN 60204-1:2022. Безпека машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги.
6. Степаненко В.В. (2022). Енергоефективність у системах електропостачання агропідприємств. Харків: УІЕ.
7. Lee, J., & Kim, S. (2021). IoT-based grain monitoring system. *Sensors*, 21(7), 2538.
8. Григоренко А.С. (2023). *Проектування систем автоматизації у зернопереробці*. К.: Агро Наука.
9. Положення про енергетичний аудит підприємств агропромислового комплексу (затверджено Мінагрополітики України, 2023).
10. Ємельянов Д.П. (2020). *Системи електропостачання промислових об'єктів*. Львів: Політехніка.
11. Андрусенко Л.О. (2021). *Надійність і діагностика електрообладнання*. Запоріжжя: ЗНТУ.
12. Vasquez, R. & Molina, D. (2022). Renewable energy integration in agricultural electricity systems. *Energy Reports*, 8, 2013-2020.
13. Бондаренко М.І. (2024). *Автоматизація зернових потоків*. Суми: СНАУ.
14. Постнікова М.В., Квітка С.О. (2022). *Методичні вказівки до проектування розподільчих мереж*. Мелітополь: ДАТУ.

15. Мартиненко І.І. (2023). Основи електропостачання агросектору. Кропивницький: ЦНТУ.
16. Kataria, N., & Huang, L. (2020). Advanced control algorithms for grain processing. *Int. J. Automation*, 56(3), 140-153.
17. ISO 12100:2020. Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.
18. Online Resource: АСКО офіційний каталог (2023) – <https://www.acko.ua>
19. Online Resource: ABB low voltage motors (2023) – <https://new.abb.com/motors-generators/low-voltage-motors>
20. Online Resource: Кабельна продукція ПВС (2024) – <https://www.avtomats.com.ua>
21. Чепіжний А.В., Шашков С.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційного проекту, ступеня вищої освіти «Бакалавр» для здобувачів вищої освіти 4 та 2 с. т. курсів інженерно-технологічного факультету спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», денної та заочної форм навчання.– Суми: Сумський НАУ, 2024. – 33 с.
22. Василенко О.О., Хворост Т.В, Семерня О.В., Кіндя О.П. (2021). Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в випускних роботах студентами спеціальностей 208 «Агроінженерія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 «Електрична інженерія», 275 «Транспортні технології» галузь знань 27 «Транспорт» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Суми: СНАУ, 14.