

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

«На правах рукопису»

УДК 631.364:621.311.24:631.115.1(477.53)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри

«Електротехніка і електромеханіка

доц. _____ С. В. Чаусов

"16" червня 2026 року

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ
ЕНЕРГІЇ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ФГ «АГРО-ПЕРЕМОГА»
МИРГОРОДСЬКОГО РАЙОНУ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ

Виконав: 4 курсу, 41 ЕЕ групи

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Здобувач вищої освіти

_____ М. А. Леонов
(підпис)

Керівник, к.т.н., доцент

_____ А. Г. Сабо
(підпис)

Консультант, к.т.н., доцент

_____ М. В. Зоря
(підпис)

Консультант, к.е.н., доцент

_____ С. Р. Плотніченко
(підпис)

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

_____ А. Г. Сабо
(підпис)

Рецензент, к.т.н., професор кафедри ЕЕЕ ПЕЕ

_____ Г. В. Омеляненко
(підпис)

Запоріжжя, 2026р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Факультет: Енергетики і комп'ютерних технологій

Кафедра: Електротехніка і електромеханіка імені професора В.В. Овчарова

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

"Електротехніка і електромеханіка
імені професора В.В.Овчарова"

к.т.н., доц. _____ Сергій Чаусов

" 10 " березня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ

Леонову Микиті Андрійовичу
1. Тема роботи: Електрифікація з використанням відновлювальних джерел енергії зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області
Керівник проєкту: Сабо А.Г., к.т.н., доцент. Затверджено наказом ректора університету від 30 вересня 2024 року № 451-С.
2. Строк подання здобувачем проєкту: 12 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до проєкту: статистичні дані, технічне завдання на кваліфікаційний проєкт, матеріали виробничих та переддипломних практик, нормативні документи, науково-технічна література, електронні ресурси та ін.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ.
1. Аналіз виробничо-господарської діяльності ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області
2. Розрахунок електричних навантажень та вибір схеми електропостачання
3. Використання відновлювальних джерел енергії
4. Розробка електричних схем
5. Охорона праці
6. Економічне обґрунтування проєкту
Висновки.
Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників):

1. Зерносушильний комплекс. Схема структурна електропостачання
2. Зерносушильний комплекс. Схема електрична функційна
3. Зерносушильний комплекс. Схема електрична розташування
4. Зерносушильний комплекс. Схема електрична принципова
5. Автоматичний Ввід Резерву. Схема електрична принципова
6. Автоматичний Ввід Резерву. Схема електрична з'єднань

6. Консультанти розділів (підрозділ) проєкту

Розділ (підрозділ)	П.І.Б, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	Зоря М. В., к.т.н., доцент	28.05.2026	12.06.2026
6	Плотніченко С. Р., к.е.н., доцент	09.06.2026	12.06.2026

7. Дата видачі завдання: 10 березня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Аналіз виробничо-господарської діяльності ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області	17.03.2026р	
2. Розрахунок електричних навантажень та вибір схеми електропостачання	31.03.2026 р.	
3. Використання відновлювальних джерел енергії	21.04.2026 р.	
4. Розробка електричних схем	19.05.2026 р.	
5. Охорона праці	28.05.2026 р.	
6. Техніко-економічні розрахунки і показники проєкту	09.06.2026 р.	
7. Підпис керівником проєкту	12.06.2026 р.	
8. Підпис завідувачем кафедри	16.06.2026 р.	

Здобувач _____ М. А. Лєонов

Керівник проєкту, к.т.н., доцент _____ А. Г. Сабо

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ ТА ВИХІДНІ ДАНІ	9
1.1. Загальна характеристика зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»	9
1.2. Технологічний процес сушіння зерна	12
1.3. Характеристика електроспоживачів комплексу	15
1.4. Категорії надійності електропостачання.....	19
1.5. Вихідні дані для проектування	22
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	26
2.1. Розрахунок електричних навантажень.....	26
2.2. Визначення максимальних та розрахункових потужностей.....	29
2.3. Вибір джерел електропостачання.....	32
2.4. Вибір напруги та схеми електропостачання.....	36
2.5. Компенсація реактивної потужності.....	39
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	44
3.1. Обґрунтування доцільності застосування ВДЕ	44
3.2. Вибір типу відновлюваних джерел енергії	46
3.3. Розрахунок потужності ВДЕ	50
3.4. Інтеграція ВДЕ у систему електропостачання комплексу	54
3.5. Оцінка ефективності використання ВДЕ	57
Висновки до розділу 3	60
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ	62
4.1. Схема електрична принципова	62
4.2. Схема електрична функціональна	64
4.3. Схема електрична розташування.....	66
4.4. Схема електрична з’єднань.....	68

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Висновки до розділу 4	71
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА	73
5.1. Електробезпека на об'єкті.....	73
5.2. Захист від ураження електричним струмом	75
5.3. Пожежна безпека та заземлення.....	77
Висновки до розділу 5	80
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	82
6.1. Визначення капітальних вкладень у систему електрифікації зерносушильного комплексу	82
6.2. Розрахунок річного споживання електроенергії зерносушильного комплексу .	85
6.3. Визначення витрат на електроенергію до та після впровадження сонячної електростанції	88
6.4. Розрахунок економії електроенергії від використання відновлюваних джерел енергії.....	91
6.5. Визначення енергоозброєності та енергоємності виробництва.....	94
6.6. Розрахунок річного економічного ефекту від впровадження сонячної електростанції	97
6.7. Визначення коефіцієнта економічної ефективності капітальних вкладень	100
6.8. Розрахунок строку окупності проєкту	102
6.9. Аналіз економічної доцільності впровадження системи електрифікації з використанням ВДЕ	104
Висновки до розділу 6	107
ВИСНОВКИ	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113
ДОДАТКИ	116

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АКБ – акумуляторна батарея

АС – автоматизована система

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ВРУ – ввідно-розподільчий пристрій

ГРЩ – головний розподільчий щит

КЗ – коротке замикання

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЛЕП – лінія електропередачі

НКУ – низьковольтний комплектний пристрій

ПЛ – повітряна лінія

ПС – підстанція

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

РЗА – релейний захист та автоматика

СЕС – сонячна електростанція

ТП – трансформаторна підстанція

ФГ – фермерське господарство

ФЕМ – фотоелектричний модуль

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку агропромислового сектору України особливого значення набуває питання підвищення енергоефективності сільськогосподарських підприємств та впровадження альтернативних джерел енергії. Одним із найбільш енергоємних об'єктів аграрної галузі є зерносушильні комплекси, які споживають значні обсяги електричної енергії під час виконання технологічних процесів сушіння, транспортування, очищення та зберігання зерна. Постійне зростання тарифів на електроенергію, нестабільність енергопостачання та необхідність забезпечення енергетичної незалежності аграрних підприємств обумовлюють актуальність використання відновлювальних джерел енергії.

Особливої актуальності дана проблема набуває в умовах сучасної енергетичної кризи та необхідності підвищення рівня автономності сільськогосподарських підприємств. Використання сонячних електростанцій у системах електропостачання зерносушильних комплексів дозволяє знизити витрати на електроенергію, підвищити надійність роботи обладнання, зменшити навантаження на зовнішні електричні мережі та забезпечити екологічність виробництва.

Фермерське господарство «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області здійснює діяльність у сфері вирощування та обробки зернових культур, що потребує ефективного функціонування зерносушильного комплексу. Для забезпечення стабільної роботи комплексу необхідне надійне електропостачання та впровадження сучасних енергоощадних технологій. Саме тому розробка системи електрифікації із використанням відновлювальних джерел енергії є важливим технічним та економічним завданням.

Метою роботи є розробка системи електрифікації зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області із використанням

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

відновлювальних джерел енергії для підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат підприємства.

Об'єктом дослідження є система електропостачання зерносушильного комплексу фермерського господарства.

Предметом дослідження є процес електрифікації зерносушильного комплексу із використанням сонячної енергетики та сучасних енергоефективних технологій.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан електрифікації зерносушильних комплексів України;
- дослідити особливості роботи зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»;
- визначити основні електроспоживачі підприємства та їх потужності;
- виконати розрахунок електричних навантажень комплексу;
- визначити річне електроспоживання зерносушильного комплексу;
- обґрунтувати доцільність використання відновлюваних джерел енергії;
- виконати розрахунок параметрів сонячної електростанції;
- здійснити вибір фотоелектричних модулів, інверторів та акумуляторних батарей;
- розробити однолінійну схему електропостачання комплексу;
- виконати вибір апаратів захисту та кабельних ліній;
- провести аналіз енергоефективності запропонованої системи;
- розробити заходи з охорони праці та електробезпеки;
- виконати техніко-економічне обґрунтування проєкту;
- визначити економічний ефект від впровадження сонячної електростанції.

У процесі виконання роботи використовувалися методи аналізу електричних навантажень, методи техніко-економічного порівняння, розрахунки параметрів систем електропостачання, а також методи оцінки ефективності використання відновлюваних джерел енергії.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленої системи електрифікації на зерносушильному комплексі ФГ «Агро-Перемога» з метою

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

підвищення енергетичної ефективності підприємства, зменшення витрат на електроенергію та забезпечення стабільного функціонування технологічного обладнання.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ ТА ВИХІДНІ ДАНІ

1.1. Загальна характеристика зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»

Фермерське господарство «Агро-Перемога», розташоване на території Миргородського району Полтавської області, здійснює виробничу діяльність у сфері вирощування, зберігання та первинної переробки зернових і технічних культур. Основними напрямками діяльності господарства є вирощування пшениці, кукурудзи, ячменю, соняшнику та інших сільськогосподарських культур, що потребують якісної післязбиральної обробки та забезпечення належних умов зберігання. Одним із ключових виробничих об'єктів підприємства є зерносушильний комплекс, який виконує важливу функцію підготовки зерна до тривалого зберігання та реалізації [1].

Зерносушильний комплекс являє собою сукупність технологічного, транспортного та електротехнічного обладнання, призначеного для очищення, транспортування, сушіння, тимчасового накопичення та відвантаження зернової продукції. Основним призначенням комплексу є зниження вологості зерна до нормативних значень, необхідних для безпечного зберігання без втрати якості продукції. Особливо важливого значення процес сушіння набуває в осінній період під час масового збирання врожаю кукурудзи, коли вологість зерна може значно перевищувати допустимі межі.

Технологічна схема зерносушильного комплексу включає приймальний вузол, транспортну систему, очисне обладнання, сушильний агрегат, накопичувальні бункери та систему відвантаження готової продукції. Приймання зерна здійснюється через автомобільні розвантажувальні пристрої, після чого зернова маса подається до системи транспортерів та норій. На даному етапі виконується первинне очищення зерна від домішок, пилу та сторонніх включень. Далі зерно надходить до

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

зерносушарки, де відбувається процес видалення надлишкової вологи за допомогою теплової енергії та примусової вентиляції.

У складі зерносушильного комплексу використовуються потужні електроприводи вентиляторів, транспортерів, норій, шнеків, зерноочисних машин та допоміжного обладнання. Значна кількість механізмів працює одночасно, що формує високі електричні навантаження та потребує надійної системи електропостачання. Особливістю роботи комплексу є нерівномірний режим електроспоживання, оскільки максимальні навантаження спостерігаються у період активного збирання врожаю та інтенсивної роботи сушильного обладнання [2].

Для забезпечення функціонування комплексу використовується трифазна система електропостачання напругою 0,4 кВ із підключенням до трансформаторної підстанції. Основними споживачами електроенергії є електродвигуни технологічного обладнання, системи освітлення, вентиляційні установки, автоматизовані системи керування та контрольно-вимірювальні прилади. Робота обладнання супроводжується значними пусковими струмами, що створює додаткове навантаження на електричні мережі та потребує правильного вибору апаратів захисту і комутаційного обладнання. Суттєвою особливістю зерносушильного комплексу є сезонний характер роботи. У період масового надходження зерна обладнання може працювати практично безперервно у декілька змін, що призводить до значного споживання електричної енергії. У зв'язку з цим для підприємства важливим завданням є зниження витрат на електроенергію та підвищення енергоефективності виробничих процесів. Одним із найбільш перспективних напрямів вирішення даної проблеми є впровадження відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячної електростанції.

Полтавська область характеризується достатньо високим рівнем сонячної активності, що створює сприятливі умови для використання сонячної енергетики. Встановлення сонячної електростанції на території зерносушильного комплексу дозволить частково компенсувати споживання електроенергії із зовнішньої мережі,

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

знизити витрати підприємства на енергоресурси та підвищити рівень енергетичної автономності господарства. Крім економічного ефекту, використання сонячної енергетики сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та підвищенню екологічної безпеки виробництва.

Таблиця 1.1. – Основна характеристика зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»

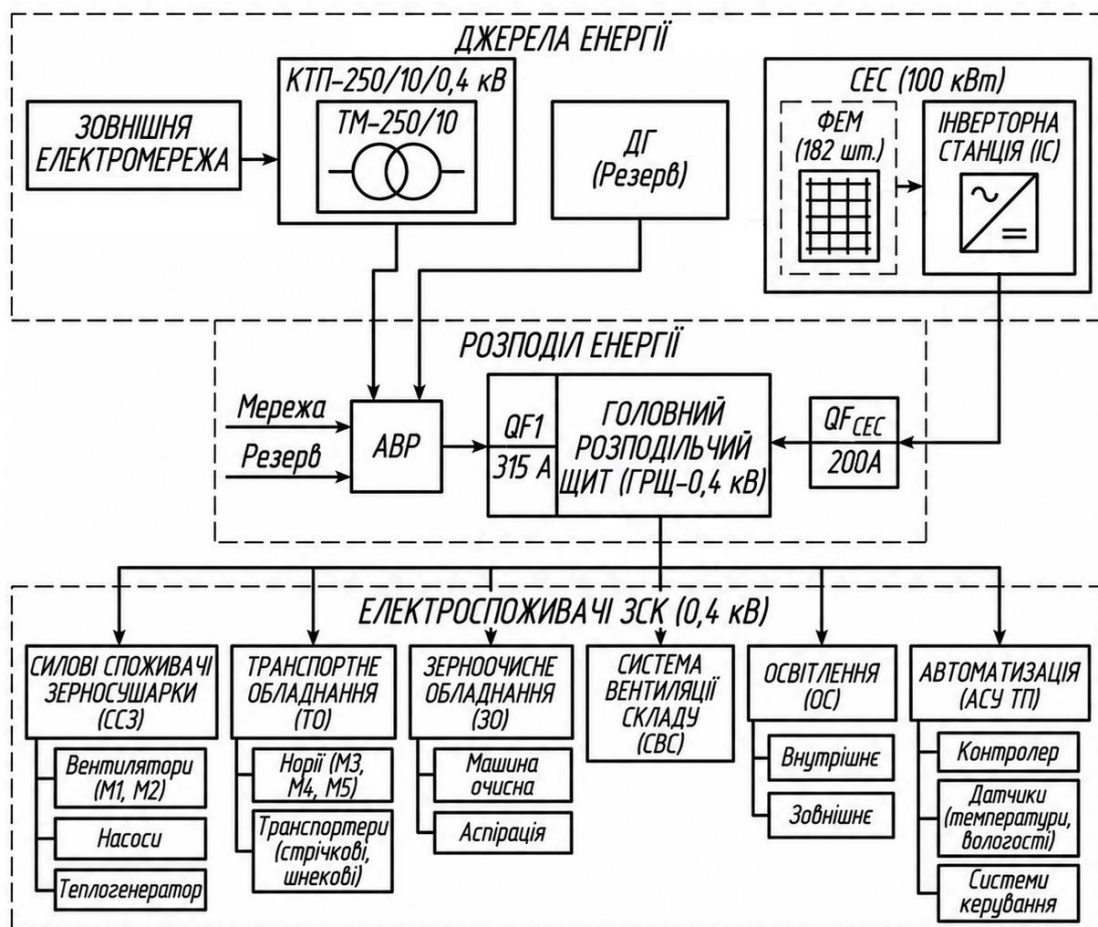
Показник	Характеристика
Назва підприємства	ФГ «Агро-Перемога»
Місце розташування	Миргородський район, Полтавська область
Основний вид діяльності	Вирощування та післязбиральна обробка зернових культур
Основні культури	Пшениця, кукурудза, ячмінь, соняшник
Призначення комплексу	Очищення, сушіння, транспортування та зберігання зерна
Тип зерносушильного комплексу	Стаціонарний зерносушильний комплекс
Режим роботи	Сезонний, багатозмінний
Основне технологічне обладнання	Норії, транспортери, вентилятори, зерносушарка, очисне обладнання
Система електропостачання	Трифазна мережа 0,4 кВ
Джерело живлення	Трансформаторна підстанція
Основні електроспоживачі	Електродвигуни, системи вентиляції, освітлення, автоматика
Орієнтовна встановлена потужність	180–250 кВт
Річний режим роботи	Інтенсивний у період збирання врожаю
Тип сушіння зерна	Конвективне сушіння гарячим повітрям
Система транспортування зерна	Механізована
Наявність автоматизації	Часткова автоматизація технологічних процесів
Використання ВДЕ	Передбачається встановлення сонячної електростанції
Основна мета модернізації	Підвищення енергоефективності та зниження витрат електроенергії
Очікуваний результат	Зменшення навантаження на електромережу та підвищення енергетичної автономності

Важливу роль у роботі зерносушильного комплексу відіграє система автоматизації технологічних процесів. Сучасні системи керування дозволяють контролювати температуру сушіння, рівень вологості зерна, режими роботи вентиляторів та транспортерів, а також забезпечують захист обладнання від аварійних режимів роботи. Автоматизація процесів сприяє підвищенню продуктивності комплексу, покращенню якості зерна та зниженню експлуатаційних витрат [3].

1.2. Технологічний процес сушіння зерна

Технологічний процес сушіння зерна є одним із найважливіших етапів післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції, оскільки саме від правильності його організації залежить якість зерна, можливість тривалого зберігання та рівень втрат продукції. Після збирання врожаю зернова маса зазвичай має підвищену вологість, значну кількість домішок та нестабільні температурні показники. За таких умов зерно не може довго зберігатися без ризику самозігрівання, розвитку мікроорганізмів, появи грибків і погіршення якісних характеристик. Саме тому процес сушіння є необхідною технологічною операцією для забезпечення безпечного та ефективного зберігання зернової продукції [4]. Загальну структурну схему електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» наведено на рисунку 1.1.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



Умовні позначки:

СЕС – сонячна електростанція;

ФЕМ – фотоелектричні модулі;

ІС – інверторна станція;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція;

ТМ – трансформатор силовий;

ДГ – дизель-генератор;

АВР – автоматичне введення резерву;

ЗСК – зерносушильний комплекс;

ССЗ – силові споживачі зерносушарки;

ТО – транспортне обладнання;

ЗО – зерноочисне обладнання;

СВС – система вентиляції складу;

ОС – освітлення;

АСУ ТП – автоматизована система управління.

Рисунок 1.1 – Схема структурна електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»

На зерносушильному комплексі ФГ «Агро-Перемога» технологічний процес починається з приймання зерна від транспортних засобів. Зернова маса надходить до приймального відділення, де здійснюється її первинний контроль, визначення вологості та ступеня засміченості. Після приймання зерно за допомогою транспортерів і норій подається до системи очищення. На даному етапі із зернової маси видаляються механічні домішки, пил, залишки рослинних матеріалів та сторонні

		Леонов М. А.		10.06.26
		Сабо А. Г.		12.06.26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ

Арк.

13

включення, які можуть негативно впливати на ефективність сушіння та роботу технологічного обладнання.

Після очищення зерно надходить до сушильного агрегату. Основним завданням зерносушарки є зниження вологості зерна до нормативних показників, які забезпечують можливість тривалого зберігання без втрати якості. Для різних культур допустимі значення вологості можуть відрізнятися. Наприклад, для продовольчої пшениці вологість після сушіння зазвичай становить близько 14 %, а для кукурудзи показник може знижуватися до 13–14 % залежно від умов зберігання.

Процес сушіння здійснюється шляхом контакту зернової маси з нагрітим повітрям, яке створюється за допомогою теплогенератора та системи вентиляторів. Нагріте повітря проходить через шар зерна та забезпечує випаровування надлишкової вологи. Одночасно система вентиляції виконує функцію видалення вологого повітря із сушильної камери. Ефективність сушіння значною мірою залежить від температури теплоносія, швидкості руху повітря, рівномірності подачі зерна та тривалості перебування зернової маси у сушильній зоні [5].

У зерносушильному комплексі використовуються електроприводи вентиляторів, транспортерів, норій та інших механізмів, які забезпечують безперервність технологічного процесу. Вентиляційні установки мають особливо важливе значення, оскільки саме вони створюють необхідний потік гарячого повітря через зернову масу. Для забезпечення стабільної роботи сушильного обладнання необхідна надійна система електропостачання, здатна витримувати значні пускові струми та тривалі режими роботи електродвигунів.

Під час сушіння зерна важливо підтримувати оптимальний температурний режим. Надмірне підвищення температури може призвести до пошкодження зерна, погіршення його посівних та харчових властивостей, утворення тріщин або втрати маси. Недостатня температура, навпаки, знижує ефективність сушіння та збільшує витрати енергії. Саме тому сучасні зерносушильні комплекси оснащуються

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

автоматизованими системами контролю температури та вологості, які дозволяють підтримувати необхідні параметри технологічного процесу.

Після завершення сушіння зерно проходить стадію охолодження. Це необхідно для стабілізації температури зернової маси та запобігання утворенню конденсату під час зберігання. Охолодження здійснюється шляхом продування зерна атмосферним або попередньо підготовленим повітрям. Далі зерно транспортується до накопичувальних бункерів або складів для подальшого зберігання чи відвантаження. Технологічний процес сушіння зерна характеризується високим рівнем енергоспоживання. Основна частина енергії витрачається на роботу вентиляторів, транспортного обладнання, електродвигунів та систем автоматизації. У зв'язку з цим важливого значення набуває впровадження енергоефективних технологій та використання відновлюваних джерел енергії. Одним із перспективних напрямів є використання сонячної електростанції для часткового забезпечення електроенергією технологічного обладнання зерносушильного комплексу.

Застосування відновлюваних джерел енергії дозволяє знизити витрати на електроенергію, підвищити рівень енергетичної незалежності підприємства та зменшити навантаження на зовнішню електричну мережу. Особливо ефективним є використання сонячної енергетики у період активної роботи зерносушильного комплексу, оскільки максимальні навантаження часто співпадають із періодом високої сонячної активності.

1.3. Характеристика електроспоживачів комплексу

Зерносушильний комплекс ФГ «Агро-Перемога» є енергоємним виробничим об'єктом, робота якого пов'язана зі значним споживанням електричної енергії. Основними споживачами електроенергії на підприємстві є електроприводи технологічного обладнання, вентиляційні системи, транспортні механізми,

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

освітлювальні установки, системи автоматизації та допоміжне обладнання. Електричне навантаження комплексу формується внаслідок одночасної роботи великої кількості електродвигунів різної потужності, що забезпечують виконання безперервного технологічного процесу сушіння та транспортування зерна.

Найбільшу частку електроспоживання зерносушильного комплексу становить сушильне обладнання. Для забезпечення процесу сушіння використовуються потужні вентилятори, які створюють потік нагрітого повітря через зернову масу. Електродвигуни вентиляторів працюють у тривалому режимі та характеризуються значною встановленою потужністю. Під час інтенсивної роботи комплексу вентилятори можуть функціонувати безперервно протягом декількох змін, що призводить до високого рівня споживання електроенергії [6].

Важливими електроспоживачами комплексу є транспортні механізми, до яких належать норії, стрічкові транспортери, шнеки та інші пристрої для переміщення зернової маси між окремими технологічними зонами. Дані механізми забезпечують безперервність технологічного процесу та працюють у тісному взаємозв'язку із сушильним обладнанням. Електроприводи транспортних механізмів характеризуються частими пусками та зупинками, що створює додаткові навантаження на електричну мережу підприємства.

До складу електроспоживачів комплексу також входять зерноочисні машини, які виконують функцію видалення механічних домішок із зернової маси. Робота очисного обладнання супроводжується використанням електродвигунів середньої потужності, які забезпечують функціонування ситових механізмів, аспіраційних систем та приводів подачі зерна. Для ефективної роботи зерноочисних машин необхідне стабільне електропостачання та підтримання необхідних параметрів електричної мережі.

Значну роль у роботі зерносушильного комплексу відіграють системи вентиляції та аспірації. Вони забезпечують видалення пилу, надлишкової вологи та

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

продуктів згоряння із робочих зон. Вентиляційні установки обладнані електродвигунами, які працюють у тривалому режимі та споживають значну кількість електроенергії. Особливістю роботи даних систем є необхідність підтримання постійної продуктивності незалежно від змін технологічного навантаження.

До допоміжних електроспоживачів належать системи внутрішнього та зовнішнього освітлення, контрольно-вимірювальні прилади, автоматизовані системи керування, насосне обладнання та побутові споживачі адміністративних приміщень. Хоча потужність даних споживачів є меншою порівняно із технологічним обладнанням, їх робота також впливає на загальний баланс електроспоживання підприємства.

Системи автоматизації та керування забезпечують контроль основних параметрів технологічного процесу, зокрема температури, вологості, швидкості транспортування зерна та режимів роботи електродвигунів. Для роботи автоматизованих систем використовуються електронні пристрої, датчики, контролери та виконавчі механізми. Наявність автоматизації дозволяє підвищити ефективність роботи комплексу, зменшити втрати зерна та забезпечити стабільність технологічного процесу.

Особливістю електроспоживачів зерносушильного комплексу є нерівномірний характер навантаження. У період активного сушіння зерна спостерігається максимальне споживання електроенергії, оскільки одночасно працюють вентилятори, транспортери, норії та зерноочисне обладнання. У міжсезонний період навантаження суттєво зменшується, а частина обладнання може взагалі не використовуватися. Такий режим роботи необхідно враховувати під час проєктування системи електропостачання та вибору джерел енергії.

Більшість електроспоживачів комплексу належать до категорії силового електрообладнання з трифазним живленням напругою 380 В. Для живлення систем освітлення та автоматизації використовується мережа напругою 220 В. Значна

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

кількість електродвигунів працює у тривалому режимі, що вимагає ефективного захисту від перевантажень, коротких замикань та аварійних режимів роботи.

Таблиця 1.2. – Основні електроспоживачі зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»

№	Найменування електроспоживача	Кількість, шт.	Потужність одного споживача, кВт	Загальна потужність, кВт	Характер роботи
1	Вентилятори зерносушарки	2	22	44	Тривалий
2	Норії	3	7,5	22,5	Повторно-короткочасний
3	Стрічкові транспортери	4	5,5	22	Тривалий
4	Шнекові транспортери	3	4	12	Повторно-короткочасний
5	Зерноочисна машина	1	15	15	Тривалий
6	Аспіраційна система	2	5,5	11	Тривалий
7	Система вентиляції складу	2	4	8	Тривалий
8	Насосне обладнання	2	3	6	Періодичний
9	Освітлення виробничих приміщень	1	8	8	Тривалий
10	Освітлення зовнішньої території	1	4	4	Нічний режим
11	Автоматизована система керування	1	2	2	Постійний
12	Допоміжне обладнання	1	10	10	Періодичний
Загальна встановлена потужність				164,5	

У зв'язку із високим рівнем електроспоживання та постійним зростанням вартості електроенергії важливого значення набуває питання підвищення енергоефективності комплексу. Одним із перспективних напрямів є впровадження відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної електростанції, яка дозволить частково покривати потреби комплексу в електроенергії. Найбільш доцільним є використання сонячної генерації у денний період, коли спостерігається максимальна інтенсивність роботи технологічного обладнання.

1.4. Категорії надійності електропостачання

Надійність електропостачання є одним із найважливіших факторів ефективної та безпечної роботи зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога». Безперервне забезпечення електричною енергією технологічного обладнання має вирішальне значення для стабільності виробничого процесу, збереження якості зернової продукції та запобігання аварійним ситуаціям. Порухення електропостачання може призвести до зупинки сушильного процесу, виходу з ладу обладнання, псування зерна, значних матеріальних збитків та порушення технологічного циклу підприємства.

Категорія надійності електропостачання визначається відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок та залежить від важливості електроспоживачів, наслідків перерви в електропостачанні та особливостей технологічного процесу. Для зерносушильного комплексу характерна наявність різних груп електроспоживачів, які мають різний ступінь важливості для забезпечення безперервної роботи підприємства [7].

До електроспоживачів першої категорії надійності належать установки та обладнання, відключення яких може спричинити аварійну ситуацію, значні матеріальні втрати або створити небезпеку для персоналу. На зерносушильному

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

комплексі до такої категорії можуть відноситися системи аварійного освітлення, автоматизовані системи керування технологічними процесами, протипожежне обладнання та окремі системи вентиляції. Для даних електроспоживачів передбачається живлення від двох незалежних джерел електроенергії або використання резервного джерела живлення, яке забезпечує автоматичне переключення у разі аварійного відключення основної мережі.

До другої категорії надійності належать електроспоживачі, перерва в електропостачанні яких призводить до масового недовипуску продукції, простою механізмів або порушення технологічного процесу. На зерносушильному комплексі до даної категорії відносяться вентилятори зерносушарки, норії, транспортери, зерноочисне обладнання та системи активної вентиляції. Відключення такого обладнання може викликати припинення сушіння зерна, порушення транспортування продукції та значне зниження ефективності роботи комплексу. Для споживачів другої категорії зазвичай передбачається можливість резервного живлення або швидкого відновлення електропостачання черговим персоналом.

До третьої категорії надійності належать електроспоживачі, для яких допускається тимчасова перерва в електропостачанні на період, необхідний для ремонту або заміни пошкоджених елементів системи електропостачання. До цієї категорії відносяться допоміжне обладнання, частина освітлювальних установок, побутові споживачі адміністративних приміщень та окремі малопотужні механізми. Тимчасове відключення даних споживачів не призводить до критичних наслідків для роботи підприємства.

Особливістю зерносушильного комплексу є значна залежність технологічного процесу від стабільності електропостачання. Під час сушіння зерна необхідно підтримувати постійний режим роботи вентиляторів та систем транспортування. Раптове відключення електроенергії може призвести до порушення температурного режиму, перегріву зерна або його зволоження, що негативно впливає на якість

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

продукції. Саме тому для зерносушильного комплексу важливого значення набуває питання резервування джерел живлення та впровадження сучасних систем автоматичного захисту.

Для підвищення надійності електропостачання на підприємстві можуть використовуватися резервні дизельні генератори, автоматичні системи введення резерву, стабілізатори напруги та акумуляторні системи живлення.

Таблиця 1.3. – Категорії надійності електропостачання електроспоживачів зерносушильного комплексу

№	Електроспоживач	Категорія надійності	Характеристика надійності електропостачання
1	Система аварійного освітлення	I	Не допускається тривале відключення, необхідне резервне живлення
2	Система автоматизації та керування	I	Забезпечує контроль технологічного процесу та безпечну роботу обладнання
3	Протипожежна система	I	Повинна працювати безперервно навіть при аваріях у мережі
4	Вентилятори зерносушарки	II	Відключення призводить до порушення процесу сушіння зерна
5	Норії	II	Забезпечують транспортування зерна між технологічними зонами
6	Стрічкові транспортери	II	Порушення роботи викликає зупинку технологічного процесу
7	Шнекові транспортери	II	Забезпечують безперервне переміщення зерна
8	Зерноочисне обладнання	II	Відключення знижує ефективність підготовки зерна
9	Аспіраційна система	II	Необхідна для видалення пилу та підтримання безпечних умов праці
10	Система вентиляції складу	II	Підтримує необхідний мікроклімат та умови зберігання зерна
11	Насосне обладнання	III	Допускається короткочасне відключення
12	Освітлення виробничих приміщень	III	Відключення не призводить до аварійних наслідків
13	Освітлення	III	Допускається тимчасове припинення

	території		живлення
14	Допоміжне обладнання	III	Не впливає критично на основний технологічний процес
15	Побутові споживачі адміністративних приміщень	III	Допускається перерва в електропостачанні на час ремонту

Важливим елементом забезпечення надійності електропостачання є правильний вибір схеми електропостачання підприємства. Для зерносушильного комплексу доцільним є використання радіальної або змішаної схеми живлення із розподілом навантаження між окремими секціями. Це дозволяє локалізувати аварійні ділянки та мінімізувати наслідки пошкодження окремих елементів мережі.

Система релейного захисту та автоматики також відіграє важливу роль у забезпеченні надійної роботи електрообладнання. Використання сучасних автоматичних вимикачів, теплових реле, пристроїв захисту від перенапруги та коротких замикань дозволяє запобігати пошкодженню електрообладнання та зменшувати ризик виникнення аварійних ситуацій.

1.5. Вихідні дані для проектування

Проектування системи електрифікації зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області виконується на основі технічних, технологічних та енергетичних характеристик підприємства. Вихідні дані для проектування є основою для подальшого розрахунку електричних навантажень, вибору електрообладнання, визначення параметрів системи електропостачання та розробки сонячної електростанції. Правильне визначення вихідних параметрів дозволяє забезпечити надійність, економічність та енергоефективність роботи зерносушильного комплексу.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Зерносушильний комплекс призначений для приймання, очищення, сушіння та зберігання зернових культур. Основними видами продукції, що проходять технологічну обробку, є пшениця, кукурудза, ячмінь та соняшник. Робота комплексу має сезонний характер із максимальним навантаженням у період збирання врожаю. У цей час технологічне обладнання функціонує у багатозмінному режимі, що супроводжується значним споживанням електричної енергії [8].

Електропостачання комплексу здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 10/0,4 кВ через трансформаторну підстанцію. Основними електроспоживачами є електродвигуни вентиляторів зерносушарки, норій, транспортерів, зерноочисного обладнання, систем вентиляції, насосного обладнання та освітлювальних установок. Для забезпечення надійної роботи електрообладнання передбачається використання систем автоматичного захисту, релейного захисту та сучасних комутаційних апаратів.

Під час проектування необхідно враховувати кліматичні умови Полтавської області, які є сприятливими для використання сонячної енергетики. Середньорічний рівень сонячної активності дозволяє ефективно використовувати фотоелектричні модулі для часткового покриття потреб комплексу в електричній енергії. Передбачається встановлення сонячної електростанції мережевого типу із можливістю підключення акумуляторної системи для резервування живлення окремих електроспоживачів.

Для вибору параметрів системи електропостачання та сонячної електростанції необхідно врахувати встановлену потужність електроспоживачів, коефіцієнти попиту, режими роботи обладнання, тривалість роботи протягом доби та сезонні зміни навантаження. Особливу увагу необхідно приділити електроспоживачам другої категорії надійності, для яких передбачається резервування живлення та забезпечення стабільної роботи під час можливих аварійних відключень зовнішньої мережі.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Важливим етапом проектування є визначення розрахункового електричного навантаження комплексу. На основі отриманих результатів буде виконано вибір трансформатора, кабельних ліній, автоматичних вимикачів, систем компенсації реактивної потужності та обладнання сонячної електростанції. Також під час проектування враховуються вимоги електробезпеки, охорони праці та пожежної безпеки.

Проектована система електрифікації повинна забезпечувати стабільну та безперебійну роботу технологічного обладнання, мінімізацію втрат електроенергії, зниження експлуатаційних витрат та підвищення енергетичної автономності підприємства. Використання відновлюваних джерел енергії дозволить зменшити навантаження на зовнішню електромережу та підвищити економічну ефективність роботи зерносушильного комплексу.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто загальну характеристику зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області та проаналізовано особливості його функціонування. Встановлено, що зерносушильний комплекс є важливим елементом агропромислового виробництва, який забезпечує післязбиральну обробку зернових культур, їх очищення, сушіння та підготовку до тривалого зберігання. Визначено, що стабільність роботи комплексу значною мірою залежить від надійності системи електропостачання та ефективності використання електроенергії.

У ході дослідження технологічного процесу сушіння зерна встановлено, що основними енергоємними процесами є робота вентиляторів, транспортних механізмів, зерноочисного обладнання та систем вентиляції. Процес сушіння характеризується значним рівнем електроспоживання та необхідністю підтримання

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

стабільних технологічних параметрів. Порушення режимів електропостачання може негативно впливати на якість зерна та ефективність роботи всього комплексу.

Проведено аналіз основних електроспоживачів підприємства та визначено, що найбільшу частку навантаження формують електродвигуни сушильного та транспортного обладнання. Встановлено, що робота комплексу має сезонний характер із максимальним рівнем навантаження у період активного збирання врожаю. Це потребує правильного вибору системи електропостачання, апаратів захисту та резервування живлення для найбільш відповідальних споживачів.

Під час аналізу категорій надійності електропостачання було визначено групи споживачів, які належать до першої, другої та третьої категорій надійності. Встановлено необхідність забезпечення резервного живлення для систем автоматизації, аварійного освітлення та основного технологічного обладнання. Це дозволить підвищити надійність роботи зерносушильного комплексу та зменшити ризик аварійних ситуацій.

Також у розділі були визначені основні вихідні дані для подальшого проектування системи електрифікації зерносушильного комплексу. Враховано характеристики електроспоживачів, режими роботи обладнання, параметри електромережі та можливість використання сонячної електростанції як додаткового джерела електроенергії. Встановлено, що кліматичні умови Полтавської області є сприятливими для впровадження відновлюваних джерел енергії.

Результати проведеного аналізу підтверджують доцільність модернізації системи електропостачання зерносушильного комплексу із використанням відновлюваних джерел енергії. Подальші розрахунки та проєктні рішення будуть спрямовані на підвищення енергоефективності підприємства, забезпечення надійності електропостачання та зниження експлуатаційних витрат.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1. Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» виконується для визначення фактичної потреби об'єкта в електричній потужності, вибору трансформаторної підстанції, кабельних ліній, апаратів захисту та подальшого обґрунтування параметрів сонячної електростанції. Оскільки зерносушильний комплекс має велику кількість електродвигунів, які працюють у різних режимах, під час розрахунку необхідно враховувати не лише встановлену потужність обладнання, а й коефіцієнт попиту, коефіцієнт використання та коефіцієнт потужності [9].

Вихідними даними для розрахунку є перелік основних електроспоживачів комплексу, їх кількість, одинична потужність та характер роботи. До основних споживачів належать вентилятори зерносушарки, норії, стрічкові та шнекові транспортери, зерноочисна машина, аспіраційна система, вентиляція складу, насосне обладнання, освітлення, автоматизована система керування та допоміжне обладнання. Загальна встановлена потужність визначається за формулою:

$$P_{вст} = n \cdot P_{од.}$$

Розрахункова активна потужність визначається за формулою:

$$P_p = P_{вст} \cdot k_p.$$

Повна розрахункова потужність визначається за формулою:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$Sp = Pp / \cos\varphi.$$

Розрахунковий струм трифазної мережі визначається за формулою:

$$Ip = Pp \cdot 1000 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi).$$

Таблиця 2.1. – Розрахунок електричних навантажень зерносушильного комплексу

№	Електроспоживач	Кількість, шт.	Потужність одного, кВт	Встановлена потужність, кВт	кп	Розрахункова потужність, кВт
1	Вентилятори зерносушарки	2	22	44	0,90	39,60
2	Норії	3	7,5	22,5	0,85	19,13
3	Стрічкові транспортери	4	5,5	22	0,80	17,60
4	Шнекові транспортери	3	4	12	0,80	9,60
5	Зерноочисна машина	1	15	15	0,85	12,75
6	Аспіраційна система	2	5,5	11	0,85	9,35
7	Система вентиляції складу	2	4	8	0,75	6,00
8	Насосне обладнання	2	3	6	0,60	3,60
9	Освітлення виробничих приміщень	1	8	8	0,90	7,20
10	Освітлення зовнішньої території	1	4	4	0,70	2,80
11	Автоматизована система керування	1	2	2	1,00	2,00
12	Допоміжне обладнання	1	10	10	0,60	6,00
	Разом			164,5		135,63

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна встановлена потужність електроспоживачів зерносушильного комплексу становить: $P_{вст} = 164,5$ кВт.

Загальна розрахункова активна потужність становить: $P_p = 135,63$ кВт.

Для визначення повної потужності приймаємо середній коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,85$.

Тоді повна розрахункова потужність дорівнює:

$$S_p = 135,63 / 0,85 = 159,56 \text{ кВА.}$$

З урахуванням перспективного розширення комплексу та резерву потужності приймаємо коефіцієнт запасу $k_3 = 1,15$.

Тоді повна потужність із запасом становитиме:

$$S_3 = 159,56 \cdot 1,15 = 183,49 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм навантаження:

$$I_p = 135,63 \cdot 1000 / (1,732 \cdot 400 \cdot 0,85) = 230,10 \text{ А}$$

З урахуванням запасу:

$$I_3 = 230,10 \cdot 1,15 = 264,62 \text{ А}$$

Для подальшого вибору обладнання доцільно орієнтуватися на струм не менше 265 А.

За результатами розрахунку доцільно прийняти трансформатор потужністю 250 кВА.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

2.2. Визначення максимальних та розрахункових потужностей

Визначення максимальних та розрахункових потужностей зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» є необхідним етапом проектування системи електропостачання. Саме ці показники використовуються для вибору трансформаторної підстанції, ввідного автоматичного вимикача, кабельних ліній, розподільчих щитів, апаратів захисту та обладнання сонячної електростанції.

Для зерносушильного комплексу характерним є нерівномірний режим електроспоживання. У період активного сушіння зерна одночасно працюють вентилятори зерносушарки, норії, транспортери, зерноочисне обладнання, аспіраційні системи та засоби автоматизації.

Максимальна активна потужність визначається за формулою:

$$P_{max} = P_{вст} \cdot k_m.$$

Загальна встановлена потужність комплексу становить: $P_{вст} = 164,5$ кВт.

Коефіцієнт максимуму навантаження приймаємо: $k_m = 0,9$.

Тоді максимальна активна потужність становить:

$$P_{max} = 164,5 \cdot 0,9 = 148,05 \text{ кВт.}$$

Розрахункова активна потужність комплексу: $P_p = 135,63$ кВт.

Для більшості електродвигунів приймаємо коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = 0,85$.

Повна розрахункова потужність визначається за формулою:

$$S_p = P_p / \cos\varphi.$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$S_p = 135,63 / 0,85 = 159,56 \text{ кВА.}$$

Максимальна повна потужність:

$$S_{max} = P_{max} / \cos\varphi.$$

$$S_{max} = 148,05 / 0,85 = 174,18 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт запасу приймаємо: $k_z = 1,15$.

Повна потужність із запасом:

$$S_z = S_{max} \cdot k_z = 174,18 \cdot 1,15 = 200,31 \text{ кВА.}$$

Для забезпечення резерву потужності приймаємо трансформатор: $S_{тр} = 250$ кВА.

Максимальний розрахунковий струм визначається за формулою:

$$I_{max} = P_{max} \cdot 1000 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi).$$

При $U = 400 \text{ В}$ маємо:

$$I_{max} = 148,05 \cdot 1000 / (1,732 \cdot 400 \cdot 0,85) = 251,38 \text{ А.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу:

$$I_z = 251,38 \cdot 1,15 = 289,09 \text{ А.}$$

Для ввідного захисту приймаємо автоматичний вимикач номіналом 315 А.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.2. – Визначення максимальних та розрахункових потужностей зерносушильного комплексу

№	Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
1	Загальна встановлена потужність	$P_{вст}$	164,5	кВт
2	Коефіцієнт максимуму навантаження	k_m	0,90	—
3	Максимальна активна потужність	P_{max}	148,05	кВт
4	Розрахункова активна потужність	P_p	135,63	кВт
5	Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,85	—
6	Повна розрахункова потужність	S_p	159,56	кВА
7	Максимальна повна потужність	S_{max}	174,18	кВА
8	Коефіцієнт запасу	k_z	1,15	—
9	Повна потужність із запасом	S_z	200,31	кВА
10	Прийнята потужність трансформатора	$S_{тр}$	250	кВА
11	Максимальний розрахунковий струм	I_{max}	251,38	А
12	Розрахунковий струм із запасом	I_z	289,09	А
13	Рекомендований ввідний автомат	$I_{ном}$	315	А

		Лсонов М. А.		10.06.26
		Сабо А. Г.		12.06.26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ

Арк.

31

Отримані результати показують, що зерносушильний комплекс ФГ «Агро-Перемога» має достатньо високе електричне навантаження. Максимальна активна потужність комплексу становить 148,05 кВт, а максимальна повна потужність з урахуванням запасу становить 200,31 кВА. Для забезпечення надійної роботи обладнання доцільно прийняти трансформатор потужністю 250 кВА та ввідний автоматичний вимикач на 315 А.

2.3. Вибір джерел електропостачання

Вибір джерел електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» є одним із найважливіших етапів проєктування системи електрифікації підприємства. Від правильності вибору джерела живлення залежить надійність роботи технологічного обладнання, стабільність виробничого процесу, рівень енергетичних витрат та ефективність функціонування всього зерносушильного комплексу. Оскільки зерносушильний комплекс належить до об'єктів із високим рівнем електроспоживання та сезонними піковими навантаженнями, система електропостачання повинна забезпечувати безперебійну подачу електроенергії та можливість резервування живлення найбільш відповідальних електроспоживачів [10].

Основним джерелом електропостачання зерносушильного комплексу є зовнішня електрична мережа напругою 10 кВ. Підключення підприємства до мережі здійснюється через комплектну трансформаторну підстанцію, яка забезпечує перетворення напруги 10 кВ у робочу напругу 0,4 кВ для живлення силового електрообладнання та систем освітлення. Така схема електропостачання є найбільш поширеною для агропромислових підприємств середньої потужності та забезпечує достатній рівень надійності й економічної ефективності.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

З урахуванням результатів розрахунків, виконаних у попередніх підрозділах, максимальна повна потужність зерносушильного комплексу з урахуванням коефіцієнта запасу становить:

$$S_3 = 200,31 \text{ кВА.}$$

Для забезпечення стабільної роботи обладнання, покриття пускових струмів електродвигунів та можливого розширення підприємства доцільно прийняти силовий трансформатор потужністю:

$$S_{\text{тр}} = 250 \text{ кВА.}$$

Для живлення комплексу обираємо комплектну трансформаторну підстанцію типу КТП-250/10/0,4 кВ із силовим трансформатором марки ТМ-250/10. Даний трансформатор забезпечує необхідний запас потужності, має достатню перевантажувальну здатність та відповідає умовам роботи зерносушильного комплексу.

Основними перевагами використання трансформатора потужністю 250 кВА є: забезпечення стабільної роботи електродвигунів при пускових навантаженнях, можливість підключення додаткового обладнання у майбутньому, зменшення втрат напруги у мережі та підвищення надійності електропостачання.

Для підключення трансформаторної підстанції до зовнішньої мережі використовується повітряна або кабельна лінія напругою 10 кВ. Вибір типу лінії залежить від відстані до точки підключення, умов прокладання та економічної доцільності. Для сільськогосподарських підприємств найчастіше застосовується повітряна лінія електропередачі, оскільки вона має нижчу вартість будівництва та обслуговування.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

На стороні 0,4 кВ передбачається встановлення головного розподільчого щита, від якого здійснюється живлення окремих груп електроспоживачів зерносушильного комплексу. Розподіл навантаження між секціями виконується з урахуванням категорій надійності електропостачання та режимів роботи обладнання. Для електроспоживачів першої та другої категорії передбачається можливість резервування живлення.

З метою підвищення енергоефективності та зниження витрат на електроенергію у проєкті передбачається використання сонячної електростанції як додаткового джерела електропостачання. Використання відновлюваних джерел енергії є особливо актуальним для агропромислових підприємств, оскільки найбільше електроспоживання спостерігається у денний період, коли сонячна генерація є максимально ефективною.

Для зерносушильного комплексу доцільно застосувати мережеву сонячну електростанцію, яка працюватиме паралельно із зовнішньою електричною мережею. Така система дозволяє частково покривати потреби комплексу в електроенергії, зменшувати навантаження на зовнішню мережу та скорочувати витрати підприємства на оплату електроенергії.

Орієнтовна потужність сонячної електростанції визначається з урахуванням середнього денного навантаження комплексу та економічної доцільності впровадження. Для даного об'єкта доцільно прийняти встановлену потужність сонячної електростанції:

$$P_{\text{СЕС}} = 100 \text{ кВт.}$$

Сонячна електростанція складатиметься з фотоелектричних модулів, мережевих інверторів, системи захисту та автоматичного керування. У денний період вироблена електроенергія буде використовуватись для живлення технологічного обладнання

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

зерносушильного комплексу, а у разі недостатньої генерації необхідна потужність надходитиме із зовнішньої мережі.

Для забезпечення резервного живлення систем автоматизації, аварійного освітлення та окремих електроспоживачів першої категорії може використовуватись акумуляторна система або резервний дизельний генератор. Наявність резервного джерела живлення дозволяє уникнути аварійних ситуацій під час раптового відключення електроенергії та забезпечити безпечне завершення технологічного процесу сушіння зерна [11].

Таблиця 2.3. – Вибір основних джерел електропостачання зерносушильного комплексу

№	Найменування обладнання	Тип / марка	Основні параметри
1	Основне джерело живлення	Мережа 10 кВ	Трифазна мережа змінного струму
2	Трансформаторна підстанція	КТП-250/10/0,4	Потужність 250 кВА
3	Силовий трансформатор	ТМ-250/10	10/0,4 кВ
4	Сонячна електростанція	Мережева СЕС	Потужність 100 кВт
5	Фотоелектричні модулі	Монокристалічні	Високий ККД
6	Мережевий інвертор	Трифазний	Для роботи паралельно з мережею
7	Резервне джерело живлення	Дизельний генератор	Для аварійного живлення, 160 кВт
8	Система автоматичного резервування	АВР	Автоматичне перемикання джерел
9	Головний розподільчий щит	ГРЩ-0,4 кВ	Розподіл навантаження між споживачами

Важливим елементом системи електропостачання є система автоматичного введення резерву. У разі зникнення напруги в основній мережі система автоматично виконує переключення на резервне джерело живлення, що значно підвищує надійність роботи підприємства та зменшує ризик пошкодження обладнання.

2.4. Вибір напруги та схеми електропостачання

Вибір напруги та схеми електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» є одним із найважливіших етапів проєктування системи електрифікації підприємства. Від правильності вибору параметрів системи електропостачання залежить надійність роботи технологічного обладнання, рівень втрат електроенергії, економічність експлуатації та безпека роботи всього виробничого комплексу. Оскільки зерносушильний комплекс характеризується значними електричними навантаженнями, великою кількістю електродвигунів та нерівномірним режимом роботи, система електропостачання повинна забезпечувати стабільне живлення всіх електроспоживачів у різних режимах роботи.

Під час вибору напруги електропостачання необхідно враховувати встановлену потужність підприємства, відстань до джерела живлення, величину струмів навантаження, допустимі втрати напруги та економічну доцільність використання певного класу напруги. Для зерносушильних комплексів середньої потужності найбільш поширеним є електропостачання від зовнішньої мережі напругою 10 кВ із подальшим пониженням напруги до 0,4 кВ за допомогою трансформаторної підстанції [12].

У результаті попередніх розрахунків було визначено, що максимальна повна потужність зерносушильного комплексу з урахуванням коефіцієнта запасу становить:

$$S_3 = 200,31 \text{ кВА.}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

За такого рівня навантаження використання мережі напругою 10 кВ є технічно та економічно обґрунтованим рішенням. Передача електроенергії на напрузі 10 кВ дозволяє зменшити струми у лініях електропередачі, знизити втрати потужності та забезпечити надійне живлення підприємства.

Для живлення технологічного обладнання зерносушильного комплексу використовується трифазна мережа змінного струму напругою:

$$U = 0,4 \text{ кВ.}$$

Саме така напруга є стандартною для живлення більшості електродвигунів, систем вентиляції, транспортерів, зерноочисного обладнання та освітлювальних установок. Для живлення освітлення, автоматизованих систем керування та допоміжного обладнання використовується однофазна напруга 220 В.

На підприємстві передбачається встановлення комплектної трансформаторної підстанції типу КТП-250/10/0,4 кВ із силовим трансформатором потужністю 250 кВА. Підстанція виконує функцію приймання електроенергії від зовнішньої мережі 10 кВ, її перетворення та подальшого розподілу між споживачами комплексу.

Під час вибору схеми електропостачання необхідно враховувати категорії надійності електроспоживачів, особливості технологічного процесу та можливість резервування живлення. Для зерносушильного комплексу найбільш доцільною є радіальна схема електропостачання. За такої схеми окремі групи електроспоживачів отримують живлення безпосередньо від головного розподільчого щита через окремі кабельні лінії.

Основними перевагами радіальної схеми є: висока надійність роботи, простота експлуатації, можливість швидкого відключення пошкодженої ділянки та зручність захисту окремих груп споживачів. У разі виникнення аварії відключається лише пошкоджена лінія, тоді як інші електроспоживачі продовжують працювати у нормальному режимі.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Від трансформаторної підстанції електроенергія надходить до головного розподільчого щита ГРЩ-0,4 кВ, від якого живляться: силові електроприводи зерносушарки, норії, транспортери, зерноочисне обладнання, системи вентиляції, освітлення та автоматизації.

Для підвищення надійності електропостачання найбільш відповідальні електроспоживачі другої категорії можуть бути підключені через окремі секції головного розподільчого щита із можливістю резервного живлення. У системі електропостачання передбачається використання автоматичних вимикачів, пристроїв релейного захисту та системи автоматичного введення резерву.

Особливістю проєктованої системи є інтеграція сонячної електростанції у схему електропостачання підприємства. Сонячна електростанція потужністю 100 кВт працюватиме паралельно із зовнішньою мережею та забезпечуватиме часткове покриття навантаження зерносушильного комплексу у денний період. Підключення сонячної електростанції виконується через мережеві інвертори до секції 0,4 кВ головного розподільчого щита.

Використання комбінованої схеми електропостачання дозволяє: зменшити навантаження на зовнішню електромережу, знизити витрати на електроенергію, підвищити енергетичну автономність підприємства та забезпечити більш ефективне використання електричної енергії.

Для вибору ввідного автоматичного вимикача необхідно врахувати максимальний розрахунковий струм, визначений у попередньому підрозділі:

$$I_3 = 289,09 \text{ А.}$$

З урахуванням стандартного ряду номінальних струмів приймаємо ввідний автоматичний вимикач:

$$I_{\text{ном}} = 315 \text{ А.}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.4. – Основні параметри системи електропостачання зерносушильного комплексу

№	Параметр	Значення
1	Напруга зовнішньої мережі	10 кВ
2	Напруга внутрішньої мережі	0,4 кВ
3	Тип мережі	Трифазна змінного струму
4	Частота мережі	50 Гц
5	Потужність трансформатора	250 кВА
6	Тип трансформаторної підстанції	КТП-250/10/0,4
7	Схема електропостачання	Радіальна
8	Максимальна повна потужність	200,31 кВА
9	Максимальний розрахунковий струм	289,09 А
10	Номінальний струм ввідного автомата	315 А
11	Потужність сонячної електростанції	100 кВт
12	Тип сонячної електростанції	Мережева
13	Тип розподільчого щита	ГРЩ-0,4 кВ
14	Спосіб резервування	АВР та резервне джерело живлення

Для внутрішнього електропостачання комплексу використовуються кабельні лінії з мідними або алюмінієвими жилами, які вибираються за допустимим струмовим навантаженням, умовами нагрівання та втратою напруги. Кабельні лінії прокладаються у виробничих приміщеннях відповідно до вимог електробезпеки та пожежної безпеки.

2.5. Компенсація реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності є важливим заходом підвищення енергоефективності системи електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога». Значна кількість електроспоживачів підприємства представлена

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

асинхронними електродвигунами вентиляторів, норій, транспортерів, аспіраційних систем та іншого технологічного обладнання.

Наявність значної реактивної потужності призводить до збільшення струмів у мережі, підвищення втрат електроенергії, нагрівання кабелів та трансформаторів, зниження коефіцієнта потужності та погіршення якості електроенергії [13].

Коефіцієнт потужності визначається за формулою:

$$\cos\varphi = P / S.$$

У попередніх розрахунках було визначено:

$$P_p = 135,63 \text{ кВт}; S_p = 159,56 \text{ кВА}.$$

Тоді коефіцієнт потужності становить:

$$\cos\varphi = \frac{135,63}{159,56} = 0,85.$$

Для промислових підприємств рекомендується підтримувати коефіцієнт потужності не нижче $\cos\varphi = 0,95$.

Необхідна потужність компенсуючої установки визначається за формулою:

$$Q_k = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2).$$

Для $\cos\varphi_1 = 0,85$ приймаємо $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0,62$.

Для $\cos\varphi_2 = 0,95$ приймаємо $\operatorname{tg}\varphi_2 = 0,33$.

Тоді:

$$Q_k = 135,63 \cdot (0,62 - 0,33) = 39,33 \text{ квар}.$$

З урахуванням стандартного ряду потужностей приймаємо компенсуючу установку потужністю 40 квар типу УКРМ-0,4-40.

Після компенсації реактивної потужності повна потужність визначається за формулою:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$S_2 = P / \cos\varphi_2.$$

$$S_2 = 135,63 / 0,95 = 142,77 \text{ кВА.}$$

Зменшення повної потужності становить:

$$\Delta S = 159,56 - 142,77 = 16,79 \text{ кВА.}$$

Новий струм навантаження після компенсації:

$$I_2 = 135,63 \cdot 1000 / (1,732 \cdot 400 \cdot 0,95) = 206,13 \text{ А.}$$

Таблиця 2.5. – Основні параметри компенсації реактивної потужності

№	Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
1	Активна потужність	P	135,63	кВт
2	Початковий коефіцієнт потужності	$\cos\varphi_1$	0,85	—
3	Нормативний коефіцієнт потужності	$\cos\varphi_2$	0,95	—
4	Повна потужність до компенсації	S_1	159,56	кВА
5	Потужність компенсуючої установки	Q_k	39,33	квар
6	Прийнята потужність установки	Q_{kpr}	40	квар
7	Повна потужність після компенсації	S_2	142,77	кВА
8	Зменшення повної потужності	ΔS	16,79	кВА
9	Струм до компенсації	I_1	230,10	А
10	Струм після компенсації	I_2	206,13	А
11	Тип компенсуючої установки	УКРМ-0,4-40	Автоматична	—

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Висновки до розділу 2

У другому розділі було виконано розрахунок електричних навантажень зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області та визначено основні параметри системи електропостачання підприємства. Проведені розрахунки дозволили встановити рівень електроспоживання комплексу, визначити необхідну потужність трансформаторного обладнання, параметри електричної мережі та обґрунтувати доцільність використання відновлюваних джерел енергії.

У ході виконання розрахунків було визначено загальну встановлену потужність електроспоживачів зерносушильного комплексу, яка становить 164,5 кВт. Найбільшу частку навантаження формують вентилятори зерносушарки, транспортні механізми, зерноочисне обладнання та аспіраційні системи. Встановлено, що розрахункова активна потужність підприємства становить 135,63 кВт, а максимальна повна потужність з урахуванням коефіцієнта запасу дорівнює 200,31 кВА.

На основі отриманих результатів було виконано вибір основного джерела електропостачання. Для живлення зерносушильного комплексу прийнято підключення до зовнішньої мережі напругою 10 кВ із використанням комплектної трансформаторної підстанції КТП-250/10/0,4 кВ та силового трансформатора потужністю 250 кВА. Вибране обладнання забезпечує необхідний резерв потужності для пускових режимів електродвигунів та можливого розширення виробництва у майбутньому.

Під час вибору схеми електропостачання встановлено, що найбільш доцільною для зерносушильного комплексу є радіальна схема розподілу електроенергії. Така схема забезпечує високий рівень надійності, простоту експлуатації, можливість локалізації аварійних ділянок та ефективний захист окремих груп електроспоживачів.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Для забезпечення стабільної роботи найбільш відповідального обладнання передбачено використання системи автоматичного введення резерву та резервного джерела живлення.

У розділі також було розглянуто питання інтеграції сонячної електростанції у систему електропостачання підприємства. Встановлено, що використання мережевої сонячної електростанції потужністю 100 кВт є технічно та економічно доцільним рішенням для часткового покриття електричних навантажень зерносушильного комплексу. Використання відновлюваних джерел енергії дозволяє знизити навантаження на зовнішню електромережу, зменшити витрати на оплату електроенергії та підвищити енергетичну автономність підприємства.

Особливу увагу було приділено компенсації реактивної потужності. У результаті розрахунків встановлено, що початковий коефіцієнт потужності комплексу становить 0,85. Для підвищення енергоефективності системи електропостачання та зменшення втрат електроенергії було обґрунтовано встановлення автоматичної конденсаторної установки потужністю 40 квар типу УКРМ-0,4-40. Після компенсації реактивної потужності коефіцієнт потужності підвищується до нормативного значення 0,95, а струм навантаження зменшується з 230,10 А до 206,13 А.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

3.1. Обґрунтування доцільності застосування ВДЕ

У сучасних умовах розвитку агропромислового сектору України питання використання відновлюваних джерел енергії набуває особливої актуальності. Постійне зростання тарифів на електроенергію, нестабільність енергетичної системи, необхідність забезпечення енергетичної незалежності підприємств та підвищення енергоефективності виробництва спонукають аграрні підприємства до впровадження сучасних альтернативних джерел енергії. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання сонячної енергетики для забезпечення електропостачання виробничих об'єктів, зокрема зерносушильних комплексів [14].

Зерносушильний комплекс ФГ «Агро-Перемога» характеризується значним рівнем електроспоживання, оскільки у процесі сушіння зерна одночасно працює велика кількість електродвигунів вентиляторів, транспортерів, норій, аспіраційних систем та іншого технологічного обладнання. Найбільше навантаження на електричну мережу спостерігається у денний період, коли зерносушильний комплекс працює у найбільш інтенсивному режимі. Саме у цей час сонячна електростанція здатна забезпечити максимальний рівень генерації електроенергії, що робить використання сонячної енергетики особливо ефективним для даного підприємства.

Полтавська область має достатньо сприятливі кліматичні умови для використання сонячної енергетики. Середньорічна тривалість сонячного сяйва у регіоні становить приблизно 1800–2000 годин на рік, що дозволяє забезпечити ефективну роботу фотоелектричних модулів протягом більшої частини року. В умовах Миргородського району середній рівень сонячної радіації є достатнім для виробництва значних обсягів електроенергії за допомогою сонячної електростанції.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Однією з основних переваг використання відновлюваних джерел енергії є зниження витрат підприємства на оплату електроенергії. Зерносушильні комплекси належать до енергоємних виробництв, тому навіть часткове покриття електричних навантажень за рахунок сонячної генерації дозволяє суттєво скоротити експлуатаційні витрати. У період активної роботи зерносушильного комплексу споживання електроенергії значно зростає, а використання сонячної електростанції дозволяє компенсувати частину навантаження без використання додаткової електроенергії із зовнішньої мережі.

Важливою перевагою використання сонячної енергетики є також підвищення енергетичної незалежності підприємства. У сучасних умовах нестабільної роботи енергосистеми та можливих аварійних відключень електроенергії наявність власного джерела генерації дозволяє зменшити залежність від зовнішньої мережі та підвищити надійність роботи технологічного обладнання. Особливо важливим це є для зерносушильного комплексу, оскільки раптове припинення процесу сушіння може призвести до псування зерна, порушення технологічного процесу та значних фінансових втрат.

Застосування сонячної електростанції також має важливе екологічне значення. Виробництво електроенергії за допомогою фотоелектричних модулів не супроводжується викидами шкідливих речовин, продуктів згоряння чи парникових газів. Це дозволяє зменшити негативний вплив підприємства на навколишнє середовище та сприяє впровадженню принципів екологічно безпечного виробництва. Для агропромислового сектору питання екологічності виробництва є особливо важливим, оскільки сільське господарство безпосередньо пов'язане із використанням природних ресурсів.

Ще однією перевагою використання відновлюваних джерел енергії є тривалий термін експлуатації сонячних електростанцій. Сучасні фотоелектричні модулі мають термін служби понад 25 років, а їх технічне обслуговування потребує відносно

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

невеликих витрат. Відсутність рухомих механічних частин у сонячних панелях забезпечує високу надійність роботи та мінімальний рівень аварійності.

Для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» доцільно використовувати мережеву сонячну електростанцію потужністю 100 кВт. Така потужність дозволяє частково покривати навантаження підприємства у денний період та забезпечувати економію електроенергії під час роботи основного технологічного обладнання. Підключення сонячної електростанції до мережі 0,4 кВ здійснюється через мережеві інвертори, які забезпечують перетворення постійного струму, виробленого фотоелектричними модулями, у змінний струм промислової частоти [15].

Використання відновлюваних джерел енергії також позитивно впливає на роботу системи електропостачання підприємства. Часткове покриття навантаження за рахунок сонячної генерації дозволяє зменшити струми у внутрішніх мережах, знизити втрати електроенергії та зменшити навантаження на силовий трансформатор. Це сприяє підвищенню ефективності роботи всієї системи електропостачання та продовженню терміну служби електрообладнання.

Важливим фактором є також економічна доцільність впровадження сонячної електростанції. Незважаючи на початкові капітальні витрати, у процесі експлуатації підприємство отримує суттєву економію коштів за рахунок зменшення споживання електроенергії із зовнішньої мережі. У перспективі це дозволяє забезпечити окупність проекту та отримати стабільний економічний ефект.

3.2. Вибір типу відновлюваних джерел енергії

Вибір типу відновлюваних джерел енергії для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» є важливим етапом проектування системи електропостачання підприємства. Від правильності вибору джерела енергії залежить ефективність роботи

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

системи, рівень економії електроенергії, надійність електропостачання та економічна доцільність реалізації проєкту. Під час вибору необхідно враховувати кліматичні умови регіону, характер електричних навантажень підприємства, технічні можливості впровадження обладнання, рівень енергоспоживання та термін окупності системи.

На сьогоднішній день до основних видів відновлюваних джерел енергії належать сонячна енергетика, вітрова енергетика, біоенергетика, гідроенергетика та геотермальна енергетика. Кожен із цих видів має свої переваги, недоліки та особливості застосування. Для агропромислових підприємств найбільш поширеним та економічно доцільним напрямом є використання сонячної енергетики, оскільки вона характеризується відносною простотою монтажу, високою надійністю роботи та можливістю швидкої інтеграції у вже існуючу систему електропостачання.

Під час вибору типу відновлюваних джерел енергії для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» було проаналізовано кліматичні умови Полтавської області. Даний регіон має достатній рівень сонячної активності, що створює сприятливі умови для використання фотоелектричних модулів. Середньорічна тривалість сонячного сяйва становить приблизно 1800–2000 годин на рік, а рівень сонячної радіації забезпечує ефективне виробництво електроенергії протягом більшої частини року [16].

Використання вітрових електростанцій для даного підприємства є менш доцільним через нестабільність швидкості вітру у регіоні та необхідність встановлення веж значної висоти. Крім того, вітрові установки потребують більш складного технічного обслуговування та мають вищий рівень шуму під час роботи. Для зерносушильного комплексу, розташованого поблизу виробничих і складських приміщень, це може створювати додаткові експлуатаційні труднощі.

Біоенергетика також може використовуватися на агропромислових підприємствах, оскільки сільське господарство генерує значну кількість органічних відходів. Проте впровадження біогазових установок потребує значних капітальних

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

вкладень, складної системи підготовки сировини та постійного забезпечення біомаси у необхідних обсягах. Для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» використання біогазової установки є менш економічно доцільним порівняно із сонячною електростанцією.

Гідроенергетика та геотермальна енергетика для даного об'єкта практично не можуть бути реалізовані через відсутність необхідних природних умов та значні витрати на будівництво відповідної інфраструктури.

У результаті аналізу різних типів відновлюваних джерел енергії встановлено, що найбільш ефективним рішенням для зерносушильного комплексу є використання сонячної електростанції. Сонячна енергетика найбільш повно відповідає режиму роботи підприємства, оскільки максимальне навантаження зерносушильного комплексу спостерігається саме у денний період, коли фотоелектричні модулі забезпечують найбільшу генерацію електроенергії.

Для підприємства доцільно застосувати мережеву сонячну електростанцію, яка працюватиме паралельно із зовнішньою електричною мережею. Основними елементами такої системи є фотоелектричні модулі, мережеві інвертори, система захисту, кабельні лінії та система моніторингу параметрів роботи.

Основним джерелом генерації електроенергії у системі є фотоелектричні модулі. Для даного проєкту доцільно використовувати монокристалічні сонячні панелі, оскільки вони характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, стабільністю роботи та тривалим терміном експлуатації. Монокристалічні панелі мають вищу ефективність порівняно із полікристалічними та тонкоплівковими модулями, що особливо важливо при обмеженій площі розміщення обладнання.

Для перетворення постійного струму, виробленого сонячними модулями, у змінний струм промислової частоти використовуються мережеві інвертори. Інвертори забезпечують синхронізацію роботи сонячної електростанції із зовнішньою мережею

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

та автоматичне регулювання режимів генерації залежно від поточного навантаження підприємства.

Орієнтовна встановлена потужність сонячної електростанції для зерносушильного комплексу становить:

$$P_{\text{СЕС}} = 100 \text{ кВт.}$$

Таблиця 3.1. – Порівняльна характеристика відновлюваних джерел енергії

№	Тип ВДЕ	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
1	Сонячна енергетика	Висока надійність, простота монтажу, екологічність	Залежність від сонячної активності	Висока
2	Вітрова енергетика	Можливість генерації у будь-яку пору року	Нестабільність вітру, шум, висока вартість	Середня
3	Біоенергетика	Використання органічних відходів	Складність експлуатації, великі витрати	Низька
4	Гідроенергетика	Стабільна генерація	Відсутність необхідних умов	Недоцільна
5	Геотермальна енергетика	Незалежність від погодних умов	Висока вартість реалізації	Недоцільна

Така потужність дозволяє забезпечити часткове покриття електричних навантажень підприємства у денний період та суттєво зменшити споживання електроенергії із зовнішньої мережі. Для підвищення надійності роботи системи електропостачання може також використовуватись акумуляторна система накопичення електроенергії. Вона забезпечує резервне живлення окремих

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

електроспоживачів першої категорії у разі аварійного відключення зовнішньої мережі. Проте основним режимом роботи проєктованої сонячної електростанції є мережевий режим без тривалого накопичення електроенергії.

3.3. Розрахунок потужності ВДЕ

Розрахунок потужності відновлюваного джерела енергії для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» виконується з метою визначення такої встановленої потужності сонячної електростанції, яка зможе частково покривати електричні навантаження підприємства у період найбільш активної роботи технологічного обладнання [17].

У попередніх розрахунках було визначено, що розрахункова активна потужність електроспоживачів комплексу становить $P_p = 135,63$ кВт.

Максимальна активна потужність комплексу становить $P_{\max} = 148,05$ кВт.

Для сонячної електростанції приймаємо коефіцієнт покриття навантаження $k_{\text{покp}} = 0,70$.

Необхідна потужність сонячної електростанції визначається за формулою:

$$P_{\text{СЕС}} = P_p \cdot k_{\text{покp}}.$$

$$P_{\text{СЕС}} = 135,63 \cdot 0,70 = 94,94 \text{ кВт.}$$

З урахуванням стандартного ряду обладнання приймаємо встановлену потужність сонячної електростанції $P_{\text{СЕС.пр}} = 100$ кВт.

Для подальшого розрахунку приймаємо монокристалічні фотоелектричні модулі потужністю

$$P_m = 550 \text{ Вт} = 0,55 \text{ кВт.}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Кількість фотоелектричних модулів визначається за формулою:

$$N = P_{\text{ЕС. пр}} / P_{\text{м.}}$$

$$N = 100 / 0,55 = 181,82 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N = 182$ фотоелектричні модулі.

Фактична потужність станції:

$$P_{\text{факт}} = 182 \cdot 0,55 = 100,1 \text{ кВт.}$$

Для визначення добової генерації використовується формула:

$$W_{\text{доб}} = P_{\text{факт}} \cdot t_{\text{еф}} \cdot \eta_{\text{с.}}$$

Для умов Полтавської області приймаємо $t_{\text{еф}} = 4,5$ год/добу та $\eta_{\text{с}} = 0,85$.

$$W_{\text{доб}} = 100,1 \cdot 4,5 \cdot 0,85 = 382,88 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу.}$$

Місячне вироблення електроенергії:

$$W_{\text{міс}} = 382,88 \cdot 30 = 11486,4 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для Полтавської області приймаємо $N_{\text{р}} = 1200$ год/рік.

Річне вироблення електроенергії:

$$W_{\text{рік}} = 100,1 \cdot 1200 \cdot 0,85 = 102102 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Річне споживання електроенергії комплексу визначається за формулою:

$$W_{\text{спож}} = P_p \cdot t_{\text{доб}} \cdot D.$$

При $P_p = 135,63$ кВт, $t_{\text{доб}} = 8$ год та $D = 120$ діб отримуємо:

$$W_{\text{спож}} = 135,63 \cdot 8 \cdot 120 = 130204,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

Частка покриття електроспоживання визначається за формулою:

$$K_{\text{покp}} = W_{\text{рік}} / W_{\text{спож}} \cdot 100\%.$$

$$K_{\text{покp}} = 102102 / 130204,8 \cdot 100 = 78,42\%.$$

Отже, сонячна електростанція потужністю 100 кВт може забезпечити близько 78,4 % річного електроспоживання зерносушильного комплексу.

Таблиця 3.2. – Розрахунок потужності сонячної електростанції для зерносушильного комплексу

№	Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
1	Розрахункова активна потужність комплексу	P_p	135,63	кВт
2	Коефіцієнт покриття навантаження	$k_{\text{покp}}$	0,70	—
3	Розрахункова потужність СЕС	$P_{\text{СЕС}}$	94,94	кВт

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

4	Прийнята потужність СЕС	РСЕС.пр	100	кВт
5	Потужність одного фотоелектричного модуля	Рм	0,55	кВт
6	Кількість фотоелектричних модулів	N	182	шт.
7	Фактична потужність СЕС	Рфакт	100,1	кВт
8	Ефективна тривалість сонячної генерації	теф	4,5	год/добу
9	Коефіцієнт системних втрат	ηс	0,85	—
10	Добове вироблення електроенергії	Wдоб	382,88	кВт·год
11	Місячне вироблення електроенергії	Wміс	11486,4	кВт·год
12	Річне вироблення електроенергії	Wрік	102102	кВт·год
13	Орієнтовне річне споживання комплексу	Wспож	130204,8	кВт·год
14	Частка покриття споживання	Кпокр	78,42	%

Для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» доцільно прийняти сонячну електростанцію встановленою потужністю 100 кВт. Для її реалізації необхідно встановити 182 монокристалічні фотоелектричні модулі потужністю 550 Вт кожен. Фактична потужність станції становитиме 100,1 кВт. За прийнятих умов експлуатації така сонячна електростанція зможе виробляти приблизно 102102 кВт·год електроенергії на рік та покривати близько 78,4 % річного електроспоживання зерносушильного комплексу [18].

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

3.4. Інтеграція ВДЕ у систему електропостачання комплексу

Інтеграція відновлюваних джерел енергії у систему електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» є важливим етапом модернізації енергетичної інфраструктури підприємства. Основною метою впровадження сонячної електростанції є часткове покриття електричних навантажень комплексу, зниження витрат на електроенергію, підвищення енергетичної незалежності та забезпечення більш ефективного використання електричної енергії. Правильна інтеграція сонячної електростанції у внутрішню систему електропостачання дозволяє забезпечити стабільну та безпечну роботу всього технологічного обладнання [19].

У попередніх підрозділах було визначено, що для зерносушильного комплексу доцільно використовувати мережеву сонячну електростанцію встановлену потужністю 100 кВт. Дана електростанція працюватиме паралельно із зовнішньою електричною мережею 10/0,4 кВ та забезпечуватиме часткове живлення електроспоживачів комплексу у денний період. Основними електроспоживачами, які використовуватимуть електроенергію від сонячної генерації, є вентилятори зерносушарки, транспортери, норії, зерноочисне обладнання, системи вентиляції та автоматизації [20].

Інтеграція сонячної електростанції у систему електропостачання здійснюється через головний розподільчий щит ГРЩ-0,4 кВ. Фотоелектричні модулі виробляють постійний струм, який надходить до мережевих інверторів. Інвертори виконують перетворення постійного струму у змінний струм напругою 0,4 кВ та синхронізують параметри генерації із параметрами зовнішньої електричної мережі.

Основною перевагою мережевої сонячної електростанції є можливість автоматичної роботи у паралельному режимі із зовнішньою мережею. У разі достатнього рівня сонячної генерації частина навантаження зерносушильного

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

комплексу покривається за рахунок сонячної електростанції, а дефіцит потужності компенсується електроенергією із зовнішньої мережі. Якщо генерація сонячної електростанції перевищує поточне навантаження, надлишок електроенергії може передаватися у внутрішню мережу підприємства або використовуватись для живлення допоміжних електроспоживачів.

Для забезпечення стабільної роботи системи електропостачання передбачається використання автоматизованої системи керування сонячною електростанцією. Система моніторингу контролює рівень генерації, напругу, струм, частоту, температуру обладнання та режими роботи інверторів. У разі виникнення аварійних режимів система автоматично виконує відключення пошкоджених ділянок та забезпечує захист обладнання від перевантажень, коротких замикань та перенапруг.

Важливим елементом інтеграції ВДЕ є забезпечення електробезпеки та надійності роботи обладнання. Для захисту фотоелектричних модулів та інверторів використовуються автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники, пристрої захисту від імпульсних перенапруг та система заземлення. Особливу увагу необхідно приділити блискавкозахисту, оскільки сонячні панелі встановлюються на відкритих майданчиках або покрівлях виробничих приміщень.

Для підвищення надійності електропостачання підприємства у проєкті також передбачається використання системи автоматичного введення резерву. У разі аварійного відключення зовнішньої мережі система АВР забезпечує автоматичне переключення на резервне джерело живлення. Це дозволяє уникнути аварійної зупинки технологічного процесу сушіння зерна та зменшити ризик пошкодження обладнання.

Інтеграція сонячної електростанції позитивно впливає на параметри системи електропостачання підприємства. Часткове покриття навантаження за рахунок ВДЕ дозволяє зменшити струми у внутрішніх мережах, знизити втрати електроенергії у кабельних лініях та трансформаторі, а також зменшити навантаження на силове

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

обладнання. Крім того, використання сонячної електростанції сприяє підвищенню коефіцієнта енергоефективності підприємства та зниженню витрат на оплату електроенергії.

Для забезпечення максимально ефективної роботи сонячної електростанції фотоелектричні модулі повинні бути орієнтовані у південному напрямку під оптимальним кутом нахилу, який для умов Полтавської області становить приблизно 30–35°. Таке розташування забезпечує максимальне надходження сонячної енергії та підвищує рівень генерації електроенергії протягом року. Важливою перевагою інтеграції ВДЕ у систему електропостачання зерносушильного комплексу є можливість поступового розширення сонячної електростанції у майбутньому. За необхідності підприємство може збільшити кількість фотоелектричних модулів, встановити додаткові інвертори або впровадити систему накопичення електроенергії для підвищення рівня автономності.

Таблиця 3.3. – Основні елементи інтеграції ВДЕ у систему електропостачання

№	Елемент системи	Призначення
1	Фотоелектричні модулі	Генерація постійного струму
2	Мережевий інвертор	Перетворення постійного струму у змінний
3	ГРЩ-0,4 кВ	Розподіл електроенергії між споживачами
4	Кабельні лінії	Передача електроенергії
5	Система АВР	Автоматичне введення резерву
6	Автоматичні вимикачі	Захист від перевантаження та КЗ
7	Система моніторингу	Контроль параметрів роботи СЕС
8	Система заземлення	Захист персоналу та обладнання
9	Пристрої захисту від перенапруг	Захист обладнання від імпульсних перенапруг
10	Трансформаторна підстанція	Пониження напруги 10/0,4 кВ

Інтеграція сонячної електростанції у систему електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» є технічно обґрунтованим та ефективним рішенням. Використання мережевої сонячної електростанції потужністю

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

100 кВт дозволяє частково покривати електричні навантаження підприємства, зменшити витрати на електроенергію, підвищити надійність електропостачання та забезпечити більш ефективне використання енергетичних ресурсів.

3.5. Оцінка ефективності використання ВДЕ

Оцінка ефективності використання відновлюваних джерел енергії є важливим етапом проектування системи електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога».

У попередніх підрозділах було визначено, що для зерносушильного комплексу доцільно використовувати мережеву сонячну електростанцію встановленою потужністю $P_{\text{СЕС}} = 100 \text{ кВт}$.

Річне вироблення електроенергії сонячною електростанцією становить $W_{\text{рік}} = 102102 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$.

Для розрахунків приймаємо середній тариф на електроенергію $C_e = 6,5 \text{ грн} / \text{кВт} \cdot \text{год}$.

Річна економія коштів визначається за формулою: $E_p = W_{\text{рік}} \cdot C_e$.

$$E_p = 102102 \cdot 6,5 = 663663 \text{ грн} / \text{рік}.$$

Орієнтовна вартість сонячної електростанції потужністю 100 кВт становить $K = 3200000 \text{ грн}$.

Строк окупності визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = K / E_p.$$

$$T_{\text{ок}} = 3200000 / 663663 = 4,82 \text{ року}.$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Річне споживання електроенергії зерносушильного комплексу становить
 $W_{\text{спож}} = 130204,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$.

Частка покриття електроспоживання визначається за формулою:

$$K_{\text{покp}} = W_{\text{рік}} / W_{\text{спож}} \cdot 100\%.$$

$$K_{\text{покp}} = \frac{102102}{130204,8} \cdot 100 = 78,42\%.$$

Для оцінки екологічного ефекту приймаємо, що при виробництві 1 кВт·год електроенергії утворюється 0,7 кг CO₂.

Скорочення викидів визначається за формулою:

$$MCO_2 = W_{\text{рік}} \cdot 0,7.$$

$$MCO_2 = 102102 \cdot 0,7 = 71471,4 \frac{\text{кг}}{\text{рік}}.$$

Використання сонячної електростанції дозволяє щорічно скорочувати викиди CO₂ приблизно на 71,47 т/рік.

Використання ВДЕ дозволяє знизити витрати на електроенергію, підвищити енергетичну незалежність підприємства та покращити екологічні показники роботи зерносушильного комплексу.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Таблиця 3.4. – Основні показники ефективності використання ВДЕ

№	Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
1	Потужність сонячної електростанції	PCEC	100	кВт
2	Річне вироблення електроенергії	W _{рік}	102102	кВт·год
3	Річне споживання електроенергії комплексу	W _{спож}	130204,8	кВт·год
4	Частка покриття електроспоживання	K _{покр}	78,42	%
5	Тариф на електроенергію	C _e	6,5	грн/кВт·год
6	Річна економія коштів	E _p	663663	грн/рік
7	Вартість сонячної електростанції	K	3200000	грн
8	Строк окупності	T _{ок}	4,82	років
9	Скорочення викидів CO ₂	MCO ₂	71471,4	кг/рік
10	Скорочення викидів CO ₂	MCO ₂	71,47	т/рік

Використання сонячної електростанції для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» є технічно, економічно та екологічно доцільним рішенням. Встановлення сонячної електростанції потужністю 100 кВт дозволяє покривати близько 78,4 % річного електроспоживання підприємства, забезпечує річну економію понад 660 тис. грн та має строк окупності менше 5 років. Крім економічного ефекту, впровадження ВДЕ дозволяє суттєво зменшити негативний вплив підприємства на навколишнє середовище та підвищити рівень енергетичної незалежності зерносушильного комплексу.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було виконано аналіз можливості використання відновлюваних джерел енергії для електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області та обґрунтовано доцільність впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання підприємства. Проведене дослідження показало, що використання відновлюваних джерел енергії є ефективним напрямом підвищення енергоефективності агропромислових підприємств та дозволяє суттєво знизити витрати на електроенергію.

У результаті аналізу кліматичних умов Полтавської області встановлено, що регіон має достатній рівень сонячної активності для ефективного використання сонячної енергетики. Середньорічна тривалість сонячного сяйва та рівень сонячної радіації забезпечують стабільну генерацію електроенергії протягом більшої частини року. Встановлено, що саме сонячна енергетика є найбільш доцільним видом відновлюваних джерел енергії для зерносушильного комплексу, оскільки режим роботи підприємства збігається із періодом максимальної сонячної генерації.

У ході виконання розрахунків було визначено необхідну потужність сонячної електростанції для часткового покриття електричних навантажень комплексу. За результатами розрахунків прийнято встановлену потужність сонячної електростанції на рівні 100 кВт. Для реалізації проєкту передбачається використання 182 монокристалічних фотоелектричних модулів потужністю 550 Вт кожен. Встановлено, що фактична потужність сонячної електростанції становитиме 100,1 кВт.

Проведений розрахунок вироблення електроенергії показав, що сонячна електростанція здатна виробляти приблизно 102102 кВт·год електроенергії на рік. Це дозволяє покривати близько 78,4 % річного електроспоживання зерносушильного

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

комплексу. Отримані результати підтверджують високу ефективність використання сонячної енергетики для даного підприємства та можливість значного зниження навантаження на зовнішню електричну мережу.

У розділі також було розглянуто особливості інтеграції сонячної електростанції у систему електропостачання зерносушильного комплексу. Встановлено, що найбільш доцільним є використання мережевої сонячної електростанції, яка працює паралельно із зовнішньою електричною мережею через головний розподільчий щит ГРЩ-0,4 кВ. Передбачено використання мережевих інверторів, системи автоматичного введення резерву, системи моніторингу та засобів електричного захисту, що забезпечують надійну та безпечну роботу обладнання.

Під час оцінки економічної ефективності встановлено, що впровадження сонячної електростанції дозволяє забезпечити річну економію коштів у розмірі понад 660 тис. грн. Орієнтовний строк окупності проєкту становить приблизно 4,8 року, що є економічно доцільним показником для агропромислового підприємства. З огляду на термін експлуатації фотоелектричних модулів понад 25 років, використання сонячної електростанції забезпечує тривалий економічний ефект та значне зниження витрат на електроенергію у майбутньому.

Крім економічного ефекту, впровадження відновлюваних джерел енергії має важливе екологічне значення. Використання сонячної електростанції дозволяє щорічно скорочувати викиди вуглекислого газу приблизно на 71,47 т, що сприяє зменшенню негативного впливу підприємства на навколишнє середовище та підвищенню екологічної безпеки виробництва.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

4.1. Схема електрична принципова

Схема електрична принципова зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» розробляється для відображення основних електричних зв'язків між джерелами живлення, розподільчими пристроями, апаратами захисту, сонячною електростанцією та електроспоживачами комплексу. Вона є базовим документом графічної частини роботи, оскільки саме на її основі визначається структура електропостачання, порядок підключення обладнання, принцип резервування та інтеграція відновлюваних джерел енергії.

Основним джерелом живлення зерносушильного комплексу приймається зовнішня електрична мережа напругою 10 кВ. Електроенергія від мережі подається на комплектну трансформаторну підстанцію КТП-250/10/0,4 кВ, у складі якої передбачається силовий трансформатор ТМ-250/10 потужністю 250 кВА. Вибір такого трансформатора обґрунтований попередніми розрахунками, відповідно до яких максимальна повна потужність комплексу з урахуванням запасу становить 200,31 кВА, а рекомендований номінальний струм ввідного автомата становить 315А.

На стороні 0,4 кВ від трансформатора живлення подається до головного розподільчого щита ГРЩ-0,4 кВ. У ГРЩ встановлюється ввідний автоматичний вимикач QF1 номінальним струмом 315 А, який забезпечує захист усієї низьковольтної мережі комплексу від струмів короткого замикання та перевантаження. Після ввідного автомата електроенергія розподіляється між окремими групами споживачів за радіальною схемою. Така схема є доцільною для зерносушильного комплексу, оскільки дозволяє відключати лише пошкоджену лінію без зупинки всього об'єкта.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

До шин ГРЩ підключаються силові лінії живлення вентиляторів зерносушарки, норій, стрічкових транспортерів, шнекових транспортерів, зерноочисної машини, аспіраційної системи, вентиляції складу, насосного обладнання, систем освітлення, автоматизованої системи керування та допоміжного обладнання. Для кожної групи споживачів передбачаються окремі автоматичні вимикачі, магнітні пускачі або контактори, теплові реле та кабельні лінії відповідного перерізу. Такий підхід забезпечує селективність захисту та зручність експлуатації електрообладнання.

У принциповій електричній схемі також передбачається підключення сонячної електростанції потужністю 100 кВт. Фотоелектричні модулі ФЕМ об'єднуються у стрінги, після чого постійний струм надходить до мережевого трифазного інвертора. Інвертор перетворює постійну напругу від сонячних панелей у змінну напругу 0,4 кВ та подає її на шини головного розподільчого щита. Для захисту лінії СЕС передбачаються автоматичні вимикачі на стороні постійного і змінного струму, пристрої захисту від перенапруги та роз'єднувачі для безпечного обслуговування обладнання.

Принцип роботи схеми полягає в тому, що у нормальному режимі живлення комплексу здійснюється від зовнішньої мережі 10 кВ через трансформаторну підстанцію. У денний період частина навантаження покривається за рахунок сонячної електростанції, що зменшує споживання електроенергії із зовнішньої мережі. Якщо потужності сонячної генерації недостатньо, необхідна електроенергія автоматично добирається з мережі. У разі зникнення напруги в основній мережі живлення відповідальних споживачів може здійснюватися від резервного джерела через систему автоматичного введення резерву.

Для підвищення надійності електропостачання у схемі передбачено резервне джерело живлення, яке може бути виконане у вигляді дизельного генератора або акумуляторної системи. Через пристрій АВР резервне джерело підключається до секції відповідальних споживачів. До цієї секції доцільно віднести систему

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

автоматизації, аварійне освітлення, протипожежне обладнання та частину обладнання, необхідного для безпечного завершення технологічного процесу.

4.2. Схема електрична функціональна

Функціональна електрична схема зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» призначена для відображення взаємодії основних елементів системи електропостачання, автоматизації, керування та сонячної електростанції під час роботи технологічного обладнання. На відміну від принципової схеми, функціональна схема показує не детальне електричне з'єднання всіх елементів, а логіку функціонування системи, напрямки передачі енергії та інформаційних сигналів між окремими вузлами комплексу.

Основою функціональної схеми є зовнішня електрична мережа напругою 10 кВ, від якої електроенергія подається до комплектної трансформаторної підстанції КТП-250/10/0,4 кВ. У трансформаторній підстанції виконується перетворення напруги з 10 кВ до 0,4 кВ, після чого електроенергія надходить до головного розподільчого щита ГРЩ-0,4 кВ. Через ГРЩ здійснюється розподіл електроенергії між усіма технологічними та допоміжними електроспоживачами зерносушильного комплексу.

У функціональній схемі передбачено поділ споживачів на окремі функціональні групи. До першої групи належить сушильне обладнання, яке включає вентилятори зерносушарки та систему подачі теплоносія. Друга група містить транспортне обладнання: норії, стрічкові та шнекові транспортери. Третя група включає зерноочисні машини та аспіраційні системи. Окремо виділяються системи вентиляції складу, освітлення, автоматизації та аварійного живлення.

Функціональна схема передбачає використання автоматизованої системи керування технологічним процесом. Основними елементами системи автоматизації є контролер керування, датчики температури, вологості, струму навантаження, рівня

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

зерна та виконавчі механізми. Датчики передають сигнали до контролера, який аналізує отриману інформацію та формує керуючі сигнали для електроприводів, контакторів та систем регулювання.

Під час роботи зерносушильного комплексу система автоматизації забезпечує контроль температури сушіння, швидкості переміщення зерна, режиму роботи вентиляторів та рівня вологості зернової маси. У разі перевищення допустимих параметрів система автоматично подає сигнал оператору або виконує аварійне відключення відповідного обладнання. Такий принцип роботи дозволяє забезпечити стабільність технологічного процесу та запобігти пошкодженню обладнання або псуванню зерна.

У функціональній схемі також відображається робота сонячної електростанції потужністю 100 кВт. Фотоелектричні модулі генерують постійний струм, який через мережевий інвертор перетворюється у трифазний змінний струм напругою 0,4 кВ. Далі електроенергія подається до шин головного розподільчого щита та використовується для живлення технологічного обладнання комплексу. Якщо потужності сонячної генерації недостатньо, дефіцит електроенергії компенсується за рахунок зовнішньої мережі.

Функціональна схема також включає систему автоматичного введення резерву. У разі аварійного зникнення напруги в основній мережі система АВР автоматично виконує перемикання відповідальних електроспоживачів на резервне джерело живлення. До резервної секції підключаються система автоматизації, аварійне освітлення, протипожежне обладнання та частина технологічних механізмів, необхідних для безпечного завершення процесу сушіння зерна.

Для забезпечення безпеки роботи у функціональній схемі передбачаються елементи релейного захисту та автоматики. До них належать автоматичні вимикачі, теплові реле, пристрої захисту від перенапруги, реле контролю фаз та пристрої захисного відключення. Дані елементи забезпечують захист електрообладнання від

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

коротких замикань, перевантаження, асиметрії фаз та аварійних режимів роботи. Функціональна схема зерносушильного комплексу забезпечує взаємодію всіх елементів системи електропостачання та автоматизації в єдиному технологічному процесі. Її використання дозволяє забезпечити надійність роботи обладнання, ефективне використання електричної енергії, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та підвищення рівня енергетичної автономності підприємства.

4.3. Схема електрична розташування

Схема електрична розташування зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» призначена для графічного відображення місць встановлення основного електротехнічного обладнання, розподільчих пристроїв, силових кабельних трас, систем автоматизації та сонячної електростанції на території підприємства. Дана схема дозволяє визначити взаємне розташування елементів системи електропостачання, забезпечити зручність експлуатації обладнання, мінімізувати довжину кабельних ліній та підвищити надійність роботи електромережі.

Основним елементом системи електропостачання є комплектна трансформаторна підстанція КТП-250/10/0,4 кВ, яка розташовується поблизу основного технологічного корпусу зерносушильного комплексу. Таке розташування дозволяє зменшити втрати напруги у внутрішніх мережах 0,4 кВ та скоротити довжину силових кабельних ліній. Підстанція встановлюється на окремому бетонному майданчику з дотриманням нормативних відстаней до будівель, проїздів та технологічного обладнання. Від трансформаторної підстанції кабельна лінія підводиться до головного розподільчого щита ГРЩ-0,4 кВ, який розміщується у електрощитовому приміщенні виробничого корпусу. Головний розподільчий щит є центральним вузлом системи електропостачання, від якого здійснюється живлення всіх груп електроспоживачів комплексу. У приміщенні електрощитової також

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

розташовуються пристрої релейного захисту, система автоматичного введення резерву, шафи автоматизації та контрольно-вимірювальне обладнання.

Вентилятори зерносушарки розміщуються безпосередньо біля сушильного агрегату. Поруч із вентиляторами встановлюються місцеві шафи керування та пускозахисна апаратура. Кабельні лінії до електродвигунів прокладаються у металевих лотках або захисних трубах із урахуванням вимог пожежної безпеки та механічного захисту кабелів.

Норії, стрічкові та шнекові транспортери розташовуються між приймальним вузлом, зерноочисним обладнанням, сушильною установкою та накопичувальними бункерами. Для кожного транспортного механізму передбачається встановлення локальних пунктів керування та аварійних кнопок зупинки. Кабельні траси прокладаються вздовж транспортних галерей та металоконструкцій комплексу. Зерноочисна машина та аспіраційна система встановлюються у зоні первинної обробки зерна. Аспіраційні вентилятори розташовуються таким чином, щоб забезпечити ефективне видалення пилу та підтримання безпечних умов праці. Поруч із даним обладнанням передбачаються шафи автоматизації та датчики контролю параметрів технологічного процесу. Система вентиляції складу розташовується у приміщеннях зберігання зерна та забезпечує підтримання необхідного мікроклімату. Вентиляційні установки підключаються до окремих розподільчих пунктів, які розташовуються у безпосередній близькості до обладнання для зменшення довжини кабельних ліній.

Освітлювальні мережі виробничих приміщень виконуються із використанням світлодіодних світильників, які розташовуються рівномірно по площі приміщень відповідно до норм освітленості. Зовнішнє освітлення території встановлюється вздовж проїздів, біля складів, приймального вузла та трансформаторної підстанції. Аварійне освітлення передбачається у приміщеннях із підвищеним рівнем небезпеки та на шляхах евакуації.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Сонячна електростанція потужністю 100 кВт розміщується на відкритій території або на покрівлі складських приміщень зерносушильного комплексу. Фотоелектричні модулі встановлюються рядами з орієнтацією на південь під оптимальним кутом нахилу для забезпечення максимальної генерації електроенергії. Поряд із масивом сонячних панелей розміщується інверторна станція та комутаційне обладнання. Кабельні лінії постійного струму прокладаються у захисних коробах до інвертора, після чого змінний струм подається до головного розподільчого щита.

Резервне джерело живлення у вигляді дизельного генератора встановлюється в окремому приміщенні або захисному контейнері поблизу електрощитової. Таке розташування дозволяє забезпечити швидке підключення резервного живлення через систему АВР та мінімізувати довжину резервних кабельних ліній.

Усі силові та контрольні кабелі на території комплексу прокладаються відповідно до вимог ПУЕ та норм електробезпеки. Для внутрішніх мереж застосовується прокладання у кабельних лотках, металевих трубах або коробах. На відкритих ділянках території кабелі прокладаються у траншеях або захисних гофрованих трубах із відповідним маркуванням трас. Система заземлення охоплює трансформаторну підстанцію, головний розподільчий щит, електродвигуни, інвертор сонячної електростанції, металеві конструкції та всі електротехнічні установки комплексу. Для забезпечення безпеки персоналу виконується система вирівнювання потенціалів та встановлюються пристрої захисту від імпульсних перенапруг.

4.4. Схема електрична з'єднань

Схема електрична з'єднань зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» призначена для детального відображення всіх електричних з'єднань між елементами системи електропостачання, апаратами захисту, системами керування, електроспоживачами та сонячною електростанцією. На схемі показуються конкретні

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

точки підключення обладнання, маркування кабельних ліній, клемні з'єднання, послідовність підключення апаратури та взаємозв'язок між окремими електротехнічними вузлами комплексу.

Основним джерелом живлення є зовнішня мережа 10 кВ, яка через комплектну трансформаторну підстанцію КТП-250/10/0,4 кВ забезпечує подачу електроенергії до низьковольтної мережі комплексу. На стороні 0,4 кВ силового трансформатора ТМ-250/10 встановлюється ввідний автоматичний вимикач QF1 номіналом 315 А, після якого живлення подається на шини головного розподільчого щита ГРЩ-0,4 кВ

У схемі електричних з'єднань відображаються всі групові лінії живлення, які відходять від ГРЩ до технологічного обладнання зерносушильного комплексу. Для кожної лінії вказуються марка кабелю, кількість жил, переріз провідників, спосіб прокладання та номінал захисного апарата. Силові кабелі підключаються до відповідних автоматичних вимикачів через клемні з'єднання або шинні збірки.

Вентилятори зерносушарки підключаються до окремих секцій ГРЩ через автоматичні вимикачі QF2 та QF3. Після автоматичних вимикачів силові лінії підключаються до магнітних пускачів КМ1 і КМ2, які забезпечують дистанційний запуск електродвигунів. Для захисту електродвигунів від перевантаження у схемі передбачаються теплові реле FR1 та FR2. Далі кабельні лінії підводяться безпосередньо до клем електродвигунів вентиляторів М1 та М2. Норії, стрічкові та шнекові транспортери підключаються аналогічним способом через окремі автомати захисту та контактори. Для кожного електродвигуна у схемі передбачено: силовий автоматичний вимикач, магнітний пускач, теплове реле, кнопку місцевого керування та сигнальну індикацію роботи механізму. Керуючі кола виконуються кабелями меншого перерізу та підключаються до шафи автоматизації через клемні блоки.

Зерноочисна машина та аспіраційна система мають окремі кабельні лінії живлення, які підключаються через автоматичні вимикачі до розподільчих секцій

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ГРЩ. Для аспіраційної системи передбачається додаткове підключення датчиків контролю роботи вентиляторів та аварійного сигналу перевантаження. Освітлювальні мережі виробничих приміщень та зовнішньої території підключаються через окремі групові автомати освітлення. Для внутрішнього освітлення використовуються однофазні лінії 220 В із окремим нульовим та захисним провідником. У схемі показується розподіл світильників за групами, а також підключення аварійного освітлення до резервної секції живлення.

Автоматизована система керування підключається через окремий автоматичний вимикач та джерело стабілізованого живлення. У схемі електричних з'єднань відображаються: контролер PLC, клемні модулі, реле керування, датчики температури, датчики вологості, реле контролю фаз, кнопкові пости та сигнальні лампи. Усі сигнальні кабелі маркуються відповідно до функціонального призначення.

Сонячна електростанція потужністю 100 кВт підключається до головного розподільчого щита через мережевий трифазний інвертор. Фотоелектричні модулі з'єднуються між собою у стрінги послідовним способом, після чого кабелі постійного струму підключаються до DC-захисту та інвертора. На стороні змінного струму інвертор підключається через автоматичний вимикач QF-СЕС до шин ГРЩ-0,4 кВ. У схемі також передбачаються пристрої захисту від імпульсних перенапруг та система заземлення фотоелектричних модулів. Резервний дизельний генератор підключається через систему автоматичного введення резерву АВР. У схемі показуються: ввід генератора, контактори перемикання джерел живлення, блок керування АВР та секція резервного навантаження. При зникненні напруги основної мережі система автоматично перемикає живлення відповідальних електроспоживачів на резервне джерело.

Усі корпуси електротехнічного обладнання, шафи керування, трансформаторна підстанція, інвертор, металеві лотки та електродвигуни підключаються до загальної

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи захисного заземлення РЕ. У схемі електричних з'єднань показується окремий контур заземлення та точки приєднання захисних провідників.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було розроблено основні електричні схеми зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога», які забезпечують повне уявлення про структуру системи електропостачання, принцип роботи обладнання, порядок підключення електроспоживачів та інтеграцію відновлюваних джерел енергії у виробничий процес.

У ході виконання розділу була розроблена принципова електрична схема зерносушильного комплексу, на якій відображено зовнішню мережу 10 кВ, комплектну трансформаторну підстанцію КТП-250/10/0,4 кВ, головний розподільчий щит ГРЩ-0,4 кВ, групові лінії живлення технологічного обладнання, систему резервного живлення та сонячну електростанцію потужністю 100 кВт. Встановлено, що запропонована структура електропостачання забезпечує надійну та стабільну роботу комплексу навіть у режимах максимального навантаження.

Під час розробки функціональної електричної схеми було визначено логіку взаємодії між основними елементами системи електропостачання, автоматизації та технологічного обладнання. Передбачено використання автоматизованої системи керування, яка забезпечує контроль температури сушіння, вологості зерна, режимів роботи електродвигунів та аварійних станів обладнання. Використання автоматизації дозволяє підвищити ефективність технологічного процесу та знизити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Під час розробки схеми електричного розташування було визначено оптимальне розміщення трансформаторної підстанції, головного розподільчого щита, силового обладнання, шаф автоматизації, кабельних трас та сонячної електростанції

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

на території підприємства. Запропоноване розташування обладнання дозволяє зменшити довжину кабельних ліній, знизити втрати електроенергії та забезпечити зручність обслуговування електротехнічних установок.

Розроблені електричні схеми підтверджують технічну можливість реалізації проєкту електрифікації зерносушильного комплексу із використанням сонячної електростанції. Запропоновані рішення забезпечують підвищення надійності електропостачання, зменшення навантаження на зовнішню електромережу, зниження експлуатаційних витрат та підвищення енергетичної автономності підприємства.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА

5.1. Електробезпека на об'єкті

Зерносушильний комплекс ФГ «Агро-Перемога» є об'єктом із високим рівнем енергоспоживання, електропостачання якого здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 10/0,4 кВ. Особливістю роботи комплексу є наявність великої кількості електродвигунів, транспортних механізмів та інтегрованої сонячної електростанції, що потребує суворого дотримання правил електробезпеки для захисту обслуговуючого персоналу.

Таблиця 6.1 – Класифікація приміщень та зон комплексу за ступенем небезпеки ураження електричним струмом

Клас приміщення	Характеристика середовища та критерії класифікації	Конкретні приміщення та технологічні дільниці об'єкта
Приміщення без підвищеної небезпеки	Сухі, чисті приміщення з нормальною температурою повітря та відсутністю умов, що викликають підвищену небезпеку.	Приміщення операторської (диспетчерський пункт); Приміщення інверторної станції.
Приміщення з підвищеною небезпекою	Характеризуються наявністю хоча б однієї з умов: сирість (відносна вологість понад 75 %); наявність неструмопровідного технологічного (зернового) пилу; підвищена температура (тривалий час понад +35 °C).	Зерноочисне відділення; Закрите приміщення сушильного відділення; Приміщення головного розподільчого щита (ГРЩ-0,4 кВ).
Особливо небезпечні приміщення та зони	Характеризуються наявністю хоча б однієї з умов: особлива сирість (вологість наближається до 100 %, стіни й стеля	Підземні транспортні галереї (норійні приямки завальної ями з ризиком просочування ґрунтових вод);

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

	покриті вологою); одночасна наявність двох або більше умов підвищеної небезпеки.	Відкриті технологічні ділянки під навісами та на повітрі (зовнішні норії, бункери відвантаження готової продукції).
--	---	---

Крім того, під час вибору та експлуатації електрообладнання враховуються кліматичні умови конкретних робочих зон комплексу:

Зони з високою температурою: Робоча зона конвективної зерносушарки поблизу теплогенератора та камер нагріву потребує термостійкого виконання обладнання, оскільки температура там тривалий час може перевищувати +40 °С.

Зовнішні установки: Фотоелектричні модулі сонячної електростанції, зовнішні ковшові норії та відкрита завальна яма зазнають прямого впливу дощу, снігу та сонячної радіації. Електрообладнання в цих зонах повинно мати високий ступінь захисту оболонки (IP54/IP65).

Для гарантування безпеки персоналу від ураження електричним струмом у проекті передбачено використання пристроїв захисного відключення та організацію системи вирівнювання потенціалів. Всі металеві корпуси електрообладнання, шафи керування, трансформаторна підстанція, інвертор та металоконструкції сонячної електростанції надійно підключаються до системи захисного заземлення.

Окрема увага приділяється безпечній експлуатації сонячної електростанції. Для захисту ланцюгів постійного струму фотоелектричних модулів використовуються захисні DC-автомати та роз'єднувачі. Для захисту обладнання та персоналу від атмосферних і комутаційних перенапруг на стороні змінного струму інвертора передбачено встановлення пристроїв захисту від імпульсних перенапруг. Усі силові кабелі прокладаються у захисних коробах, металевих лотках або траншеях відповідно до норм електробезпеки та пожежної безпеки.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

5.2. Захист від ураження електричним струмом

Для забезпечення надійної безпеки обслуговуючого персоналу зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції (при непрямому дотику) або при випадковому дотику до струмопровідних частин (прямий дотик), передбачено комплекс технічних заходів захисту. Проектні рішення розроблені відповідно до вимог ПУЕ, ДСТУ Б В.2.5-82:2016 та НПАОП 40.1-1.32-01.

Основним заходом захисту від непрямого дотику в електроустановках комплексу напругою 380/220 В є автоматичне вимкнення живлення в поєднанні з системою заземлення TN-C-S. Розділення PEN-провідника на нульовий робочий (N) та нульовий захисний (PE) провідники виконується на вводі в головний розподільчий щит (ГРЩ-0,4 кВ). Надалі в усій системі внутрішнього електропостачання провідники N і PE не повинні з'єднуватися.

До основних технічних засобів захисту від ураження струмом на об'єкті належать:

Захисне заземлення та занулення. Всі металеві неструмопровідні частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, підлягають обов'язковому приєднанню до захисного заземлювача через PE-провідники. Заземленню підлягають: корпуси електродвигунів норій, конвеєрів та вентиляторів, каркаси розподільчих шаф і пультів керування, металеві корпуси інверторів, а також опорні металоконструкції (трекери/столи) фотоелектричної станції. Опір заземлювального пристрою, до якого підключаються нейтралі трансформаторів підстанції, у будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом.

Система зрівнювання потенціалів. Для усунення різниці потенціалів на території комплексу передбачено основну систему зрівнювання потенціалів (ОСЗП). Вона об'єднує на головній заземлювальній шині (ГЗШ) такі елементи:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

- РЕ- або PEN-провідники живильних ліній;
- заземлювальний провідник, приєднаний до штучного заземлювача;
- металеві труби комунікацій (водопостачання, опалення);
- металеві частини будівельних конструкцій, систем вентиляції та технологічних трубопроводів (включаючи металеві силоси та корпуси зерносушарок). Для приміщень із підвищеною небезпекою (норійні прямки, сушильне відділення) додатково передбачено допоміжну систему зрівнювання потенціалів, що зв'язує всі доступні дотику металеві частини обладнання та сторонні провідні частини.

Захисне вимкнення. Як додатковий ефективний захід захисту від прямого та непрямого дотику, в мережах живлення штепсельних розеток, а також ручного електроінструменту передбачено встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ) або диференційних автоматичних вимикачів із номінальним струмом спрацьовування не більше 30 мА. Для загальних розподільчих ліній сонячної електростанції та силових щитів зернокомплексу застосовуються ПЗВ із струмом спрацьовування 100–300 мА, що також виконують функцію захисту від виникнення пожеж через витік струму на землю.

Захист у ланцюгах постійного струму (DC) сонячної станції. Особливістю фотоелектричної установки є те, що ланцюги постійного струму від сонячних панелей до інвертора перебувають під напругою (до 1000 В) протягом усього світлового дня, і їх неможливо вимкнути звичайним комутаційним апаратом на джерелі. Для безпеки в цій зоні застосовуються:

Кабелі зі спеціальною подвійною ізоляцією (класу II), стійкі до ультрафіолету та термічних навантажень;

Інвертори з інтегрованою системою безперервного контролю ізоляції та автоматичним блокуванням роботи у разі зниження опору лінії DC;

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Дистанційні вимикачі постійного струму (DC роз'єднувачі) для безпечного проведення ремонтних та аварійних робіт.

Використання безпечної низької напруги (БНН). Для живлення переносних світильників під час огляду та ремонту всередині закритих ємностей (бункери, силоси, камери сушарки) застосовується напруга не вище 12 В, яка подається через роздільні знижувальні трансформатори.

Ізоляція струмопровідних частин та захисні оболонки. Усе електрообладнання, що працює в умовах запиленості та на відкритому повітрі, має відповідний ступінь захисту оболонки (не нижче IP54 для приміщень зерноочистки та IP65 для зовнішніх установок ФЕС). Це повністю виключає випадковий доступ персоналу до елементів під напругою та захищає струмопровідні частини від потрапляння пилу і вологи, запобігаючи перекриттю та руйнуванню ізоляції.

5.3. Пожежна безпека та заземлення

Зерносушильний комплекс ФГ «Агро-Перемога» за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою належить до об'єктів із підвищеним ризиком. Це зумовлено специфікою технологічного процесу: наявністю значної кількості горючого органічного пилу (зернового пилу), який у зваженому стані здатний утворювати вибухонебезпечні суміші, а також експлуатацією потужного електрообладнання та інтегрованої сонячної електростанції (ФЕС). Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007, виробничі приміщення очищення та сушіння зерна відносяться до категорій Б та В, а за класифікацією ПУЕ — до пожежонебезпечних зон класів П-І (зовнішні установки) та П-Іа (внутрішні приміщення).

Для запобігання виникненню пожеж від експлуатації електроустановок та захисту об'єкта від зовнішніх чинників у проекті передбачено такі технічні заходи:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Захист від статичної електрики та вторинних проявів блискавки. Рух зерна по самопливних трубах, норіях та конвеєрах призводить до інтенсивного накопичення зарядів статичної електрики, що може викликати іскріння та вибух пилоповітряної суміші. Для запобігання цьому всі металоконструкції технологічного ланцюга (норії, силоси, бункери, сушильна камера) об'єднуються в безперервний електричний ланцюг і заземлюються шляхом приєднання до контуру заземлення. Опір заземлювального пристрою для захисту від статичної електрики становить не більше 100 Ом.

Блискавкозахист об'єкта. Оскільки зерносушарка та металеві силоси є висотними спорудами, вони становлять підвищену небезпеку в разі прямого удару блискавки (ПУБ). Захист виконано відповідно до ДСТУ EN 62305:2012. Як блискавкоприймачі використовуються безпосередньо металеві конструкції даху силосів та верхні точки норійних вишок (якщо товщина металу відповідає нормам), або встановлюються стрижневі блискавкоприймачі. Струмовводи прокладаються найкоротшим шляхом до штучного заземлювача блискавкозахисту. Опір заземлювача блискавкозахисту для кожної опори має бути не більше 10 Ом.

Суміщення заземлювальних пристроїв. У проекті реалізовано спільний (резонансний) заземлювальний пристрій, який об'єднує захисне заземлення електрообладнання 0,4 кВ, заземлення ФЕС, захист від статичної електрики та блискавкозахист. Загальний опір цього суміщеного контуру заземлення не повинен перевищувати 4 Ом, що задовольняє найжорсткіші вимоги електробезпеки.

Пожежна безпека фотоелектричної станції (ФЕС). Особливістю сонячної станції є генерація постійного струму, що підвищує ризик виникнення електричної дуги у разі пошкодження кабелів або розгерметизації конекторів MC4. Для зниження пожежної небезпеки передбачено:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

- Використання кабелів, які не підтримують горіння та мають низьке виділення диму і токсичних газів (типу Solar Cable з маркуванням LSZH абонг-LS);
- Прокладання кабельних ліній постійного струму в закритих металевих лотках або негорючих гофрованих трубах;
- Застосування інверторів із функцією AFCI (автоматичне виявлення електричної дуги), яка миттєво знеструмлює пошкоджений стрінг у разі мікроіскріння.

Вибір та виконання електрообладнання. Усі електродвигуни та пускова апаратура в зоні зерноочистки та сушіння обрані в закритому пилозахищеному виконанні зі ступенем захисту корпусу не нижче IP54. Електропроводка виконується кабелями з мідними жилами (наприклад, ВВГнг-LS), прокладеними відкрито в лотках або закрито в сталевих трубах (у підземних галереях), що унеможлиблює поширення полум'я в разі короткого замикання.

Системи автоматичного захисту та сигналізації. Силові щити обладнуються автоматичними вимикачами з електромагнітними та тепловими розчеплювачами для захисту від струмів КЗ та перевантажень, які є основними джерелами нагріву проводки. Ввідні щити додатково оснащуються протипожежними ПЗВ із струмом витоку 300 мА. Виробничі приміщення комплексу та диспетчерська обладнуються системою автоматичної пожежної сигналізації з комбінованими тепло-димовими сповіщувачами, а також забезпечуються первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотними та порошковими вогнегасниками класу В, С, Е для гасіння електроустановок під напругою).

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Висновки до розділу 5

У даному розділі кваліфікаційної роботи було проведено комплексний аналіз умов праці та розроблено інженерно-технічні заходи з електробезпеки, пожежної безпеки та заземлення для забезпечення надійної та безпечної експлуатації зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» з урахуванням впровадження сонячної електростанції.

На основі аналізу технологічного процесу виконано класифікацію виробничих зон та приміщень об'єкта за ступенем небезпеки ураження електричним струмом та рівнем вибухо-пожежонебезпеки. Встановлено, що комплекс має складні умови експлуатації через наявність приміщень із підвищеною небезпекою (запилені та вологі зони зерноочистки та сушіння) та особливо небезпечних зон (заглиблені норійні прямки). Зовнішні технологічні установки та майданчики ФЕС класифіковано як пожежонебезпечні зони класів П-І та П-Іа відповідно.

Для захисту обслуговуючого персоналу від непрямого дотику обґрунтовано застосування трифазної п'ятипровідної системи електропостачання із типом заземлення TN-C-S. Розділення PEN-провідника на нульовий робочий (N) та нульовий захисний (PE) провідники передбачено на входному пристрої ГРЩ-0,4 кВ із виконанням повторного заземлення.

Запропоновано комплекс технічних засобів захисту від ураження струмом, що включає:

- Захисне заземлення всіх металевих неструмопровідних частин обладнання (корпусів двигунів, шаф керування, металоконструкцій ФЕС та інверторів);
- Впровадження основної та додаткової систем зрівнювання потенціалів;

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

- Застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ) та диференційних автоматів із струмом спрацьовування 30 мА для ручного інструменту й розеток, та 100–300 мА для силових розподільчих ліній;
- Використання безпечної низької напруги 12 В для освітлення всередині силосів і бункерів під час ремонтних робіт.

З урахуванням специфіки фотоелектричної станції передбачено додаткові заходи безпеки в колах постійного струму (DC), зокрема: використання спеціалізованого сонячного кабелю з подвійною ізоляцією, стійкого до ультрафіолету, та застосування інверторів із безперервним автоматичним контролем опору ізоляції та інтегрованою системою захисту від утворення електричної дуги (AFCI).

Розроблено заходи з пожежної безпеки, захисту від статичної електрики та блискавкозахисту. Запропоновано конструкцію суміщеного заземлювального пристрою (для захисного заземлення, блискавкозахисту та захисту від статичного зарядження технологічного обладнання) із загальним опором не більше 4 Ом. Для запобігання пожежам передбачено використання силових кабелів у виконанні, що не поширює горіння і має низьке димовиділення (НГ-LS), захист мереж від перевантажень і КЗ, а також оснащення приміщень автоматичною пожежною сигналізацією та первинними засобами пожежогасіння.

Реалізація запропонованих рішень дозволяє мінімізувати ризики виробничого травматизму та виникнення аварійних ситуацій, забезпечуючи відповідність об'єкта діючим нормативним актам з охорони праці (ПУЕ, ДСТУ та НАПБ).

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

6.1. Визначення капітальних вкладень у систему електрифікації зерносушильного комплексу

Капітальні вкладення є початковими витратами підприємства, які необхідні для реалізації запропонованого проєктного рішення. У даній дипломній роботі вони пов'язані з модернізацією системи електропостачання зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» та впровадженням сонячної електростанції як додаткового джерела електропостачання.

У попередніх розділах дипломної роботи було визначено, що загальна встановлена потужність електрообладнання зерносушильного комплексу становить 164,5 кВт. Для забезпечення надійного живлення прийнято комплектну трансформаторну підстанцію КТП-250/10/0,4 кВ із силовим трансформатором потужністю 250 кВА. Крім того, передбачається встановлення мережевої сонячної електростанції потужністю 100 кВт.

Загальна сума капітальних вкладень визначається за формулою:

$$K = K_{\text{обл}} + K_{\text{каб}} + K_{\text{мон}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{пн}} + K_{\text{ін}}$$

де K — загальна сума капітальних вкладень, грн;

$K_{\text{обл}}$ — витрати на придбання основного електротехнічного обладнання, грн;

$K_{\text{каб}}$ — витрати на кабельну продукцію та монтажні матеріали, грн;

$K_{\text{мон}}$ — витрати на монтажні роботи, грн;

$K_{\text{пр}}$ — витрати на проєктні роботи, грн;

$K_{\text{пн}}$ — витрати на пусконаладжувальні роботи, грн;

$K_{\text{ін}}$ — інші витрати, грн.

Для більш детального розрахунку капітальні вкладення поділяємо на витрати на модернізацію традиційної системи електропостачання та витрати на впровадження сонячної електростанції.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Таблиця 6.1. – Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію системи електропостачання

№	Найменування обладнання або робіт	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Комплектна трансформаторна підстанція КТП-250/10/0,4 кВ	1	520000	520000
2	Силовий трансформатор ТМ-250/10	1	310000	310000
3	Головний розподільчий щит ГРЩ-0,4 кВ	1	180000	180000
4	Ввідний автоматичний вимикач 315 А	1	28000	28000
5	Групові автоматичні вимикачі	1	75000	75000
6	Пристрій компенсації реактивної потужності	1	120000	120000
7	Кабельні лінії	1	210000	210000
8	Система заземлення	1	42000	42000
9	Система блискавкозахисту	1	23000	23000
Разом				1508000

Витрати на модернізацію системи електропостачання становлять: Кел = 1 508 000 грн.

$$\begin{aligned} \text{Кел} &= 520000 + 310000 + 180000 + 28000 + 75000 + 120000 + 210000 \\ &+ 42000 + 23000 = 1\,508\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

		Лсонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2. – Розрахунок капітальних вкладень у сонячну електростанцію

№	Найменування обладнання або робіт	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Фотоелектричні модулі	1	1250000	1250000
2	Мережеві трифазні інвертори	2	185000	370000
3	Монтажні конструкції	1	280000	280000
4	Захисна апаратура	1	95000	95000
5	Кабельна продукція	1	160000	160000
6	Система моніторингу	1	45000	45000
7	Монтаж сонячної електростанції	1	260000	260000
8	Пусконаладжувальні роботи	1	55000	55000
Разом				2515000

$$\begin{aligned} K_{\text{сес}} = & 1\,250\,000 + 370\,000 + 280\,000 + 95\,000 + 160\,000 + 45\,000 \\ & + 260\,000 + 55\,000 = 2\,515\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

Таблиця 6.3. – Додаткові капітальні витрати

№	Найменування обладнання або робіт	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Проектні роботи	1	90000	90000
2	Доставка обладнання	1	42000	42000
3	Підготовка майданчика	1	65000	65000
4	Організаційні витрати	1	72000	72000
Разом				269000

$$K_{\text{дод}} = 90\,000 + 42\,000 + 65\,000 + 72\,000 = 269\,000 \text{ грн}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Загальна сума капітальних вкладень визначається як сума витрат на модернізацію системи електропостачання, впровадження сонячної електростанції та додаткових витрат.

$$K = K_{\text{ел}} + K_{\text{сес}} + K_{\text{дод}} = 1\,508\,000 + 2\,515\,000 + 269\,000 = 4\,292\,000 \text{ грн}$$

Таблиця 6.4. – Зведена структура капітальних вкладень

№	Група витрат	Сума, грн	Частка, %
1	Модернізація системи електропостачання	1508000	35.14
2	Сонячна електростанція	2515000	58.6
3	Додаткові витрати	269000	6.27
Разом			100

Отже загальна сума капітальних вкладень у систему електрифікації зерносушильного комплексу становить 4 292 000 грн.

Отримані результати показують, що найбільшу частку капітальних вкладень становить впровадження сонячної електростанції. Саме ця частина проєкту забезпечує майбутній економічний ефект за рахунок зменшення споживання електроенергії із зовнішньої мережі.

6.2. Розрахунок річного споживання електроенергії зерносушильного комплексу

Річне споживання електроенергії зерносушильного комплексу визначається на основі встановленої потужності електрообладнання, тривалості роботи обладнання протягом зміни, кількості робочих змін за рік, коефіцієнта одночасності роботи, коефіцієнта втрат електроенергії, коефіцієнта завантаження та коефіцієнта корисної дії електрообладнання.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Відповідно до методичних вказівок, витрати електроенергії визначаються за формулою:

$$E_{\text{вир}} = T_{\text{см}} \cdot N_{\text{см}} \cdot K_o \cdot K_{\text{п}} \cdot \Sigma((P_{\text{ні}} \cdot K_{\text{зі}}) / \eta_{\text{ні}})$$

де $E_{\text{вир}}$ — річні витрати електроенергії, кВт·год;

$T_{\text{см}}$ — тривалість однієї зміни, год;

$N_{\text{см}}$ — кількість робочих змін обладнання за рік;

K_o — коефіцієнт одночасності роботи обладнання;

$K_{\text{п}}$ — коефіцієнт втрат електроенергії;

$P_{\text{ні}}$ — номінальна встановлена потужність і-го обладнання, кВт;

$K_{\text{зі}}$ — коефіцієнт завантаження і-го обладнання;

$\eta_{\text{ні}}$ — коефіцієнт корисної дії електрообладнання.

Для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» приймаємо такі вихідні дані:

$$T_{\text{см}} = 8 \text{ год};$$

$$N_{\text{см}} = 120 \text{ змін/рік};$$

$$K_o = 0,75;$$

$$K_{\text{п}} = 1,05;$$

$$K_{\text{зі}} = 1,0;$$

$$\eta_{\text{ні}} = 0,92.$$

$$P_{\text{вст}} = 164,5 \text{ кВт}.$$

Тоді приведена потужність з урахуванням коефіцієнта завантаження та коефіцієнта корисної дії становить:

$$\Sigma((P_{\text{ні}} \cdot K_{\text{зі}}) / \eta_{\text{ні}}) = 164,5 \cdot 1,0 / 0,92 = 178,80 \text{ кВт}$$

		Лсонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Річне споживання електроенергії становить:

$$E_{\text{втр}} = 8 \cdot 120 \cdot 0,75 \cdot 1,05 \cdot 178,80 = 135\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$E_{\text{втр}} = 135\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 135,17 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год}$$

Таблиця 6.5. – Вихідні дані для розрахунку річного споживання електроенергії

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Тривалість зміни	$T_{\text{см}}$	8	год
Кількість змін за рік	$N_{\text{см}}$	120	змін
Коефіцієнт одночасності	K_o	0,75	—
Коефіцієнт втрат електроенергії	$K_{\text{п}}$	1,05	—
Коефіцієнт завантаження	$K_{\text{зі}}$	1,0	—
ККД електрообладнання	$\eta_{\text{ні}}$	0,92	—
Встановлена потужність	$P_{\text{вст}}$	164,5	кВт

Таблиця 6.6. – Розрахунок річного споживання електроенергії

Показник	Розрахунок	Значення
Приведена потужність обладнання	164,5 / 0,92	178,80 кВт
Тривалість роботи за рік	8 · 120	960 год
Річне споживання електроенергії	8 · 120 · 0,75 · 1,05 · 178,80	135 172,8 кВт·год
Річне споживання у тис. кВт·год	135 172,8 / 1000	135,17 тис. кВт·год

За прийнятих умов експлуатації зерносушильний комплекс споживає протягом року 135,17 тис. кВт·год електроенергії. Отримане значення буде використано у

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

наступних економічних розрахунках для визначення витрат на електроенергію, економічного ефекту та строку окупності капітальних вкладень.

6.3. Визначення витрат на електроенергію до та після впровадження сонячної електростанції

Витрати на електроенергію є однією з основних складових експлуатаційних витрат зерносушильного комплексу. Оскільки робота комплексу пов'язана з використанням електродвигунів вентиляторів, транспортерів, норій, зерноочисного обладнання, систем вентиляції та автоматизації, зменшення споживання електроенергії із зовнішньої мережі безпосередньо впливає на економічну ефективність проєкту.

Відповідно до методичних вказівок, витрати електроенергії в грошовому вираженні визначаються за формулою:

$$E_{гр} = E_n \cdot T_{\phi}$$

де $E_{гр}$ — витрати на електроенергію, грн;

E_n — кількість спожитої електроенергії, кВт·год;

T_{ϕ} — тариф на 1 кВт·год електроенергії, грн/кВт·год.

У попередньому підрозділі було визначено, що річне споживання електроенергії зерносушильного комплексу становить:

$$E_{витр} = 135\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 135,17 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год}$$

Для розрахунку приймаємо тариф на електроенергію для підприємства:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

$$T\phi = 8,00 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

Тоді річні витрати на електроенергію до впровадження сонячної електростанції становлять:

$$E_{\text{гр. до}} = 135\,172,8 \cdot 8,00 = 1\,081\,382,4 \text{ грн}$$

Для зменшення витрат на електроенергію у проєкті передбачено встановлення сонячної електростанції потужністю 100 кВт. Приймаємо, що середньорічний виробіток електроенергії сонячною електростанцією становить:

$$E_{\text{сес}} = 100\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Приймаємо коефіцієнт корисного використання сонячної генерації:

$$K_{\text{вик}} = 0,85$$

Тоді кількість електроенергії СЕС, яка фактично використовується для потреб комплексу, становить:

$$E_{\text{сес. вик}} = E_{\text{сес}} \cdot K_{\text{вик}} = 100\,000 \cdot 0,85 = 85\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Після впровадження сонячної електростанції кількість електроенергії, яку необхідно купувати із зовнішньої мережі, становитиме:

$$E_{\text{мер. після}} = E_{\text{витр}} - E_{\text{сес. вик}} = 135\,172,8 - 85\,000 = 50\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Тоді витрати на електроенергію після впровадження сонячної електростанції становитимуть:

$$E_{\text{гр.після}} = 50\,172,8 \cdot 8,00 = 401\,382,4 \text{ грн}$$

Річна економія коштів на оплаті електроенергії визначається за формулою:

$$\Delta E_{\text{гр}} = E_{\text{гр.до}} - E_{\text{гр.після}} = 1\,081\,382,4 - 401\,382,4 = 680\,000 \text{ грн}$$

Таблиця 6.7. – Визначення витрат на електроенергію до та після впровадження СЕС

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Річне споживання електроенергії комплексу	$E_{\text{витр}}$	135 172,8	кВт·год
Тариф на електроенергію	$T_{\text{ф}}$	8,00	грн/кВт·год
Витрати на електроенергію до впровадження СЕС	$E_{\text{гр.до}}$	1 081 382,4	грн
Потужність сонячної електростанції	$P_{\text{сес}}$	100	кВт
Річний виробіток електроенергії СЕС	$E_{\text{сес}}$	100 000	кВт·год
Коефіцієнт використання сонячної генерації	$K_{\text{вик}}$	0,85	—
Електроенергія СЕС для потреб комплексу	$E_{\text{сес.вик}}$	85 000	кВт·год
Споживання електроенергії з мережі після СЕС	$E_{\text{мер.після}}$	50 172,8	кВт·год
Витрати після впровадження СЕС	$E_{\text{гр.після}}$	401 382,4	грн
Річна економія коштів	$\Delta E_{\text{гр}}$	680 000	грн

Таблиця 6.8. – Порівняння витрат на електроенергію до та після впровадження СЕС

Варіант	Споживання з мережі, кВт·год/рік	Витрати, грн/рік
До впровадження сонячної електростанції	135 172,8	1 081 382,4
Після впровадження сонячної електростанції	50 172,8	401 382,4
Економія	85 000	680 000

Після впровадження сонячної електростанції річне споживання електроенергії із зовнішньої мережі зменшується з 135 172,8 кВт·год до 50 172,8 кВт·год. Річні витрати на електроенергію знижуються з 1 081 382,4 грн до 401 382,4 грн. Очікувана річна економія коштів становить 680 000 грн, що підтверджує економічну доцільність використання сонячної електростанції у системі електрифікації зерносушильного комплексу.

6.4. Розрахунок економії електроенергії від використання відновлюваних джерел енергії

Економія електроенергії від використання відновлюваних джерел енергії визначається як частина річного електроспоживання зерносушильного комплексу, яка покривається за рахунок власної генерації сонячної електростанції. У даному проєкті відновлюваним джерелом енергії є мережева сонячна електростанція потужністю 100 кВт, яка працює паралельно із зовнішньою електричною мережею.

У попередніх розрахунках було визначено, що річне споживання електроенергії зерносушильного комплексу становить:

$$\text{Евитр} = 135\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Річний виробіток електроенергії сонячною електростанцією приймаємо:

$$E_{\text{ес}} = 100\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Оскільки не вся вироблена сонячною електростанцією електроенергія може бути безпосередньо використана технологічним обладнанням комплексу, враховуємо коефіцієнт корисного використання сонячної генерації:

$$K_{\text{вик}} = 0,85$$

Фактична кількість електроенергії, яка використовується від сонячної електростанції для потреб зерносушильного комплексу, визначається за формулою:

$$E_{\text{вде}} = E_{\text{ес}} \cdot K_{\text{вик}}$$

де $E_{\text{вде}}$ — кількість електроенергії, фактично використаної від відновлюваного джерела енергії, кВт·год;

$$E_{\text{вде}} = 100\,000 \cdot 0,85 = 85\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Частка покриття річного споживання електроенергії за рахунок ВДЕ визначається за формулою:

$$\text{Чвде} = E_{\text{вде}} / E_{\text{витр}} \cdot 100 \%$$

$$\text{Чвде} = 85\,000 / 135\,172,8 \cdot 100 = 62,88 \%$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Кількість електроенергії, яку після впровадження сонячної електростанції необхідно отримувати із зовнішньої мережі, визначається за формулою:

$$E_{\text{мер}} = E_{\text{вitr}} - E_{\text{вде}}$$

$$E_{\text{мер}} = 135\,172,8 - 85\,000 = 50\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Рівень зниження споживання електроенергії із зовнішньої мережі визначається за формулою:

$$Z_{\text{ел}} = (E_{\text{вitr}} - E_{\text{мер}}) / E_{\text{вitr}} \cdot 100 \%$$

$$Z_{\text{ел}} = (135\,172,8 - 50\,172,8) / 135\,172,8 \cdot 100 = 62,88 \%$$

Таблиця 6.9. – Розрахунок економії електроенергії від використання ВДЕ

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Річне споживання електроенергії комплексу	$E_{\text{вitr}}$	135 172,8	кВт·год
Потужність сонячної електростанції	$P_{\text{сес}}$	100	кВт
Річний виробіток електроенергії СЕС	$E_{\text{сес}}$	100 000	кВт·год
Коефіцієнт використання сонячної генерації	$K_{\text{вик}}$	0,85	—
Фактично використана електроенергія від ВДЕ	$E_{\text{вде}}$	85 000	кВт·год
Споживання електроенергії із зовнішньої мережі	$E_{\text{мер}}$	50 172,8	кВт·год
Частка покриття споживання за рахунок ВДЕ	$\chi_{\text{вде}}$	62,88	%
Рівень зниження споживання електроенергії	$Z_{\text{ел}}$	62,88	%

Таблиця 6.10. – Порівняння споживання електроенергії до та після використання ВДЕ

Варіант	Споживання з мережі, кВт·год/рік	Економія електроенергії, кВт·год/рік	Зниження споживання, %
До впровадження ВДЕ	135 172,8	—	—
Після впровадження ВДЕ	50 172,8	85 000	62,88

За рахунок використання сонячної електростанції потужністю 100 кВт зерносушильний комплекс щорічно може економити 85 000 кВт·год електроенергії. Частка покриття річного електроспоживання за рахунок ВДЕ становить 62,88 %, а споживання електроенергії із зовнішньої мережі зменшується з 135 172,8 кВт·год до 50 172,8 кВт·год.

6.5. Визначення енергоозброєності та енергоемності виробництва

Енергоозброєність праці та енергоемність виробництва є важливими показниками економічної ефективності системи електрифікації зерносушильного комплексу. Дані показники дозволяють оцінити рівень забезпечення працівників енергетичними ресурсами, а також ефективність використання електроенергії під час виробництва продукції.

Відповідно до методичних вказівок, енергоозброєність праці визначається як кількість енергетичних потужностей у розрахунку на одного працівника.

Енергоозброєність праці визначається за формулою:

$$Еозб = Р_e / N_{роб}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

де $E_{озб}$ — енергоозброєність праці, кВт/чол;

P_e — сумарна встановлена потужність електрообладнання, кВт;

$N_{роб}$ — середньорічна чисельність працівників, чол.

Для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» приймаємо:

$$P_e = 164,5 \text{ кВт};$$

$$N_{роб} = 6 \text{ чол.}$$

$$E_{озб} = 164,5 / 6 = 27,42 \text{ кВт/чол}$$

Наступним важливим показником є енергоємність виробництва. Даний показник характеризує витрати енергії на одиницю виробленої продукції та дозволяє оцінити ефективність використання енергетичних ресурсів у процесі виробництва.

Відповідно до методичних вказівок, енергоємність виробництва визначається за формулою:

$$E_{ємн} = E_{витр} / Q$$

де $E_{ємн}$ — енергоємність виробництва, кВт·год/ц;

$E_{витр}$ — річні витрати електроенергії, кВт·год;

Q — обсяг виробленої продукції.

У попередніх розрахунках було визначено, що річне споживання електроенергії зерносушильного комплексу становить:

$$E_{витр} = 135\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Приймаємо річний обсяг сушіння зерна: $Q = 18\,000 \text{ ц}$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

$$Е_{\text{емн}} = 135\,172,8 / 18\,000 = 7,51 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{ц}$$

Таблиця 6.11. – Вихідні дані для визначення енергоозброєності та енергоемності виробництва

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Встановлена потужність електрообладнання	P_e	164,5	кВт
Кількість працівників	$N_{\text{роб}}$	6	чол
Річне споживання електроенергії	$E_{\text{вирп}}$	135 172,8	кВт·год
Річний обсяг сушіння зерна	Q	18 000	ц

Таблиця 6.12. – Результати розрахунку енергоозброєності та енергоемності виробництва

Показник	Формула розрахунку	Значення
Енергоозброєність праці	$164,5 / 6$	27,42 кВт/чол
Енергоемність виробництва	$135\,172,8 / 18\,000$	7,51 кВт·год/ц

У результаті проведених розрахунків встановлено, що енергоозброєність праці у зерносушильному комплексі становить 27,42 кВт/чол, а енергоемність виробництва дорівнює 7,51 кВт·год/ц. Отримані результати свідчать про достатній рівень технічного оснащення підприємства та ефективне використання електроенергії у процесі сушіння зерна.

6.6. Розрахунок річного економічного ефекту від впровадження сонячної електростанції

Річний економічний ефект від впровадження сонячної електростанції визначається як результат зменшення витрат підприємства на оплату електроенергії після часткового заміщення електроенергії із зовнішньої мережі власною сонячною генерацією.

У попередньому підрозділі було визначено, що річне споживання електроенергії зерносушильного комплексу становить:

$$E_{\text{вitr}} = 135\,172,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Після впровадження сонячної електростанції кількість електроенергії, яка буде заміщена власною генерацією, становить:

$$E_{\text{вде}} = 85\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тариф на електроенергію приймаємо:

$$T_{\text{ф}} = 8,00 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

Річна економія коштів на оплаті електроенергії визначається за формулою:

$$E_{\text{ек}} = E_{\text{вде}} \cdot T_{\text{ф}}$$

де $E_{\text{ек}}$ — річна економія коштів на оплаті електроенергії, грн;

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

$E_{вде}$ — кількість електроенергії, заміщеної за рахунок сонячної електростанції, кВт·год;

$T_{ф}$ — тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

$$E_{ек} = 85\,000 \cdot 8,00 = 680\,000 \text{ грн}$$

Для більш повного визначення річного економічного ефекту необхідно врахувати експлуатаційні витрати на обслуговування сонячної електростанції.

$$В_{обс} = 45\,000 \text{ грн/рік}$$

Тоді чистий річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_p = E_{ек} - В_{обс}$$

$$E_p = 680\,000 - 45\,000 = 635\,000 \text{ грн}$$

Для порівняння витрат до та після впровадження сонячної електростанції використовуємо такі значення:

$$В_{до} = 1\,081\,382,4 \text{ грн/рік}$$

$$В_{після} = 401\,382,4 + 45\,000 = 446\,382,4 \text{ грн/рік}$$

Тоді річний економічний ефект також можна визначити як різницю витрат до та після впровадження СЕС:

$$E_p = В_{до} - В_{після}$$

		Лсонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

$$E_p = 1\,081\,382,4 - 446\,382,4 = 635\,000 \text{ грн}$$

Таблиця 6.13. – Вихідні дані для розрахунку річного економічного ефекту

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Річне споживання електроенергії комплексу	$E_{\text{вitr}}$	135 172,8	кВт·год
Електроенергія, заміщена за рахунок СЕС	$E_{\text{вде}}$	85 000	кВт·год
Тариф на електроенергію	$T_{\text{ф}}$	8,00	грн/кВт·год
Річна економія на оплаті електроенергії	$E_{\text{ек}}$	680 000	грн
Річні витрати на обслуговування СЕС	$B_{\text{обс}}$	45 000	грн
Витрати до впровадження СЕС	$B_{\text{до}}$	1 081 382,4	грн
Витрати після впровадження СЕС	$B_{\text{після}}$	446 382,4	грн

Таблиця 6.14. – Розрахунок річного економічного ефекту

Показник	Формула розрахунку	Значення
Річна економія коштів	$85\,000 \cdot 8,00$	680 000 грн
Витрати після впровадження СЕС	$401\,382,4 + 45\,000$	446 382,4 грн
Чистий річний економічний ефект	$680\,000 - 45\,000$	635 000 грн
Перевірочний розрахунок	$1\,081\,382,4 - 446\,382,4$	635 000 грн

Впровадження сонячної електростанції дозволяє щорічно зменшити витрати зерносушильного комплексу на електроенергію на 680 000 грн. З урахуванням річних

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

витрат на технічне обслуговування сонячної електростанції у розмірі 45 000 грн, чистий річний економічний ефект становить 635 000 грн.

6.7. Визначення коефіцієнта економічної ефективності капітальних вкладень

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень є одним із основних показників оцінки доцільності реалізації інвестиційного проєкту. Даний показник характеризує величину річного економічного ефекту, отриманого від реалізації проєкту, у розрахунку на одиницю вкладених коштів. Для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» коефіцієнт економічної ефективності визначається для оцінки доцільності впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання підприємства.

Відповідно до методичних вказівок коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$E_{к.в.} = \Delta P / K$$

де $E_{к.в.}$ — коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

ΔP — річний економічний ефект від реалізації проєкту, грн;

K — загальна сума капітальних вкладень, грн.

У попередніх підрозділах було визначено:

$$\Delta P = 635\,000 \text{ грн}$$

$$K = 4\,503\,000 \text{ грн}$$

Підставляємо отримані значення у формулу:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

$$E_{к.в.} = 635\,000 / 4\,503\,000 = 0,141$$

Отримане значення показує, що на кожен вкладену гривню капітальних витрат підприємство щорічно отримуватиме приблизно 0,141 грн економічного ефекту.

Для оцінки економічної доцільності проєкту отримане значення порівнюють із нормативним коефіцієнтом економічної ефективності.

$$E_n = 0,12$$

$$E_{к.в.} = 0,141 > E_n = 0,12$$

Оскільки фактичний коефіцієнт економічної ефективності є більшим за нормативний, впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання зерносушильного комплексу є економічно доцільним.

Таблиця 6.15. – Вихідні дані для визначення коефіцієнта економічної ефективності

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Річний економічний ефект	ΔР	635 000	грн
Загальна сума капітальних вкладень	К	4 503 000	грн
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності	Ен	0,12	—

Таблиця 6.16. – Результати визначення коефіцієнта економічної ефективності

Показник	Формула розрахунку	Значення
Коефіцієнт економічної ефективності	$635\,000 / 4\,503\,000$	0,141
Нормативний коефіцієнт	—	0,12

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

економічної ефективності		
Порівняння фактичного та нормативного значень	$0,141 > 0,12$	Проект ефективний

У результаті проведених розрахунків встановлено, що коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень становить 0,141, що перевищує нормативне значення 0,12. Це свідчить про економічну доцільність впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання зерносушильного комплексу.

6.8. Розрахунок строку окупності проекту

Строк окупності проекту є одним із найважливіших показників економічної ефективності інвестиційного рішення. Даний показник характеризує період часу, протягом якого капітальні вкладення у проект повністю компенсуються за рахунок отриманого економічного ефекту.

Для зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» строк окупності визначається для оцінки доцільності впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання підприємства.

Відповідно до методичних вказівок строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T = K / \Delta P$$

де T — строк окупності проекту, років;

K — загальна сума капітальних вкладень, грн;

ΔP — річний економічний ефект від реалізації проекту, грн.

У попередніх підрозділах було визначено:

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

$$K = 4\,503\,000 \text{ грн}$$

$$\Delta P = 635\,000 \text{ грн}$$

Підставляємо отримані значення у формулу:

$$T = 4\,503\,000 / 635\,000 = 7,09 \text{ років}$$

Отримане значення показує, що вкладені у проєкт кошти повністю компенсуються приблизно через сім років експлуатації сонячної електростанції.

Для оцінки економічної доцільності проєкту отриманий строк окупності порівнюється з нормативними значеннями для енергетичних об'єктів.

$$T_n = 8 \text{ років}$$

$$T = 7,09 \text{ років} < T_n = 8 \text{ років}$$

Оскільки фактичний строк окупності є меншим за нормативний, впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання зерносушильного комплексу є економічно доцільним.

Для більш детального аналізу визначимо середньомісячний економічний ефект від впровадження сонячної електростанції.

$$E_{\text{міс}} = \Delta P / 12$$

$$E_{\text{міс}} = 635\,000 / 12 = 52\,916,67 \text{ грн/міс}$$

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

Таблиця 6.17. – Вихідні дані для розрахунку строку окупності проєкту

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Загальна сума капітальних вкладень	К	4 503 000	грн
Річний економічний ефект	ΔР	635 000	грн
Нормативний строк окупності	Тн	8	років

Таблиця 6.18. – Результати розрахунку строку окупності проєкту

Показник	Формула розрахунку	Значення
Строк окупності проєкту	$4\,503\,000 / 635\,000$	7,09 років
Середньомісячний економічний ефект	$635\,000 / 12$	52 916,67 грн/міс
Порівняння фактичного та нормативного строку окупності	$7,09 < 8$	Проект ефективний

У результаті проведених розрахунків встановлено, що строк окупності проєкту впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання зерносушильного комплексу становить 7,09 років, що є меншим за нормативний строк окупності для енергетичних проєктів. Це підтверджує економічну доцільність використання сонячної електростанції та ефективність запропонованого проєктного рішення.

6.9. Аналіз економічної доцільності впровадження системи електрифікації з використанням ВДЕ

Аналіз економічної доцільності впровадження системи електрифікації зерносушильного комплексу з використанням відновлюваних джерел енергії

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

виконується на основі результатів попередніх розрахунків. У даному проєкті як відновлюване джерело енергії розглянуто сонячну електростанцію потужністю 100 кВт, яка працює паралельно із зовнішньою електричною мережею та частково покриває потреби зерносушильного комплексу в електроенергії.

Зерносушильний комплекс ФГ «Агро-Перемога» є енергоємним виробничим об'єктом, оскільки його робота пов'язана з використанням електроприводів вентиляторів, норій, стрічкових і шнекових транспортерів, зерноочисного обладнання, аспіраційних систем, вентиляції складу, систем освітлення та автоматизованого керування.

Загальна встановлена потужність електрообладнання комплексу становить 164,5 кВт. За результатами розрахунку річне споживання електроенергії становить 135 172,8 кВт·год, що свідчить про суттєвий рівень енергоспоживання та необхідність пошуку шляхів його зниження.

Впровадження сонячної електростанції дозволяє частково замінити електроенергію, яка надходить із зовнішньої мережі. У розрахунках прийнято, що річний виробіток електроенергії СЕС становить 100 000 кВт·год, а коефіцієнт корисного використання сонячної генерації дорівнює 0,85. Це означає, що фактично для потреб зерносушильного комплексу може бути використано 85 000 кВт·год електроенергії на рік.

До впровадження сонячної електростанції річні витрати підприємства на електроенергію становили 1 081 382,4 грн. Після впровадження СЕС споживання електроенергії із зовнішньої мережі зменшується до 50 172,8 кВт·год, а витрати на купівлю електроенергії становлять 401 382,4 грн.

З урахуванням витрат на технічне обслуговування сонячної електростанції у розмірі 45 000 грн на рік, загальні витрати після впровадження проєкту становлять 446 382,4 грн. Отже, чистий річний економічний ефект дорівнює 635 000 грн. Загальна сума капітальних вкладень у систему електрифікації зерносушильного

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

комплексу становить 4 503 000 грн. До цієї суми входять витрати на модернізацію системи електропостачання, придбання та встановлення сонячної електростанції, монтажні роботи, пусканалагодження, проєктні роботи та інші супутні витрати.

Для оцінки економічної ефективності було визначено коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень. Його значення становить 0,141. Це означає, що на кожную вкладену гривню підприємство щорічно отримує приблизно 0,141 грн економічного ефекту. Строк окупності проєкту становить 7,09 років. Це означає, що вкладені кошти будуть повернуті за рахунок отриманої економії менш ніж за 8 років. Для енергетичних проєктів із використанням відновлюваних джерел енергії такий строк окупності є прийнятним.

Окремо слід відзначити не лише прямий фінансовий, а й виробничий ефект від впровадження системи електрифікації з використанням ВДЕ. Зменшення залежності від зовнішньої електромережі підвищує енергетичну автономність зерносушильного комплексу. Також впровадження сонячної електростанції сприяє зменшенню навантаження на зовнішню електричну мережу. У денний період, коли сонячна генерація є найбільшою, частина технологічного обладнання може живитися безпосередньо від СЕС. Важливою перевагою проєкту є його екологічна складова. Використання сонячної енергії дозволяє зменшити споживання електроенергії, виробленої традиційними джерелами, що сприяє скороченню непрямих викидів забруднюючих речовин та парникових газів.

Таблиця 6.19. – Підсумкові показники економічної доцільності впровадження ВДЕ

Показник	Значення	Одиниця виміру
Встановлена потужність електрообладнання комплексу	164,5	кВт
Потужність сонячної електростанції	100	кВт
Річне споживання електроенергії комплексу	135 172,8	кВт·год
Річний виробіток електроенергії СЕС	100 000	кВт·год
Фактично використана	85 000	кВт·год

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

електроенергія від ВДЕ		
Частка покриття електроспоживання за рахунок ВДЕ	62,88	%
Витрати на електроенергію до впровадження СЕС	1 081 382,4	грн
Витрати після впровадження СЕС	446 382,4	грн
Річний економічний ефект	635 000	грн
Загальна сума капітальних вкладень	4 503 000	грн
Коефіцієнт економічної ефективності	0,141	—
Строк окупності проєкту	7,09	років

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що впровадження системи електрифікації зерносушильного комплексу з використанням сонячної електростанції є економічно обґрунтованим. Проєкт забезпечує суттєве зменшення витрат на електроенергію, підвищує енергетичну автономність підприємства, знижує залежність від зовнішньої мережі та забезпечує прийнятний строк окупності капітальних вкладень.

Висновки до розділу 6

У результаті виконання економічного обґрунтування системи електрифікації зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» було проведено комплексний аналіз техніко-економічних показників впровадження сонячної електростанції у систему електропостачання підприємства. У процесі розрахунків визначено основні економічні параметри проєкту, що дозволило оцінити доцільність використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення потреб зерносушильного комплексу.

У ході виконання розділу було визначено загальну суму капітальних вкладень у систему електрифікації, яка становить 4 503 000 грн. До складу капітальних витрат включено витрати на придбання та монтаж обладнання сонячної електростанції, модернізацію системи електропостачання, монтаж-налагоджувальні роботи, кабельну продукцію, захисну апаратуру та супутні витрати.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

На основі встановленої потужності електрообладнання комплексу було визначено річне споживання електроенергії, яке становить 135 172,8 кВт·год. Встановлено, що після впровадження сонячної електростанції потужністю 100 кВт частка покриття річного електроспоживання за рахунок відновлюваних джерел енергії становить 62,88 %, а кількість електроенергії, заміщеної власною генерацією, досягає 85 000 кВт·год на рік. У результаті проведених розрахунків встановлено, що витрати на електроенергію до впровадження сонячної електростанції становили 1 081 382,4 грн на рік, тоді як після впровадження СЕС та з урахуванням витрат на її технічне обслуговування вони зменшуються до 446 382,4 грн на рік. Чистий річний економічний ефект від реалізації проєкту становить 635 000 грн.

Також у розділі було визначено показники енергоозброєності та енергоємності виробництва. Енергоозброєність праці становить 27,42 кВт/чол, що свідчить про достатньо високий рівень технічного оснащення зерносушильного комплексу. Енергоємність виробництва дорівнює 7,51 кВт·год/ц, що характеризує ефективне використання електроенергії під час виконання технологічного процесу сушіння зерна. Для оцінки ефективності інвестиційного рішення було визначено коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, значення якого становить 0,141. Отримане значення перевищує нормативний коефіцієнт економічної ефективності, що підтверджує економічну доцільність реалізації проєкту.

Строк окупності проєкту становить 7,09 років, що є меншим за нормативний строк окупності для енергетичних об'єктів із використанням відновлюваних джерел енергії. Це свідчить про те, що впровадження сонячної електростанції дозволяє забезпечити повернення вкладених коштів у прийнятний термін та надалі отримувати стабільний економічний ефект у вигляді зменшення витрат на електроенергію.

Проведений аналіз підтвердив, що використання сонячної електростанції у системі електрифікації зерносушильного комплексу є економічно обґрунтованим та перспективним напрямом підвищення енергоефективності аграрного виробництва.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

Реалізація проєкту дозволяє не лише знизити витрати на електроенергію, а й підвищити енергетичну автономність підприємства, зменшити залежність від зовнішньої електромережі та покращити екологічні показники виробництва за рахунок використання відновлюваних джерел енергії.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було розроблено систему електрифікації зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога» Миргородського району Полтавської області із використанням відновлюваних джерел енергії. Проведене дослідження підтвердило актуальність впровадження сучасних енергоефективних технологій у агропромисловому секторі України, особливо в умовах постійного зростання вартості електроенергії, нестабільності енергосистеми та необхідності підвищення енергетичної автономності сільськогосподарських підприємств.

У першому розділі роботи було проаналізовано особливості функціонування зерносушильного комплексу, досліджено технологічний процес сушіння зерна та визначено основні електроспоживачі підприємства. Встановлено, що найбільшу частку електричного навантаження формують вентилятори зерносушарки, транспортні механізми, зерноочисне обладнання та системи вентиляції. Визначено, що робота зерносушильного комплексу має сезонний характер із максимальними навантаженнями у період активного збирання врожаю. Також було проаналізовано категорії надійності електропостачання та обґрунтовано необхідність резервування живлення найбільш відповідальних електроспоживачів.

У другому розділі виконано розрахунок електричних навантажень зерносушильного комплексу. Визначено, що загальна встановлена потужність електроспоживачів становить 164,5 кВт, а розрахункова активна потужність дорівнює 135,63 кВт. Максимальна повна потужність із урахуванням коефіцієнта запасу склала 200,31 кВА. На основі отриманих результатів було обґрунтовано вибір комплектної трансформаторної підстанції КТП-250/10/0,4 кВ із силовим трансформатором потужністю 250 кВА та ввідного автоматичного вимикача номіналом 315 А. Встановлено, що використання мережі 10 кВ для зовнішнього електропостачання є технічно та економічно доцільним рішенням для даного підприємства.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

У роботі було виконано вибір схеми електропостачання зерносушильного комплексу. Для внутрішнього електропостачання прийнято радіальну схему живлення, яка забезпечує високу надійність роботи електрообладнання, селективність захисту та можливість локалізації аварійних ділянок без повної зупинки технологічного процесу. Визначено параметри кабельних ліній, апаратів захисту та систем автоматичного резервування живлення.

Особливу увагу в роботі приділено використанню відновлюваних джерел енергії. У третьому розділі обґрунтовано доцільність впровадження сонячної електростанції для часткового покриття потреб зерносушильного комплексу в електричній енергії. Враховуючи кліматичні умови Полтавської області та режим роботи підприємства, було запропоновано встановлення мережевої сонячної електростанції потужністю 100 кВт. Встановлено, що використання сонячної генерації дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії із зовнішньої мережі у денний період, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити рівень енергетичної автономності підприємства.

У ході виконання роботи було здійснено вибір основного обладнання сонячної електростанції, зокрема фотоелектричних модулів, мережевих інверторів, систем захисту та автоматичного керування. Також розглянуто можливість використання резервного джерела живлення у вигляді дизельного генератора або акумуляторної системи для забезпечення безперебійної роботи відповідальних електроспоживачів.

У четвертому розділі розроблено графічну частину системи електропостачання зерносушильного комплексу. Було виконано принципову електричну схему, функціональну схему, схему електричного розташування та схему електричних з'єднань. Розроблені схеми відображають структуру системи електропостачання, порядок підключення електроспоживачів, роботу систем автоматизації, інтеграцію сонячної електростанції та резервного живлення у загальну енергетичну систему підприємства.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та електробезпеки на зерносушильному комплексі. Було проаналізовано основні небезпечні та шкідливі фактори, що можуть виникати під час експлуатації електрообладнання, а також розроблено заходи щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом. Передбачено використання системи захисного заземлення, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення, релейного захисту та системи вирівнювання потенціалів. Також було розглянуто питання пожежної безпеки та захисту обладнання від аварійних режимів роботи.

У результаті проведених техніко-економічних розрахунків встановлено, що впровадження запропонованої системи електрифікації із використанням сонячної електростанції є економічно доцільним та дозволяє суттєво знизити витрати підприємства на електроенергію. Використання відновлюваних джерел енергії забезпечує зменшення навантаження на зовнішню електромережу, підвищення енергетичної незалежності господарства та покращення екологічних показників виробництва.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козирський В. В., Савченко В. М. Електропостачання сільськогосподарських підприємств : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2021. 420 с. URL: <https://nubip.edu.ua> (дата звернення: 16.05.2026).
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків : Форт, 2022. 736 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48787 (дата звернення: 16.05.2026).
3. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіон України, 2010. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_23_2010/1-1-0-259 (дата звернення: 16.05.2026).
4. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62431 (дата звернення: 16.05.2026).
5. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. 540 с. URL: <https://lpnu.ua> (дата звернення: 16.05.2026).
6. Бойко В. С., Рудаков Д. В. Системи електропостачання промислових підприємств : навчальний посібник. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. 318 с. URL: <https://nmu.org.ua> (дата звернення: 16.05.2026).
7. Коваленко О. М., Ткаченко В. І. Використання відновлюваних джерел енергії в аграрному секторі України. Вісник аграрної науки. 2022. № 4. С. 58–66. URL: <https://agrovisnyk.com> (дата звернення: 16.05.2026).
8. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2024 Global Status Report. Paris : REN21, 2024. URL: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report> (дата звернення: 16.05.2026).

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

9. International Energy Agency. Solar PV Global Supply Chains. Paris : IEA, 2023.
URL: <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains> (дата звернення: 16.05.2026).
10. Messenger R., Ventre J. Photovoltaic Systems Engineering. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2022. URL: <https://www.routledge.com/Photovoltaic-Systems-Engineering/Messenger-Ventre/p/book/9780367741919> (дата звернення: 16.05.2026).
11. Kalogirou S. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. 3rd ed. Academic Press, 2023. URL: <https://shop.elsevier.com/books/solar-energy-engineering/kalogirou/978-0-12-824498-7> (дата звернення: 16.05.2026).
12. Masters G. Renewable and Efficient Electric Power Systems. 3rd ed. Wiley, 2021. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Renewable+and+Efficient+Electric+Power+Systems-p-9781119580053> (дата звернення: 16.05.2026).
13. IEC 60364-7-712:2017. Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/33640> (дата звернення: 16.05.2026).
14. Кодекс систем розподілу. НКРЕКП, 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18#Text> (дата звернення: 16.05.2026).
15. ДСТУ ІЕС 60038:2015. Стандартні напруги ІЕС. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63754 (дата звернення: 16.05.2026).
16. Шидловський А. К., Перхач В. С. Проектування систем електропостачання : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. URL: <https://ela.kpi.ua> (дата звернення: 16.05.2026).

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

17. Grain Drying Handbook. University of Minnesota Extension, 2022. URL: <https://extension.umn.edu> (дата звернення: 16.05.2026).
18. Brooker D., Bakker-Arkema F., Hall C. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Springer, 2021. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-3594-4> (дата звернення: 16.05.2026).
19. FAO. Energy-Smart Food for People and Climate. Rome : FAO, 2022. URL: <https://www.fao.org> (дата звернення: 16.05.2026).
20. ДСТУ EN ІЕС 61439-1:2022. Низьковольтні комплектні пристрої. Частина 1. Загальні вимоги. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=102978 (дата звернення: 16.05.2026).

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1 – Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом зерносушильного комплексу

Категорія приміщення	Характеристика середовища	Конкретні об'єкти зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»
Без підвищеної небезпеки	Сухі, чисті приміщення, нормальна температура повітря, відсутність струмопровідного пилу та вологи.	Приміщення операторської (диспетчерський пункт керування технологічним процесом), приміщення інверторної станції.
З підвищеною небезпекою	Наявність однієї з умов: висока вологість (понад 75%), неструмопровідний пил (зерновий), висока температура (понад +35 °C), струмопровідна підлога або можливість одночасного контакту з металоконструкціями.	Зерноочисне відділення (дільниця очищення та аспірації), закриті приміщення сушильного відділення, приміщення головного розподільчого щита (ГРЩ-0,4 кВ).
Особливо небезпечні	Постійна вологість (близька до 100%), агресивне хімічне середовище, або одночасна наявність двох і більше умов підвищеної небезпеки.	Підземні транспортні галереї (норійні прямки завальної ями). Відкриті технологічні дільниці під навісами (зовнішні норії, бункери відвантаження), які за ПУЕ прирівнюються до особливо небезпечних.

Таблиця Д.2 – Класифікація приміщень та зон за кліматичними умовами експлуатації електрообладнання

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116

Тип приміщення (зони)	Умови експлуатації	Конкретні об'єкти зерносушильного комплексу ФГ «Агро-Перемога»
Сухі	Відносна вологість не перевищує 60–70%, відсутність технологічного пилу та конденсату.	Приміщення операторської (пункт керування), внутрішня зона інверторної станції сонячної електростанції.
Вологі	Відносна вологість понад 75%, можливе періодичне утворення конденсату на конструкціях.	Закриті склади підлогового тимчасового зберігання готової зернової продукції.
Особливо вологі (сирі)	Вологість близька до 100%, постійна наявність конденсату, водяної пари або крапель.	Заглиблені норійні приямки завальної ями (підземні транспортні канали, де можливе просочування ґрунтових вод).
З хімічно активним середовищем	Наявність агресивних парів, газів або відкладень, що можуть руйнувати ізоляцію електрообладнання.	Безпосередньо в технологічній лінії сушіння відсутні. (За наявності: зона зберігання дезінфікуючих засобів/протруювання зерна).
З високою температурою	Температура повітря в робочій зоні тривалий час перевищує +40 °С, потреба в термостійкому виконанні.	Робоча зона конвективної зерносушарки (поблизу теплогенератора, камер нагріву та вивантажувальних шнеків).
З низькою температурою	Температура опускається нижче 0 °С в зимовий період, потреба в	Неопалювані ділянки приймання зерна, металеві силоси тимчасового накопичення

		Леонов М. А.		10.06.26
		Сабо А. Г.		12.06.26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ

Арк.

117

	морозостійкому обладнанні.	(у зимовий період експлуатації).
Зовнішні установки	Прямий вплив атмосферних явищ: дощ, сніг, вітер, сонячна радіація. Потреба у високому ступені захисту (IP54/IP65).	Фотоелектричні модулі (ФЕМ) сонячної станції, зовнішні ковшові норії, відкрита завальна яма, бункери накопичення.

		Леонов М. А.		10.06.26	21ЕЕД.10198383.06.30.000000.ПЗ	Арк.
		Сабо А. Г.		12.06.26		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118