

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

«На правах рукопису»
УДК: 631.531.02

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
електроенергетики і
електротехнології доц. _____
"11" лютого 2026 року

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Удосконалення системи передпосівної обробки насіння»**

21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ

Виконав: студент М2 курсу, 22 МБ ЕЕ групи
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма: Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(підпис) О. Г. Довженко

Керівник, к.т.н, доцент — _____
(підпис)

Консультант, к.т.н.,
доцент (підпис)

Консультант, к.е.н.,
доцент (підпис)

Нормоконтролер,
к.т.н.,
доцент _____

Рецензент,
(підпис)

Запоріжжя, 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
ФАКУЛЬТЕТ: ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра: електроенергетики і електротехнології

Ступінь вищої освіти: Магістр

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

електроенергетики і

електротехнології доц.

_____Постол

"29" вересня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Довженко Олексію Григоровичу

1. Тема роботи: Удосконалення системи передпосівної обробки насіння

керівник роботи: к.т.н., доцент.

затвержені наказом ректора університету від 29 вересня 2025 року № 521-С.

2. Строк подання студентом роботи: 12 лютого 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: статистичні дані, технічне завдання на магістерську роботу, 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 стану питання

2 Вибір технологічного та електросилового обладнання

3 Експериментальні дослідження передпосівної обробки насіння електричним полем

4 Розробка системи керування технологічним процесом

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

6 Техніко-економічні розрахунки

Висновки

Список використаних джерел

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

1. Система передпосівної обробки насіння. Класифікація методів обробки. Схема структурна.
2. Система передпосівної обробки насіння. Схема скомбінована функційна
3. Система передпосівної обробки насіння. Криві проростання насіння за різних режимів обробки. Розрахунки
4. Система передпосівної обробки насіння. ANOVA. Середнє проростання насіння. Розрахунки
5. Система передпосівної обробки насіння. Voxplot. Розкид і повторюваність проростання насіння. Розрахунки
6. Система передпосівної обробки насіння. Графіки розсіювання для кореляційного аналізу. Розрахунки
7. Система передпосівної обробки насіння. Схема електрична принципова.
8. Система передпосівної обробки насіння. Показники техніко-економічні. Таблиця.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	П.І.Б, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
5		31.0126	31.0126
6		31.01.26	31.01.26

7. Дата видачі завдання: 27 грудня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Аналіз стану питання	03.01.2026 р.	
2 Вибір технологічного та електросилового обладнання	16.01.2026 р.	
3 Експериментальні дослідження передпосівної обробки насіння електричним полем	22.01.2026 р.	
4 Розробка системи керування технологічним процесом	26.01. 2026 р.	
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	02.02. 2026 р.	
6 Техніко-економічні розрахунки	03.02. 2026 р.	
7. Підпис керівником роботи.	10.02. 2026 р.	
8. Підпис завідувачем кафедри.	11.02. 2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

О.Г. Довженко

Керівник роботи, к.т.н., доцент _____

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк	анк	№	Примітка	
1	A4	21БЕД.11960625.02.26.000000.ПЗ	Удосконалення системи					
2			передпосівної обробки					
3			насіння					
4			Пояснювальна записка.					
5			Кваліфікаційна робота	62				
6	A1	21БЕД.11960625.02.26.110000.C1	Система передпосівної					
7			обробки насіння.					
8			Класифікація методів					
9			обробки.Схема структурна.	1	-			
10	A2	21БЕД.11960625.02.26.210000.C2	Система передпосівної					
11			обробки насіння.					
12			технологій. Схема					
13			скомбінована функційна.	1	-			
14	A1	21БЕД.11960625.02.26.310000.PP	Система передпосівної					
15			обробки насіння. Криві					
16			проростання насіння за					
17			різних режимів обробки.					
18			Розрахунки					
19	A2	21БЕД.11960625.02.26.320000.PP	Система передпосівної					
20			обробки насіння. ANOVA.					
21			Середнє проростання					
22			насіння. Розрахунки	1	-			
23	A2	21БЕД.11960625.02.26.330000.PP	Система передпосівної					
24			обробки насіння. Voxplot.					
25			Розкид і повторюваність					
			21БЕД.11960625.02.26.000000.ТП					
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат				
Розроб.		Довженко		10.02	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перев.				10.02		1	2	
Н.контр.				10.02	ТДАТУ, 2026			
Затв.				11.02				
Відомість кваліфікаційної роботи								

№ рядк	Формат	Позначення	Найменування	Кіль	№ пр	Примітка
1			проростання насіння.			
2			Розрахунки	1	-	
3	A1	21ЕЕД.11960625.02.26.330000.РР	Система передпосівної			
4			обробки насіння. Графіки			
5			розсіювання для			
6			кореляційного аналізу.			
7			Розрахунки	1	-	
8	A2	21ЕЕД.11960625.02.26.410000.ЭЗ	Система передпосівної			
9			обробки насіння.Схема			
10			електрична принципова.			
11	A1	21ЕЕД.11960625.02.26.610000.ТБ	Показники техніко-			
12			економічні. Таблиця	1	-	
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
						Арк.
						2
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

21ЕЕД.11960625.02.26.000000.ТП

РЕФЕРАТ

Довженко О. Г. Удосконалення системи передпосівної обробки насіння.
Запоріжжя : ТДАТУ. 2025. 62 с.

Обсяг кваліфікаційної роботи – 62 аркушів, кількість рисунків - 9,
кількість таблиць - 9

В роботі проведено огляд стану питання передпосівної обробки насіння та вибір напрямку досліджень. Обґрунтовано застосування методу електричних технологій з використанням електричного поля передпосівної обробки насіння.

З урахуванням проведеного аналізу стану питання, розроблена технологічна схема передпосівної обробки насіння, вибрано та розраховано необхідне технологічне та електросилове обладнання.

Визначенні параметри передпосівної обробки насіння. Розроблено принципову електричну схему роботи системи передпосівної обробки насіння.

Вирішені питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Доцільність прийнятих рішень підтверджено техніко-економічними розрахунками.

Ключові слова: ОБРОБКА НАСІННЯ, СИСТЕМА, ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ, ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Dovzhenko. O. Improvement of the pre-sowing seed treatment system .
Zaporizhzhia: TDATU. 2026. 62 p.

Volume of the qualification work – 62 pages, number of figures – 9, number of tables – 9. The work presents a review of the current state of the issue of pre-sowing seed treatment and the choice of research direction. The application of electrical technologies using an electric field in pre-sowing seed treatment is substantiated.

Based on the conducted analysis, a technological scheme of pre-sowing seed treatment has been developed, and the necessary technological and electrical equipment has been selected and calculated. The parameters of pre-sowing seed treatment have been determined. A principal electrical circuit of the system for pre-sowing seed treatment has been designed.

Issues of occupational safety and emergency protection have been addressed. The feasibility of the adopted solutions is confirmed by technical and economic calculations.

Keywords: SEED TREATMENT, SYSTEM, ELECTRIC FIELD, ELECTRICAL TECHNOLOGIES

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	12
1.1 Огляд стану питання і вибір напрямку досліджень	12
1.2 Основні електротехнології для обробки насіння.....	14
1.3 Вибір напрямку досліджень.....	15
2 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОСИЛОВОГО	
ОБЛАДНАННЯ	19
2.1 Обґрунтування технологічної схеми передпосівної обробки насіння в електричному полі.....	19
2.2 Розрахунок технологічного обладнання.....	20
2.3 Розрахунок електросилового обладнання	21
2.3.1 Розрахунок підвищувального трансформатора.....	21
2.3.2 Вибір електродвигунів приводу транспортера та дозатора.....	27
2.4 Висновки за розділом	27
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЛЕМ	28
3.1 Вплив електрообробки постійним високовольтним полем на проростання насіння	28
3.2 Методика проведення експерименту	29
3.3 Статистичний аналіз та оцінка результатів.....	30
Висновки по розділу	34
4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	35
4.1 Вимоги до системи керування технологічним процесом	36
4.2 Вибір параметрів контролю і керування	37

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Вибір технічних засобів керування.....	39
4.4 Розробка принципової електричної схеми передпосівної обробки насіння в електричному полі	39
4.5 Висновки до розділу	42
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	43
5.1 Аналіз стану організації охорони праці на підприємстві	43
5.2 Основні етапи впровадження СУОП	44
5.3 Заходи щодо забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях на підприємстві	46
Висновки по розділу	47
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	48
Висновки по розділу	56
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Інтенсивний розвиток агропромислового комплексу на сьогоднішній день є невід'ємною і важливою складовою стратегічного розвитку держави. Одне з найважливіших місць в комплексі заходів з підвищення врожайності культур, що вирощуються, займає передпосівна робота з насінням, оскільки воно є носієм біологічних і господарських якостей рослин і в значній мірі визначає якість і кількість зібраного в результаті врожаю.

Передпосівна обробка насіння є одним із ключових етапів у технології вирощування сільськогосподарських культур. Вона спрямована на підвищення схожості, енергії проростання, стійкості до хвороб та несприятливих умов середовища. Традиційно застосовуються хімічні, термічні, біологічні та механічні методи обробки, проте останнім часом зростає інтерес до фізичних методів, зокрема електротехнологічної обробки.

В даний час електротехнології знаходять все більш широке застосування в сільському господарстві, будучи дієвим засобом підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції. Дедалі більшого поширення набуває вплив на насіння фізичними факторами з метою його стимуляції – прискорення зростання, збільшення врожайності і підвищення якості одержуваної продукції. Особливе місце в ряду досліджуваних фізичних впливів займають електрофізичні фактори.

Тому, пошук ефективного і перспективного електротехнологічного методу передпосівної обробки насіння, за допомогою якого можна підвищити врожайність сільськогосподарських культур є актуальним завданням.

Мета роботи: підвищення врожайності шляхом передпосівної обробки посівного матеріалу електричним полем.

Завдання дослідження:

- провести огляд методів підготовки насіння до посіву;
- розробити технологічну схему передпосівної обробки насіння в електричному полі та розрахувати (вибрати) технологічне та електросилове обладнання;

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обґрунтувати методику експериментальних досліджень передпосівної обробки насіння електричним полем;
- розробити принципову електричну схему керування роботою технологічного обладнання для передпосівної обробки насіння з урахуванням вимог до автоматизації технологічного процесу;
- вирішити питання охорони праці;
- провести техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Об'єктом дослідження є технологічний процес обробки посівної насіння

Предметом дослідження є зв'язки технологічних параметрів експериментальної установки з ефективністю виконання передпосівної обробки насіння.

Методи дослідження: експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах відповідно до прийнятих методик та галузевих стандартів з використанням методів планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Новизна роботи: встановлено залежності між ефективністю обробки насіння електричним полем і технологічними параметрами експериментальної установки.

Теоретичне і практичне значення роботи.

Теоретична значимість. Одержані експериментальні результати мають значення для розвитку наукових знань при дослідженні впливу електричного на посівний матеріал сільськогосподарських культур.

Практична значимість. Запропоновано і обґрунтовано метод обробки посівного матеріалу, який підвищує врожайність до 19%. Обґрунтовано раціональні технологічні режими експериментальної установки при обробці електричним полем.

Апробація результатів науково-дослідної роботи. Основні положення роботи обговорювалися на VII Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (03-28 листопада 2025 р.) Запоріжжя: ТДАТУ).

За результатами досліджень опубліковані тези доповіді [5].

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Огляд стану питання і вибір напряму досліджень

Передпосівна обробка насіння є одним із ключових етапів у технології вирощування сільськогосподарських культур. Вона спрямована на підвищення схожості, енергії проростання, стійкості до хвороб та несприятливих умов середовища.

Продуктивність насіння залежить як від зовнішніх чинників (середовища проживання і розвитку), так і від біологічних якостей насіння. Різноманіття цих факторів дуже велике і, у різні періоди розвитку рослин, вони роблять різний вплив на зростання і дозрівання. Врахувати їх всі практично неможливо, але сучасна агрокультура має у своєму арсеналі велику кількість методів, препаратів, технологій, технічних засобів тощо, для цілеспрямованого впливу на насіння і середовище його розвитку, з метою отримання стабільного врожаю. Сутність всіх технологічних прийомів полягає у тому, щоб нейтралізувати вплив одних факторів (негативних) і посилити вплив інших факторів (позитивних) [1]. На рисунку 1.1 та аркуші графічної частини наведено класифікацію методів підготовки насіння до сівби. Умовно ці методи можна розділити на біологічні, хімічні і фізичні.

Біологічні методи передпосівної стимуляції насіння полягають в замочуванні насіння в різних рослинних екстрактах багатих на вітаміни групи В, а також окисно-відновними і гідролітичними ферментами. Недоліками біологічних методів є: низька технологічність; складність процесу отримання стимулюючих речовин; неоднакова реакція насіння зважаючи на їх різноякісності; необхідність проведення рекогносцирувальних дослідів із визначення оптимальних доз при обробці великих партій насіння.

Хімічні методи передпосівної стимуляції насіння полягають в обробці насіння різними хімічними препаратами - регуляторами росту, інгібіторами, мікроелементами та їх солями.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліками хімічних методів передпосівної стимуляції є те, що хімічні препарати містять солі важких металів, які є токсичними, не розкладаються в природі і згубно діють на тварин і людей.

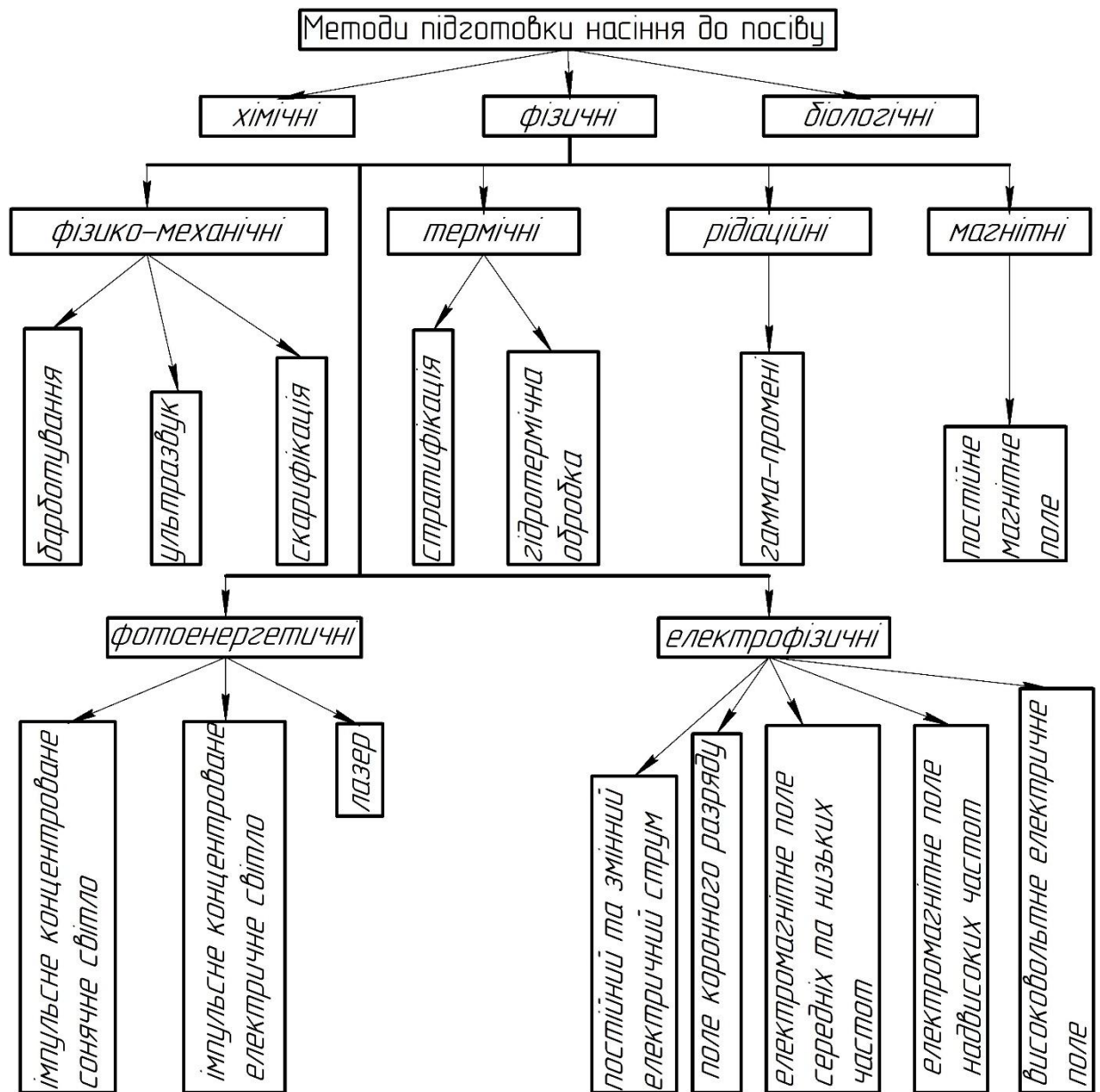


Рисунок 1.1 – Методи підготовки насіння до посіву

Фізичні методи передпосівної обробки насіння класифікуються на: фізико-механічні; термічні; радіаційні; магнітні; фотоенергетичні; електрофізичні. Фізико - механічні методи передпосівної стимуляції насіння включають: барботування (обробка насіння у воді киснем або повітрям при температурі 20 ± 2 °C); ультразвукову обробку насіння у воді; скарифікацію (порушення цілісності оболонки насіння).

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До недоліків фізико-механічних методів передпосівної стимуляції насіння слід віднести: тривалість процесу обробки; необхідність подальшої сушки насіння; низька технологічність і трудомісткість процесу.

Термічні методи передпосівної стимуляції насіння включають: стратифікацію (витримування насіння при певній температурі протягом тривалого часу); обробку насіння паром; вплив на насіння змінними температурами. Недоліками термічних методів є: тривалість обробки від декількох тижнів до декількох місяців; необхідність строго підтримувати задану температуру.

Радіаційні методи передпосівної стимуляції насіння полягають в обробці насіння іонізуючим випромінюванням.

Фотоенергетичні методи (ФЕМ) передпосівної стимуляції насіння включають: обробку насіння концентрованим світлом; обробку насіння імпульсним концентрованим сонячним світлом; обробку насіння імпульсним високочастотним електричним світлом; лазерну обробку насіння. Недоліком ФЕМ передпосівної стимуляції насіння є низька продуктивність.

Вельми перспективним є спосіб передпосівної стимуляції насіння в постійному магнітному полі, але він не знайшов ще досить широкого застосування.

В останні роки для інтенсифікації рослинництва в практику сільського господарства стали активно впроваджувати електротехнології з метою підвищення врожайності та поліпшення якості продукції, що одержується [2,3,4,5].

1.2 Основні електротехнології для обробки насіння

1. Обробка високовольтним електричним полем

- використовується постійний струм напругою 10–30 кВ;
- стимулює біохімічні процеси в насінні: активацію ферментів, покращення водопоглинання;
- підвищує енергію проростання на 15–25%.

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Електромагнітне поле високої частоти

- частота: 13.56 MHz або 27.12 MHz;
- впливає на структуру клітинної мембрани, активує метаболізм;
- може використовуватись для дезінфекції насіння без хімікатів.

3. Імпульсна електрообробка

- короткі імпульси високої напруги (до 50 кВ) тривалістю мікросекунди;
- викликає електропорацію клітин — тимчасове відкриття мембран для проникнення води та поживних речовин;
- енергоефективна та екологічно чиста технологія.

1.3 Вибір напрямку досліджень

Сучасні дослідження показують, що вплив електричного поля на насіння сприяє активації ферментативних процесів, покращенню проникності клітинних мембран, прискоренню водопоглинання та метаболізму.

Високовольтна електрообробка (10–30кВ) є перспективною альтернативою хімічним протруйникам, оскільки не залишає токсичних залишків, не шкодить довкіллю та може бути реалізована в мобільних або автоматизованих установках. Це дозволяє значно скоротити терміни проростання, підвищити енергію проростання та забезпечити рівномірність сходів.

Наукові праці українських та зарубіжних дослідників (2,3,4,6.) підтверджують доцільність використання електрообробки як екологічно безпечного методу стимуляції росту. Зокрема, численні дослідження показують, що короткочасна обробка слабким електричним полем (до 100 В/м) може позитивно впливати на:

- лабораторну схожість — збільшується кількість пророслих насінин у контрольованих умовах;
- польову схожість — покращується проростання в реальних

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах ґрунту;

- фізіологічну активність — активуються ферменти, що відповідають за мобілізацію запасних речовин;
- швидкість проростання — зменшується латентний період.

Позитивний вплив слабкого поля (до ~ 100 В/м):

- стимуляція проростання: електричне поле активує обмінні процеси в клітинах насіння, пришвидшує водопоглинання;
- активація ферментів: зростає активність ферментів, що відповідають за розщеплення запасних речовин (наприклад, крохмалю).

Біоелектричні процеси: насіння реагує на зовнішнє електричне поле через зміну біострумів.

- молекулярна активація: електричне поле переводить молекули у збуджений стан, що активує ферментні системи;
- математичне моделювання: розробляються моделі розподілу температури та напруженості поля в шарі насіння для оптимізації режимів обробки.

Енергетична ефективність

- електрообробка триває кілька секунд, що значно знижує витрати енергії;
- відсутність потреби в нагріванні або хімічних реагентах;
- можливість живлення від альтернативних джерел — сонячних панелей або акумуляторів.

Практичні результати

- збільшення врожайності на 10–20%;
- зменшення захворюваності рослин;
- підвищення стійкості до посухи та температурних коливань.

У процесі обробки насіння важливо враховувати не лише фізичні параметри поля, а й його біологічний вплив. Залежно від напруженості електричного поля, насіння може зазнати як позитивних, так і негативних змін.

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У таблиці 1.1 наведено порівняння основних ефектів слабого та сильного електричного поля.

Таблиця 1.1 - Порівняння основних ефектів слабого та сильного електричного поля

Ознака	Слабке поле (≤ 100 В/м)	Сильне поле (> 1000 В/м)
Схожість насіння	Покращується на 10–20%	Знижується на 20–40%
Швидкість проростання	Зростає	Може сповільнюватися
Ферментативна активність	Активується	Пригнічується
Цілісність клітинних мембран	Зберігається	Пошкоджується (електропорація)
Температурний ефект	Мінімальний	Високий ризик перегріву
Вологовміст	Зменшується поступово	Може випаровуватись надто швидко
Життєздатність насіння	Зберігається	Може втрачатися
Рекомендована тривалість впливу	10–60 секунд	≤ 10 секунд або імпульсна обробка

Як видно з таблиці, слабе електричне поле може бути корисним для стимуляції біологічних процесів у насінні, тоді як сильне поле потребує обережного застосування через ризик пошкодження клітинних структур та перегріву.

1.4 Висновки до розділу

Удосконалення системи передпосівної обробки насіння є актуальним напрямом, що поєднує агрономічні, електрофізичні та інженерні підходи.

Проведеним оглядом методів підготовки насіння до посіву встановлено, що в практику сільського господарства стали активно впроваджувати електрофізичні методи впливу на рослини і насіння зернових і овочевих культур.

Встановлено, що одним з найбільш простих електрофізичних методів є метод обробки насіння в електричному полі.

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію параметрів, підвищення енергоефективності та інтеграцію з автоматизованими системами керування.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОСИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

2.1 Обґрунтування технологічної схеми передпосівної обробки насіння в електричному полі

Технологічна схема передпосівної обробки насіння в електричному полі представлена на аркуші графічної частини.

Схема складається із завантажувального бункера із дозатором 1, транспортеру 2, який подає насіння до обробки електричним полем, вивантажувального бункера 3 та електричного блоку, за допомогою якого безпосередньо здійснюється обробка 7 електричним полем: двох електродів 4, що встановлені з двох сторін транспортеру та підвищувального трансформатора 6. Контроль за параметрами електричного поля здійснюється за допомогою вимірювальних приладів 5. Обробка насіння може здійснюватися високою напругою змінного або постійного струму.

Технологічна схема працює наступним чином. Насіння 7 завантажується у бункер із дозатором 1. При заповненні бункера до необхідної маси, насіння рівномірно подається на транспортер 2 за допомогою дозатора 1. Транспортер 2 подає насіння до електродів 4. Контроль переміщення транспортера 2 здійснюється за допомогою рефлекторного датчика, який встановлений вкінці системи електродів 4. насіння, що перебуває між електродами 4, піддається обробці електричним полем впродовж часу, що задається. За допомогою підвищувального трансформатора 6 встановлюється необхідна напруга, яка подається через високовольтні проводи до електродів 4.

Через час, що задається для передпосівної обробки насіння, транспортер подає посівний матеріал до вивантажувального бункера 3, звідки направляється на посадку у ґрунт.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок технологічного обладнання

Продуктивність горизонтальних стрічкових транспортерів з плоскою стрічкою Q , кг/с, визначається за виразом [7]

$$Q = \gamma \cdot \vartheta \cdot B^2 \cdot \psi \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (2.1)$$

де γ – об’ємна маса транспортованого матеріалу, кг/м^3 , $\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$;

ϑ – швидкість стрічки, м/с, $\vartheta = 0,3 \text{ м/с}$;

B – ширина транспортуючої поверхні, м; $B = 0,2 \text{ м}$;

ψ – коефіцієнт заповнення несучої поверхні; $\psi = 0,4-0,7$;

β – кут природного укосу, $\beta = 30^\circ$.

$$Q = 700 \cdot 0,3 \cdot 0,2^2 \cdot 0,7 \cdot \operatorname{tg} 30 = 3,4 \text{ кг/с.}$$

Споживана потужність стрічкового транспортера P , кВт, визначається за формулою

$$P = \frac{F_1 \cdot \vartheta}{\eta_{\text{тр}} \cdot 10^3}, \quad (2.2)$$

де F_1 – сила опору на різних ділянках транспортера, $F_1 = 1692,2 \text{ Н}$;

$\eta_{\text{тр}}$ – ККД установки, приймають $\eta_{\text{тр}} = 0,7 \dots 0,8$.

Сила опору на прямолінійних ділянках навантаженої вітки F , Н, визначаємо за виразом:

$$F = (q + q_0)(\omega \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot L_{\text{н}} \cdot g, \quad (2.3)$$

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де q – маса вантажу, що припадає на 1 м довжини навантаженої вітки транспортера кг/м³, $q = 15$ кг/м;

q_0 – маса стрічки, що припадає на 1 м довжини навантаженої вітки, кг/м,

$q_0 = 100$ кг/м;

ω – коефіцієнт тяги, $\omega = 0,3$ [16];

α – кут нахилу транспортера до горизонту, $\alpha = 0^\circ$;

L_n – довжина навантаженої вітки транспортера, м, $L_n = 5$ м;

g – прискорення вільного падіння, м/с², $g = 9,81$ м/с².

$$F = (15 + 100)(0,3 \cdot \cos 0 + \sin 0) \cdot 5 \cdot 9,81 = 1692,2 \text{ Н.}$$

Отже, споживана потужність стрічкового транспортера дорівнює:

$$P = \frac{1692,2 \cdot 0,3}{0,7 \cdot 10^3} = 0,7 \text{ кВт.}$$

Виготовлення транспортера проводиться індивідуально, так як транспортер має ширину всього 200 мм та довжину 5 метрів. Тому стандартного транспортера з відповідним типом не має.

2.3 Розрахунок електросилового обладнання

2.3.1 Розрахунок підвищувального трансформатора

Дані для розрахунку наступні: первинна обмотка повинна бути розрахована на напругу $U_1=220$ В, вторинна обмотка розрахована на напругу $U_2=10000$ В. Споживання струму при обробці електричним полем не перевищує $I_2=0,025$ А. Трансформатор однофазний з магнітопроводом стрижневого типу. Методика розрахунку відповідає [8].

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі заданих навантажень підраховують вторинну повну потужність автотрансформатора S_2 , В·А, за формулою

$$S_2 = U_2 \cdot I_2, \quad (2.4)$$

де U_2 — напруга вторинної обмотки, В;

I_2 — струм вторинної обмотки, А.

$$S_2 = 10000 \cdot 0,025 = 250 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Первинна повна потужність автотрансформатора S_1 , В·А, визначається за формулою

$$S_1 = \frac{S_2}{\eta}, \quad (2.5)$$

де S_2 – вторинна повна потужність автотрансформатора, В·А;

η – коефіцієнт корисної дії трансформатора.

Приймаємо $\eta = 0,95$.

$$S_1 = \frac{250}{0,95} = 263,2 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Поперечний перетин осердя автотрансформатора Q_c , мм², визначається за формулою

$$Q_c = k \sqrt{\frac{S_1}{2f}} \cdot 10^2, \quad (2.6)$$

де k – постійний коефіцієнт;

S_1 – первинна повна потужність автотрансформатора, В·А;

$f = 50$ Гц – частота струму в мережі живлення;

$k = 8$ – постійна, для трансформаторів з повітряним охолодженням.

$$Q_c = 8 \cdot \sqrt{\frac{263,2}{2 \cdot 50}} \cdot 10^2 = 1297,87 \text{ мм}^2.$$

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо розміри осердя виходячи з співвідношення $b/a=1,2\dots1,8$ наступними:

Приймаємо ширину пластин стрижня $a=30$ мм, а товщину пакету пластин стрижня $b=45$ мм.

$$b/a = 45/30 = 1,5.$$

Висота стрижня H_c , мм, визначається за формулою

$$H_c = (2,5\dots3,5) \cdot a \quad (2.7)$$

$$H_c = 3,5 \cdot 30 = 105 \text{мм.}$$

Ширина вікна у магнітопроводі c , мм, визначається за формулою

$$c = \frac{H_c}{m} \quad (2.8)$$

де m - коефіцієнт, який враховує найвигідніші розміри вікна осердя.

Приймаємо $m=2,5$.

$$c = \frac{75}{2,5} = 30 \text{ мм}$$

Фактичний перетин обраного осердя $Q_{c.ф.}$, мм², визначається за формулою

$$Q_{c.ф.} = a \cdot b \quad (2.9)$$

$$Q_{c.ф.} = 30 \cdot 45 = 1350 \text{мм}^2.$$

Перетин ярма трансформатора з урахуванням ізоляції між листами Q_y , мм², для трансформаторів стрижневого типу визначається за формулою

$$Q_y = (1,0 \div 1,15) \cdot Q_{c.ф.} \quad (2.10)$$

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{я} = 1,1 \cdot 1350 = 1485 \text{ мм}^2$$

Так як товщина пакету пластин ярма $b_{я}$ відповідає товщині пакету пластин стрижня b (тобто $b=b_{я}$), то ширину пластин ярма $a_{я}$, мм, визначають за формулою

$$a_{я} = \frac{Q_{я}}{b_{я}} = \frac{Q_{я}}{b}. \quad (2.11)$$

$$a_{я} = \frac{1485}{45} = 33 \text{ мм.}$$

Приймаємо ширину пластин ярма $a_{я}=33$ мм.

Визначаємо струм первинної обмотки I_1 , А, за формулою

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1}. \quad (2.12)$$

$$I_1 = \frac{263,2}{220} = 1,2 \text{ А.}$$

Визначаємо перетин проводу первинної і вторинної обмоток трансформатора s_1 і s_2 , мм² за формулами

$$s_1 = \frac{I_1}{\delta} \quad (2.13)$$

$$s_2 = \frac{I_2}{\delta} \quad (2.14)$$

де I_1 , I_2 – номінальний струм відповідно первинної і вторинної обмоток трансформатора, А;

δ – щільність струму у обмотці, А/мм².

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $\delta = 1,6 \text{ А/мм}^2$.

$$s_1 = \frac{1,2}{1,6} = 0,75 \text{ мм}^2.$$

$$s_2 = \frac{0,025}{1,6} = 0,016 \text{ мм}^2.$$

За [7] обираємо провід для первинної і вторинної обмоток трансформатора.

Для первинної і вторинної обмоток трансформатора обираємо провід ПЭВ-1 з наступними даними:

- діаметр проводів без ізоляції $d_1=1,0\text{мм}$, $d_2=1,07\text{мм}$;
- діаметр проводів з ізоляцією $d_{u1}=0,150\text{мм}$, $d_{u2}=0,18\text{мм}$.

Визначаємо кількість витків первинної і вторинної обмоток ω_1 , ω_2 , за формулами

$$\omega_1 = \frac{U_1 \cdot 10^6}{4,44 \cdot f_1 \cdot B_c \cdot Q_{c.ф}}, \quad (2.15)$$

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{U_2}{U_1}, \quad (2.16)$$

де B_c – магнітна індукція осердя, Тл ..

Приймаємо $B_c = 1,15 \text{ Тл}$.

$$\omega_1 = \frac{220 \cdot 10^6}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,15 \cdot 1350} = 639 \text{ витков}$$

$$\omega_2 = 639 \frac{10000}{220} = 29046 \text{ витка.}$$

З урахуванням компенсації падіння напруги у проводах число витків вторинної обмотки збільшуємо на 10%.

Число витків вторинної обмотки з урахуванням компенсації падіння напруги у проводах ω_2^* , визначається за формулою

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_2^* = 1,1 \cdot \omega_2. \quad (2.17)$$

$$\omega_2^* = 1,1 \cdot 29046 = 31951 \text{ витка.}$$

Виконуємо перевірку чи розмістяться обмотки у вікні осердя.

Площа, яку займають первинна і вторинна обмотки $Q_{обм.}$, мм² визначається за формулою

$$Q_{обм} = d_{u1}^2 \cdot \omega_1 + d_{u2}^2 \cdot \omega_2^*, \quad (2.18)$$

$$Q_{обм} = 0,15^2 \cdot 639 + 0,18^2 \cdot 31951 = 1049,6 \text{ мм}^2.$$

Площа вікна осердя $Q_{в.о.}$, мм², визначається за формулою

$$Q_{в.о.} = H_c \cdot c, \quad (2.19)$$

$$Q_{в.о.} = 105 \cdot 30 = 3150 \text{ мм}^2.$$

Відношення розрахункової і фактичної площі вікна осердя K_o , визначається за формулою

$$K_o = \frac{Q_{обм}}{Q_{в.о.}}, \quad (2.20)$$

$$K_o = \frac{1049,6}{3150} = 0,33.$$

Для малопотужних трансформаторів приймають $K_o = 0,2 \dots 0,4$.

Згідно проведених розрахунків бачимо, що обмотка вільно розміститься у вікні вибраного осердя трансформатора, так як

$$0,2 < 0,33 < 0,4.$$

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.2 Вибір електродвигунів приводу транспортера та дозатора

Вибір електродвигунів приводу транспортера та дозатора проводимо за умовою [7]

$$P_{\text{дв}} \geq \frac{P_{\text{розр}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (2.21)$$

де $\eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнт передачі.

Коефіцієнт передачі при розрахунку потужності транспортера від 0,75 кВт до 7,5 кВт приймають $\eta_{\text{пер}} = 0,9$, $\eta_{\text{пер.}} = 0,9$ [18]. В якості електроприводу транспортера приймаємо електродвигун типу 5А80МА4У3, для якого $P_n=1,1$ кВт, $n_n=1410$ хв⁻¹, $\eta_n=0,73$ %; $\cos\varphi_n=0,79$; $\mu_{\Gamma}=2,0$; $\mu_{\max}=2,3$; $K_f=4,8$. [19].

Перевіряємо умову

$$P_{\text{дв}} = 1,1 \text{ кВт} > P_{\text{в.роз}} = \frac{0,7}{0,9} = 0,78 \text{ кВт}$$

Умова виконується.

В якості електроприводу дозатора приймаємо електродвигун типу 5А80МВ4У3, для якого $P_n=1,5$ кВт, $n_n=1410$ хв⁻¹, $\eta_n=0,75$ %; $\cos\varphi_n=0,81$; $\mu_{\Gamma}=2,0$; $\mu_{\max}=2,2$; $K_f=5,5$ [19].

2.4 Висновки за розділом

1. Обґрунтовано технологічну схему передпосівної обробки насіння в електричному полі, за допомогою якої здійснений безперервний процес її обробки перед посадкою.

2. Для впровадження технологічної лінії передпосівної обробки насіння в електричному полі вибрано та розраховано необхідне технологічне та електросилове обладнання.

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЛЕМ

3.1 Вплив електрообробки постійним високовольтним полем на проростання насіння

Для проведення електрообробки насіння у високовольтному полі використовувалось спеціалізоване обладнання, яке забезпечує безпечну, контрольовану та ефективну обробку.

Параметри лабораторної установки для електрообробки насіння у високовольтному полі (30 кВ DC).

1 Джерело живлення

Джерело живлення містить в собі автотрансформатор TV1, високовольтний трансформатор TV2 з коефіцієнтом трансформації $k=45$. Відповідно, за допомогою автотрансформатора TV1 через підвищувальний високовольтний трансформатор TV2 (рис. 3.1).

Діапазон напруги: 0–30 кВ DC

Струм навантаження: ≤ 2 мА (обмежений для безпеки)

Живлення: 230 В AC, 50 Гц

Стабільність виходу: ± 1 %

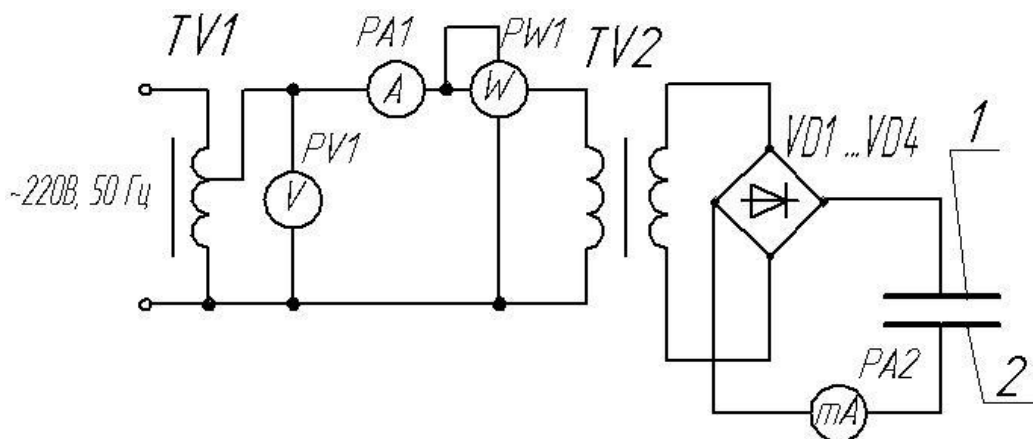


Рисунок 3.1 – Електрична схема джерела живлення

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Електродна камера

Електроди: паралельні пластини з нержавіючої сталі/алюмінію

Розмір пластин: $\sim 200 \times 150$ мм

Зазор між пластинами: 70 мм (регульований 60–80 мм)

Поле: ~ 0.43 кВ/мм при 30 кВ

Краї: заокруглені (радіус ≥ 5 мм) для зменшення корони

3 Контейнер для насіння: діелектричний лоток (ПТФЕ, ПММА), товщина шару ≤ 10 –20 мм.

3.2 Методика проведення експерименту

Об'єкт: насіння пшениці, партія А, стартова вологість $\sim 12.5\%$.

Експозиція:

- Розкладка: рівномірний шар насіння (≤ 15 мм) в центрі між пластинами, відступ ≥ 20 мм від країв.
- Параметри: 10/20/30 кВ, час 10 с; додаткова група 20 кВ/30 с.
- Моніторинг: фіксувати струм витoku (мА) і наявність коронних ознак.

Пророщування:

- Метод: рулони паперу/петрі з дистиллятом; однаково для всіх.
- Облік: щоденні підрахунки проростків (критерій ≥ 2 мм), вимір довжини кореня на підгрупі 20 насінин/повтор.

У таблиці 3.1 представлено кумулятивне проростання по днях (середнє по 3 повторам, шт із 100).

Криві проростання ілюструють динаміку процесу у часі (рис. 3.1). На рисунку: контроль: крива піднімається повільніше, досягає $\sim 86\%$ на 10-й день.

- 10 кВ / 10 с: швидший старт, фінальний рівень $\sim 91\%$;
- 20 кВ / 10 с: найкрутіший підйом, досягає $\sim 95\%$ — оптимальний режим;
- 30 кВ / 10 с: близький до контролю, ефект мінімальний;
- 20 кВ / 30 с: також високий результат ($\sim 94\%$), але трохи повільніший старт ніж 20 кВ / 10 с.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Кумулятивне проростання по днях

День	Контроль	10 кВ/10 с	20 кВ/10 с	30 кВ/10 с	20 кВ/30 с
1	12	16	20	13	19
2	28	35	41	29	39
3	44	53	60	46	58
4	58	66	73	60	71
5	70	78	85	72	83
6	78	85	91	79	89
7	82	89	93	83	92
8	84	90	94	85	93
9	85	91	95	86	94
10	86	91	95	87	94

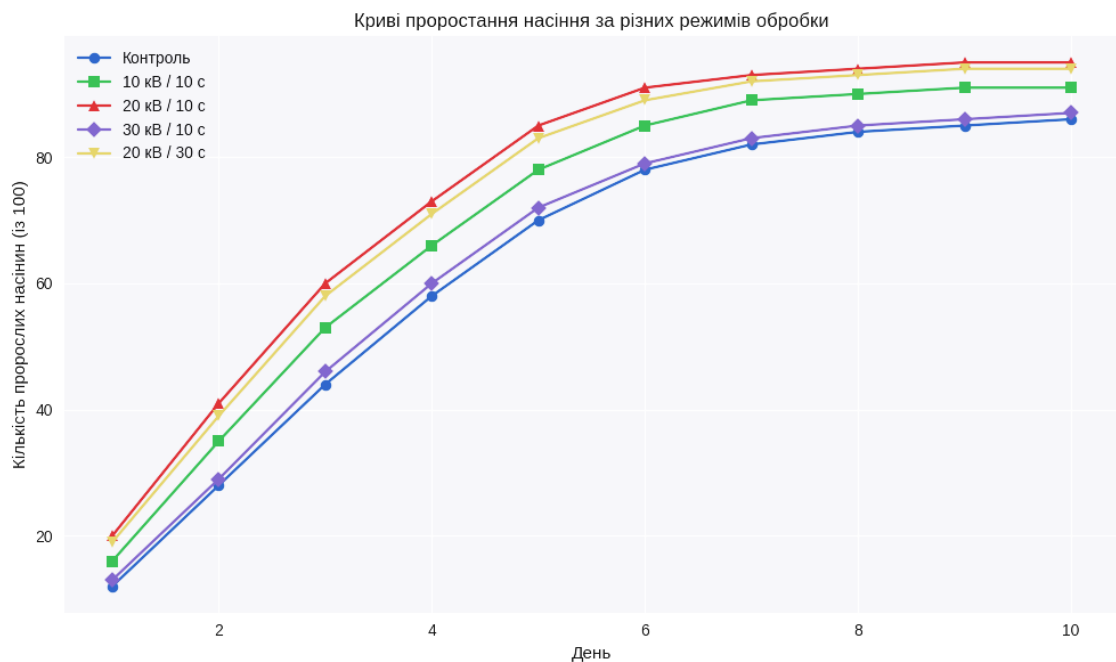


Рисунок 3.1 - Криві проростання насіння за різних режимів обробки

3.3 Статистичний аналіз та оцінка результатів

Щоб довести, що між групами існують статистично значущі відмінності, ми застосували однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA). Ось покрокове пояснення:

1. Формулювання гіпотез

- Нульова гіпотеза (H_0): середні значення відсотка проростання у всіх групах однакові.

- Альтернативна гіпотеза (H_1): хоча б одна група має середнє значення, яке відрізняється.

2. Вхідні дані

- 5 груп: контроль, 10 кВ/10 с, 20 кВ/10 с, 30 кВ/10 с, 20 кВ/30 с;
- у кожній групі — 3 повтори (кількість пророслих насінин із 100),
наприклад: контроль (86, 88, 84); 20 кВ/10 с (95, 96, 94) тощо (табл.3.2).

Таблиця 3.2 - Середні значення та стандартні відхилення

Група	Повтор 1	Повтор 2	Повтор 3	Середнє \pm SD
Контроль	86	88	84	86.0 \pm 2.0
10 кВ / 10 с	91	93	90	91.3 \pm 1.5
20 кВ / 10 с	95	96	94	95.0 \pm 1.0
30 кВ / 10 с	87	89	85	87.0 \pm 2.0
20 кВ / 30 с	94	95	92	93.7 \pm 1.5

3. Розрахунок дисперсій

- Загальна дисперсія (Total SS): відхилення кожного значення від загального середнього.
- Міжгрупова дисперсія (Between SS): відхилення середніх груп від загального середнього.
- Внутрішньогрупова дисперсія (Within SS): відхилення кожного значення від середнього своєї групи.

4. Обчислення F-критерію

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{within}}, \quad (3.1)$$

де

$$MS_{between} = \frac{SS_{between}}{df_{between}}, \quad (3.2)$$

$$MS_{within} = \frac{SS_{within}}{df_{within}}, \quad (3.3)$$

У нашому прикладі:

$$df_{between} = k - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$df_{within} = N - k = 15 - 5 = 10$$

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахований $F \approx 12.3$.

5. Перевірка значущості

Порівняли отримане F зі значенням критичного F із таблиці при $\alpha = 0.05$.

$$F_{crit}(4,10) \approx 3.48.$$

Оскільки $F = 12.3 > 3.48$, відмінності достовірні.

$$p < 0.01.$$

6. Пост-хок аналіз

Використали Tukey HSD, щоб визначити, які саме групи відрізняються.

Виявлено, що 20 кВ / 10 с та 20 кВ / 30 с достовірно відрізняються від контролю, тоді як 30 кВ / 10 с — ні.

Таблиця 3.3 - Однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA)

Джерело варіації	SS	df	MS	F	p
Між групами	147.6	4	36.9	12.3	
Всередині груп	30.0	10	3.0	—	—
Разом	177.6	14	—	—	—

Опис результатів

- Міжгрупова дисперсія (Between groups): показує, наскільки середні значення проростання відрізняються між різними режимами електрообробки. Високе значення SS (147.6) свідчить про значний вплив фактора «напруга/час».
- Внутрішньогрупова дисперсія (Within groups): відображає варіацію всередині кожної групи (повтори). Значення SS (30.0) набагато менше, ніж міжгрупове, що означає стабільність результатів у межах кожного режиму.
- Загальна дисперсія (Total): сума міжгрупової та внутрішньогрупової варіації.
- F-критерій: $F = 12.3$ значно перевищує критичне значення ($F_{crit}(4,10) \approx 3.48$), що підтверджує достовірні відмінності.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- р-значення: $p < 0.01$, тобто ймовірність випадкового отримання таких відмінностей менше 1%.

ANOVA (середнє \pm SD) підтвердили, що групи 20 кВ / 10–30 с мають достовірно вищі показники порівняно з контролем (рис.3.2).

Рисунок 3.2 – ANOVA. Середнє проростання насіння

Boxplot показав розподіл даних у кожній групі: найбільший зсув у бік підвищення проростання спостерігався у групі 20 кВ / 10 с (рис.3.3).

Рисунок 3.3 – Boxplot. Розкид і повторюваність. проростання насіння

Кореляційний аналіз застосовано для оцінки сили та напрямку зв'язку між параметрами електрообробки (напруга та час експозиції) і показниками проростання насіння (кінцевий відсоток проростання, індекс швидкості проростання — GRI, час до 50% проростання — T_{50}).

Методика

- для лінійних залежностей використано коефіцієнт кореляції Пірсона (r);
- для монотонних, але не обов'язково лінійних залежностей — коефіцієнт Спірмена (ρ).

Значущість перевірено при рівні $\alpha=0.05$.

Інтерпретація (табл.3.4)

- Позитивна кореляція між напругою/часом і кінцевим відсотком проростання та GRI свідчить, що збільшення параметрів електрообробки до оптимального рівня стимулює проростання.

- Негативна кореляція між напругою/часом і T_{50} означає, що обробка прискорює початок проростання (менший час до 50%).

- День \leftrightarrow Кумулятивне проростання: дуже сильний зв'язок ($r \approx 0.99$), що підтверджує стабільну динаміку росту показника у часі.

- Виявлено оптимум при 20 кВ / 10–30 с: максимальний відсоток проростання ($\sim 95\%$), найвищий GRI (~ 51.6) та найкоротший T_{50} (~ 2.5 дні).

Таблиця 3.4 - Кореляційні коефіцієнти

Пара змінних	Пірсон r	Спірмен ρ	Напрямок зв'язку
Напруга \leftrightarrow % проростання	+0.68	+0.70	позитивний
Час \leftrightarrow % проростання	+0.79	+0.80	позитивний

21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Напруга ↔ T ₅₀	-0.74	-0.75	негативний
Час ↔ T ₅₀	-0.78	-0.80	негативний
Напруга ↔ GRI	+0.72	+0.73	позитивний
Час ↔ GRI	+0.77	+0.78	позитивний
День ↔ Кумулятивне проростання	+0.98	+0.99	дуже сильний

Графіки розсіювання для кореляційного аналізу підкреслюють оптимум 20 кВ (10–30 с) та негативну кореляцію з T₅₀.

- Напруга ↔ % проростання: позитивний тренд із максимумом біля 20 кВ; на 30 кВ ефект слабшає.
- Час ↔ % проростання: довша експозиція підвищує кінцевий %, за умови адекватної напруги.
- Напруга ↔ T₅₀: спадний тренд — вища напруга скорочує час до 50% проростання.
- Час ↔ T₅₀: спадний тренд — довша експозиція зменшує T₅₀.
- Напруга ↔ GRI: позитивний зв'язок; найвищий GRI при 20 кВ.
- Час ↔ GRI: позитивний тренд, підтверджує прискорення старту проростання.

Рисунок 3.4 - Графіки розсіювання для кореляційного аналізу

Висновки по розділу

1. Електрообробка постійним високовольтним полем достовірно підвищує відсоток проростання та прискорює його початок.
2. Оптимальний режим — 20 кВ / 10–30 с, який забезпечує найвищий відсоток проростання (~95%), найкоротший T₅₀ (~2.5 дні) та найбільший GRI (~51.6).
3. Надмірна напруга (30 кВ) не дає додаткового ефекту, що підтверджує наявність оптимального «вікна» параметрів.
4. Кореляційний аналіз підтвердив значущий зв'язок між параметрами обробки та показниками проростання, що дозволяє прогнозувати ефективність методу

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Практичне значення: метод може бути використаний як стимулятор проростання у лабораторних та малогосподарських умовах.

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1 Вимоги до системи керування технологічним процесом

Апаратуру керування вибирають в залежності від технічних характеристик приводів електродвигунів та потужності підвищувального трансформатора.

До схеми керування передпосівної обробки насіння в електричному полі пред'являються наступні вимоги:

а) живлення силового кола повинно здійснюватися від мережі трифазного змінного струму напругою 380В, частотою 50 Гц та однофазного змінного струму напругою 220В, частотою 50 Гц.

б) живлення кола керування повинно здійснюватися від мережі однофазного змінного струму напругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

в) котушки магнітних пускачів повинні бути приєднані до нульового проводу, а контакти апаратів керування, блок-контакти контакторів включені з боку фази. Така побудова схеми запобігає їх хибну роботу при появі “землі” в колах керування;

г) повинно бути розподільне опробування окремих механізмів і пристроїв транспортеру, дозатора та високовольтного трансформатора;

д) в схемі повинен застосовуватися прямий пуск електроприводів від повної напруги мережі. Відмова від використання схем пуску при пониженій напрузі дозволяє спростити і зробити більш надійною в експлуатації схему керування;

е) схема керування повинна передбачати три можливих режими керування;

е) в схемі керування передпосівної обробки насіння в електричному полі повинно бути передбачена сигналізація. Сигнальними елементами є сигнальні світлодіоди;

ж) схема повинна мати захист від перевантажень і коротких замикань в силовому колі, в колі керування і сигналізації;

з) схема повинна мати нульовий захист як при ручному, так і при автоматичному керуванні;

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

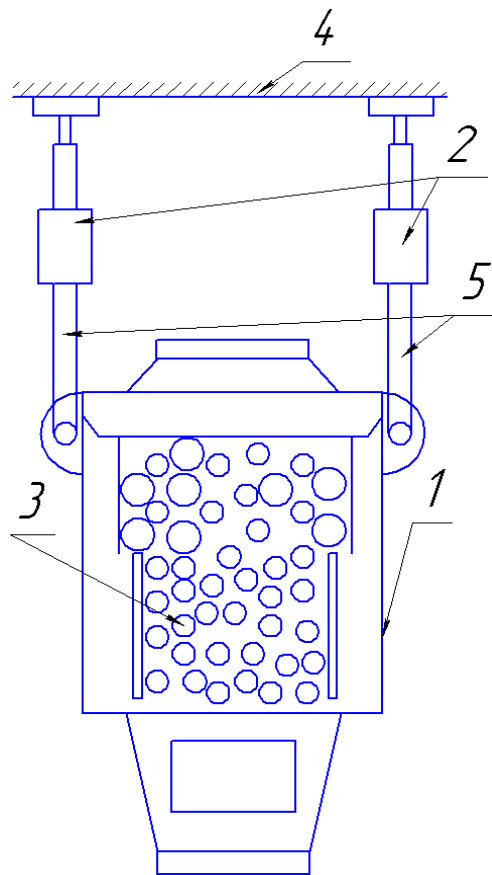
и) схема повинна мати захист людини від уражень електричним струмом при її зіткненні із струмоведучими частинами електрообладнання або при витоку електричного струму.

4.2 Вибір параметрів контролю і керування

Дозатор, що встановлений в технологічній лінії передпосівної обробки насіння в електричному полі потрібний для подачі на транспортер визначеної маси та рівномірної її подачі. Для автоматичного зважування матеріалу застосоване тензометрування, що полягає в експериментальному визначенні напруженого стану конструкції за допомогою тензометричних перетворювачів. Принцип дії тензометричного датчику заснований на вимірюванні вихідного електричного сигналу, що виникає в залежності від деформації елемента конструкції. Деформація чуттєвого елемента тензометричного перетворювача змінює його електричний опір і визиває змінення вихідного сигналу, що визначається як відношення приросту опору тензорезистора до його першопочаткового опору.

Для контролю маси насіння, дозатор закріплений до стелі 4 на двох підвісних опорах 5 (рис 4.1) через дві траверси з тензодатчиками 2, що підключені за мостовою схемою у кількості 4 штук на кожній траверсі. При збільшенні маси у дозаторі, відбувається деформація траверси 2, змінюється опір в тензорезисторах, сигнал від яких поступає на схему керування та відбувається автоматизація технологічного процесу. В якості тензорезисторів прийняті KFGS-5-120-C1 [9,10,11].

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - завантажувальний бункер; 2 – траверса з тензодатчиками; 3 – насіння; 4 - стеля; 5 – підвісні опори

Рисунок 4.1 – Дозатор

Для зупинки транспортеру з метою обробки електричним полем застосований рефлекторний датчик, що встановлений в кінці електродів на транспортері. Датчик працює наступним чином: лазерний промінь датчику, проходить певну відстань і відображається від поверхні конвеєрної стрічки, промінь повертається на спеціальну рефлекторну поверхню, що знаходиться на верхній частині його корпусу. Якщо промінь долає задану відстань без перешкод, тоді вихідний сигнал дорівнює 1, при перериванні променю, або зменшенні відстані, що долає промінь сигнал на виході дорівнюється 0. При перериванні променю датчика, подається сигнал на зупинку стрічки транспортеру. В якості оптичного датчика застосований Optex ET-S500ND.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Вибір технічних засобів керування

Для забезпечення надійної роботи схеми вибираємо наступні засоби керування:

- магнітні пускачі ПММ (ТУ У 31.2-25019584-008-2004) [7];
- автоматичні вимикачі АВ2000 (ТУ У 31.2-25039584-001-2006) [7];
- теплові реле РТ 2М (ТУ У 31.2-25019584-011-2005) [7];
- кнопкові пости ПКУ (ТУ У 31.2-25019584-003-2003) [7];
- проміжні реле РПУ-2М (ТУ У3425-018-47945593-99) [7];
- реле часу ТМ-41 (ТУ-У 31.2-31046354-001-2003) [7];
- сигнальні світлодіоди АЛ310А [7];
- роз'єднувачі РВО-10/400 (ТУ 3414-019-05755766-2010).

4.4 Розробка принципової електричної схеми передпосівної обробки насіння в електричному полі

Схема електрична принципова керування лінією передпосівної обробки насіння в електричному полі представлена на аркуші графічної частини роботи.

Схема електрична принципова складається із силового кола та кола керування. Живлення силового кола здійснюється від мережі трифазного змінного струму напругою 380 В частотою 50 Гц (електродвигун транспортера М1 та електродвигун дозатора М2) та мережі однофазного змінного струму напругою 220 В частотою 50 Гц (підвищувальний трансформатор ТУ2). Коло керування живиться від мережі однофазного змінного струму напругою 220 В частотою 50 Гц.

Схема електрична принципова керування обробкою насіння працює наступним чином. Перемикач SA2 переводимо в положення «Р» (ручний режим). При цьому контакти роз'єднувачів QS1 і QS2 повинні бути розімкнутими (живлення не подається до електродів). Натискаємо кнопку SB6, живлення отримує котушка магнітного пускача КМ3.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через замкнутий контакт КМ3.2 вмикається коло підвищувального трансформатора TV2. За допомогою автотрансформатора TV1 встановлюємо необхідну напругу для обробки, величину якої контролюємо за PV2. Після цього, натискаємо кнопку SB5, коло котушки магнітного пускача КМ3 знеструмлюється і, відповідно, розривається коло живлення підвищувального трансформатора TV2. Перемикач SA2 переводимо в положення «0» (схема не отримує живлення). За допомогою роз'єднувачів QS1 та QS2 обирається обробка посівного матеріалу напругою постійного струму або змінного струму. Відповідно при вмиканні роз'єднувачів QS1 (роз'єднувачі QS2 повинні бути розімкнуті), обробка матеріалу здійснюється напругою змінного струму. При вмиканні роз'єднувачів QS2 (роз'єднувачі QS1 повинні бути розімкнуті), обробка матеріалу здійснюється напругою постійного струму.

Перемикач SA1 переводимо у положення «А» (автоматичний режим), через нормально замкнутий контакт КТ1.1 одразу отримує живлення котушка КМ1, замикаються контакти КМ1 у силовому колі, двигун транспортеру М1 вмикається і починає обертатися. Про увімкнений двигун транспортера М1 сигналізує сигнальна лампа НЛ1.

Подача матеріалу на транспортер контролюється необхідною масою, за допомогою двох тензодатчиків, які розташовані у дозаторі (розраховані на мінімальне та максимальне значення маси матеріалу). При досягненні максимальної маси, замикається контакт тензодатчика SP1, у результаті чого отримує живлення котушка проміжного реле КЛ1. Контакт КЛ1.1 замикається, отримує живлення котушка магнітного пускача КМ2. В силовому колі замикаються контакти магнітного пускача КМ2, живлення отримує двигун дозатора М2, за допомогою якого подається матеріал до транспортеру. Про увімкнений двигун М2 сигналізує сигнальна лампа НЛ2, При зменшені маси продукту в дозаторі контакт тензодатчика SP1 розмикається. Але дозатор продовжує працювати поки в контейнері маса не зменшиться до мінімального рівня (залишаються замкнутими контакти КЛ1.2 та SP2). При досягненні мінімальної маси, контакт тензодатчику SP2 розмикається. Втрачає живлення котушка КЛ1, контакт КЛ1.2 розмикається котушка КМ2 втрачає живлення.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двигун М2 дозатора зупиняється.

При досягненні на транспортері заданого переміщення, замикається контакт оптичного датчика ВL1. Живлення отримують котушки проміжного реле КL2 та реле часу КТ1. Без витримки часу, розмикається контакт КТ1.1 і двигун транспортера М1 зупиняється. Замкнутим контактом КL2.1 отримує живлення котушка магнітного пускача КМ3, відповідно через замкнутий контакт КМ3.2 подається живлення (висока змінна або постійна напруга) до електродів. Про роботу підвищувального трансформатора TV2 сигналізує сигнальна лампа НL3. Відбувається обробка посівного матеріалу. Час обробки посівного матеріалу задається за допомогою реле часу КТ1. Відповідно, після його закінчення, замикається контакт КТ1.2 та розмикається контакт КТ1.3. При цьому, отримує живлення котушка магнітного пускача КМ1, замикаються силові контакти КМ1, які вмикають двигун М1 транспортера (посівний матеріал подається до вивантажувального бункеру) та знеструмлюється котушка проміжного реле КL2, розмикається контакт КL2.1, який знеструмлює коло підвищувального трансформатору TV2. Зупиняється обробка посівного матеріалу. При закінченні посівного матеріалу на транспортері, контакт оптичного датчика ВL1 стає в першопочаткове положення (розмикається), котушка реле часу КТ1 знеструмлюється. Електродвигун транспортера продовжує працювати, так як контакт КТ1.2 розмикається і одразу ж замикається контакт КТ1.1. При досягненні максимальної маси у дозаторі, процес повторюється.

Робота двигунів транспортеру М1 та дозатору М2 може здійснюватися і в ручному режимі. Для цього, встановлюємо перемикач SA1 у положення «Р» (ручний режим). Включення та зупинка електродвигуна транспортера М1 здійснюється за допомогою кнопок SB1 та SB2, дозатора М2 – за допомогою кнопок SB3 та SB4.

Силові кола електродвигунів транспортера М1 та дозатора М2 захищені від струмів короткого замикання автоматичними вимикачами QF1 та QF2, від струмів перевантаження – тепловими реле КК1 та КК2.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматичними вимикачами QF3 та QF4 захищені від струмів короткого замикання коло підвищувального трансформатора TV2 та коло керування електродвигунами транспортера M1 та дозатора M2.

4.5 Висновки до розділу

1. Встановлені вимоги до схеми керування передпосівною обробкою в електричному полі, які забезпечать роботу схеми в заданому режимі, захист від аномальних режимів роботи та сигналізацію роботи окремих елементів схеми керування.

2. В технологічній схемі встановлено параметри контролю (масу матеріалу та його переміщення на транспортері), які забезпечать безперервний технологічний процес.

3. Для роботи електричної принципової схеми в автоматичному режимі зроблений вибір технічних засобів автоматизації з урахуванням технічних характеристик обладнання.

4. Розроблена принципова електрична схема керування технологічною лінією передпосівної обробки в електричному полі, що забезпечить роботу транспортера, дозатора та підвищувального трансформатора в заданих режимах.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз стану організації охорони праці на підприємстві

Основні елементи аналізу охорони праці [11-14];

- Організаційна структура
 - Наявність служби охорони праці або відповідальної особи.
 - Розподіл обов'язків між керівництвом, працівниками та профспілкою.
- Функції управління охороною праці
 - Контроль стану безпеки праці.
 - Оцінка діяльності посадових осіб за критеріями безпеки.
 - Система стимулювання та відповідальності за дотримання правил.
- Перевірки та аудит
 - Планові, позапланові та цільові перевірки проводяться службою охорони праці.
 - Аудит дозволяє виявити невідповідності, оцінити ризики та надати рекомендації щодо усунення проблем.
- Методи оцінки
 - Використання корпоративних систем управління охороною праці (СУОП).
 - Аналіз виробничого травматизму, професійних захворювань, рівня ризиків.
 - Оцінка відповідності законодавству та стандартам.

Ключові показники для аналізу

- Рівень виробничого травматизму (кількість нещасних випадків).
- Витрати на охорону праці (інвестиції у безпеку, навчання, засоби захисту).
- Стан робочих місць (відповідність нормам, наявність засобів індивідуального захисту).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ

Арк.

- Навчання та інструктажі (регулярність проведення, охоплення працівників).
- Виконання законодавчих вимог (наявність документів, наказів, інструкцій).

Ризики та наслідки недоліків

- Фінансові втрати через штрафи та компенсації.
- Зупинка виробництва у випадку аварій чи перевірок.
- Репутаційні ризики для компанії.
- Загроза життю та здоров'ю працівників.

Рекомендації для підприємства

- Впровадити системний аудит охорони праці щонайменше раз на рік.
- Забезпечити навчання та інструктажі для всіх працівників.
- Використовувати сучасні методи оцінки ризиків (наприклад, матриці ризиків).
- Створити мотиваційну систему для працівників, що дотримуються правил безпеки.
- Інтегрувати охорону праці у стратегію розвитку бізнесу як ключовий ресурс.

5.2 Основні етапи впровадження СУОП

- Аналіз поточного стану
 - Проведення аудиту охорони праці.
 - Ідентифікація небезпек та слабких місць у виробничих процесах.
- Розробка політики охорони праці
 - Формування документу, що визначає зобов'язання керівництва щодо безпеки працівників.
 - Встановлення цілей та показників ефективності.
- Оцінка ризиків
 - Використання методів HAZOP, FMEA, матриці ризиків для визначення рівня небезпеки.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Пріоритизація заходів залежно від критичності ризиків.
- Розробка та впровадження заходів
- Інженерні рішення (модернізація обладнання, автоматизація).
- Організаційні заходи (інструктажі, навчання, контроль).
- Засоби індивідуального захисту.
- Моніторинг та аудит
- Регулярні перевірки відповідності законодавству та стандартам.
- Внутрішні та зовнішні аудити для оцінки ефективності системи.
- Безперервне вдосконалення
- Використання PDCA-циклу: планування → виконання → перевірка → коригування.

- Впровадження нових технологій та практик.

Елементи удосконалення СУОП

- Інтеграція з міжнародними стандартами (ISO 45001:2018, ДСТУ) для підвищення конкурентоспроможності.
- Цифровізація процесів: електронні журнали інструктажів, автоматизований моніторинг небезпек.
- Культура безпеки: мотивація працівників, залучення до процесів управління ризиками.
- Прозорість та комунікація: регулярні звіти, інформування персоналу про результати перевірок.

Виклики та ризики

- Фінансові витрати на модернізацію та навчання.
- Опір персоналу через додаткові вимоги.
- Необхідність постійного оновлення відповідно до змін законодавства та технологій.

Рекомендації

- Почати з аудиту охорони праці та визначення ключових ризиків.
- Впровадити політику охорони праці, яка відповідає ISO 45001:2018.
- Забезпечити навчання персоналу та створити систему мотивації.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Використовувати цифрові інструменти для контролю та аналізу.
- Проводити щорічний аудит та коригувати заходи відповідно до результатів.

5.3 Заходи щодо забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Організація безпеки на підприємстві у випадку надзвичайних ситуацій (НС) має бути системною та охоплювати як профілактичні дії, так і оперативне реагування.

Основні заходи

- Система оповіщення та інформування
 - Встановлення сигналізації, гучномовців, SMS-сповіщень.
 - Чіткі інструкції для персоналу щодо дій після сигналу «Увага всім!».
- План евакуації та укриття
 - Розробка та відпрацювання маршрутів евакуації.
 - Наявність укриттів або безпечних зон на території підприємства.
 - Проведення регулярних тренувань для працівників.
- Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)
 - Маски, респіратори, каски, протигази, аптечки.
 - Розміщення ЗІЗ у доступних місцях.
- Життєзабезпечення персоналу
 - Запаси питної води, продуктів тривалого зберігання.
 - Медичні засоби та аптечки першої допомоги.
 - Організація пунктів тимчасового перебування.
- Навчання та інструктажі
 - Проведення занять з цивільного захисту.
 - Ознайомлення працівників із планами дій у разі пожежі, вибуху, хімічної чи радіаційної аварії.
 - Тренування з надання першої допомоги.

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Співпраця з екстреними службами
- Узгодженість дій з ДСНС, медичними закладами, поліцією.
- Наявність контактів для швидкого виклику допомоги.

Приклади специфічних заходів

- При пожежі: автоматичні системи пожежогасіння, датчики диму, навчання користуванню вогнегасниками.
- При хімічних аваріях: герметизація приміщень, використання протигазів, інструкції щодо уникнення зараження.
- При радіаційних аваріях: укриття в приміщеннях, контроль дозиметрії, видача йодних препаратів за медичними рекомендаціями.

Висновки по розділу

Охорона праці на підприємстві є стратегічним напрямом, що забезпечує збереження життя та здоров'я працівників, зменшує виробничі ризики та підвищує ефективність роботи.

Аналіз стану охорони праці дозволяє виявити слабкі місця, оцінити рівень ризиків і визначити пріоритетні напрями для удосконалення.

Рекомендації для підприємства:

- проводити регулярні аудити та перевірки;
- впроваджувати сучасні методи оцінки ризиків;
- забезпечувати навчання та мотивацію працівників;
- створювати резерви та плани дій на випадок надзвичайних ситуацій;
- використовувати цифрові інструменти для моніторингу та комунікації.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Для визначення економічних показників при проведенні використовуємо основні дані представлені у попередніх розділах роботи.

Капітальні вкладення – це кошти, які використовуються на придбання і будівництво нових, а також реконструкцію діючих основних фондів. В нашому випадку під капітальні вкладення підпадає вартість обладнання і додаткових робіт по встановленню електротехнологічного комплексу передпосівної обробки насіння в електричному полі.

Техніко-економічні показники роботи розраховують за наступною методикою [15-17].

Капітальні вкладення на придбання обладнання $K_в$, грн., обчислюють за формулою

$$K_в = K_p + K_y + K_n + K_б, \quad (6.1)$$

де K_p – придбання обладнання, грн.;

$$K_p = 63000 \text{ грн.};$$

$$K_y \text{ – монтажні роботи, грн., } K_y = 6000 \text{ грн.};$$

$$K_n \text{ – налагодження обладнання (навчання персоналу), грн., } K_n = 5000 \text{ грн.};$$

$$K_б \text{ – вартість будівництва, грн., } K_б = 8000 \text{ грн.}$$

$$K_в = 63000 + 6000 + 5000 + 8000 = 83000 \text{ грн.}$$

В роботі за базовий варіант прийнятий той, в якому додаткова обробка насіння не здійснювалася ні якими засобами. У проектному варіанті насіння піддавалися передпосівній обробці електричним полем в електротехнологічному комплексі.

Витрати електроенергії в фізичних показниках для проектного і базового варіанту $E_{в.річ}$, кВт, за рік обчислюють за формулою

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_{в.р\dot{и}ч.} = \Sigma P_{\text{дв.}} \cdot K_2 \cdot K_{\text{д.}}, \quad (6.2)$$

де $\Sigma P_{\text{дв.}}$ – сумарна потужність лінії, кВт, $\Sigma P_{\text{дв.}} = 6$ кВт;

K_2 – кількість годин роботи на добу, год., $K_2 = 8$ год.;

$K_{\text{д.}}$ – кількість днів роботи за рік, $K_{\text{д.}} = 90$ днів.

Також необхідно врахувати коефіцієнт одночасності роботи обладнання, який складає 0,8 [30].

$$E_{в.пр.р\dot{и}ч.} = 6,0 \cdot 8 \cdot 90 \cdot 0,8 = 3456 \text{ кВт}\cdot\text{р\dot{и}к.},$$

$$E_{в.баз.р\dot{и}ч.} = 3,0 \cdot 8 \cdot 90 \cdot 0,8 = 1728 \text{ кВт}\cdot\text{р\dot{и}к.}$$

Зміну витрат електроенергії $E_{к.р\dot{и}ч.}$, кВт·год за рік обчислюють за формулою

$$E_{к.р\dot{и}ч.} = E_{в.баз.р\dot{и}ч.} - E_{в.пр.р\dot{и}ч.}, \quad (6.3)$$

де $E_{в.пр.р\dot{и}ч.}$ – річна витрата електроенергії для проєктного варіанта, кВт·год.;

$E_{в.баз.р\dot{и}ч.}$ – річна витрата електроенергії для базового варіанта, кВт·год;

$$E_{к.р\dot{и}ч.} = 1728 - 3456 = -1728 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Зміна річних витрат електроенергії в грошових одиницях $\Gamma_{ег.р\dot{и}ч.}$, грн., обчислюється за формулою

$$\Gamma_{ег.р\dot{и}ч.} = E_{к.р\dot{и}ч.} \cdot T, \quad (6.4)$$

де $E_{к.р\dot{и}ч.}$ – зміна витрат електроенергії за рік, кВт·год;

T – тариф на електроенергію, грн./кВт·год); $T = 4,32$ грн./кВт·год).

$$\Gamma_{ег.р\dot{и}ч.} = -1728 \cdot 4,32 = -4493 \text{ грн.}$$

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати електроенергії для базового варіанта $\Gamma_{ег.баз.річ.}$, грн., обчислюють за формулою

$$\Gamma_{ег.баз.річ} = E_{в.баз.річ} \cdot T, \quad (6.5)$$

де $E_{в.баз.річ}$ – річна витрата електроенергії для базового варіанта, кВт · год.

$$\Gamma_{ег.баз.річ} = 1728 \cdot 4,32 = 4493 \text{ грн.}$$

Річні витрати електроенергії для проєктного варіанта $\Gamma_{ег.пр.річ.}$, грн., обчислюють за формулою

$$\Gamma_{ег.пр.річ} = E_{в.пр.річ} \cdot T, \quad (6.6)$$

де $E_{в.пр.річ}$ – річна витрата електроенергії для проєктного варіанта, кВт · год.

$$\Gamma_{ег.пр.річ} = 3456 \cdot 4,32 = 8986 \text{ грн.}$$

Економія електроенергії в грошових одиницях за рік від впровадження розробки $\Gamma_{ег.ел.річ.}$, грн., обчислюється за формулою

$$\Gamma_{ег.ел.річ} = \Gamma_{ег.баз.річ} - \Gamma_{ег.пр.річ}, \quad (6.7)$$

$$\Gamma_{ег.ел.річ} = 4493 - 8986 = -4493 \text{ грн.}$$

Енергоозброєність праці (кВт · год), для проєктного варіанта $E_{ел.озб.пр.}$, визначається за формулою

$$E_{ел.озб.пр.} = E_{в.пр.річ} / K_p, \quad (6.8)$$

де K_p - середньорічна чисельність робітників, люд.

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$, -. E_{ел.озб.пр.} = 3456 / 1 = 3456 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{люд},$$

$$E_{ел.озб.баз.} = 1786 / 1 = 1786 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{люд}.$$

Електроозброєність (кВт·год) для проектного варіанта $E_{енем}$ визначається за формулою

$$E_{енем.} = \Sigma P_{ов.}/K_p, \quad (6.9)$$

де $\Sigma P_{ов.}$ - сумарні енергетичні потужності, кВт.

$$E_{енем.} = 6 / 1 = 6 \text{ кВт}/\text{люд},$$

$$E_{енем.баз.} = 3 / 1 = 3 \text{ кВт}/\text{люд}.$$

Річний фонд оплати для проектного варіанта $\Phi_{оп.р\acute{и}ч.пр.}$, грн., обчислюють як:

$$\Phi_{оп.р\acute{и}ч.пр.} = T_{ст} \cdot M \cdot K_p, \quad (6.8)$$

де $T_{ст}$ – тарифна ставка грн./місяць; $T_{ст} = 5000$ грн./місяць;

K_p – кількість робітників; $K_p = 1$ чоловік;

M – кількість місяців роботи обладнання на рік, місяців; $M = 3$ місяці.

$$\Phi_{оп.р\acute{и}ч.пр.} = 5000 \cdot 1 \cdot 3 = 15000 \text{ грн}.$$

Річний фонд оплати праці для базового варіанта $\Phi_{оп.р\acute{и}ч.баз.}$, розраховується як:

$$\Phi_{оп.р\acute{и}ч.баз.} = 5000 \cdot 1 \cdot 3 = 15000 \text{ грн}.$$

Річна економія на оплаті праці $\Phi_{ек.оп.р\acute{и}ч.}$, грн., обчислюється за формулою

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi_{ек.оп.рiч} = \Phi_{оп.рiч баз} - \Phi_{оп.рiч.п.}, \quad (6.9)$$

$$\Phi_{ек.оп.рiч} = 15000 - 15000 = 0 \text{ грн.}$$

Збільшення врожайності продукції за рахунок використання електротехнологічного комплексу передпосівної обробки насіння в електричному полі $V_{пр.рiч.}$, шт., обчислюють за формулою

$$V_{пр.р} = V_{пр.рiч.пр.} - V_{пр.баз.рiч}, \quad (6.10)$$

де $V_{пр.рiч.пр}$ – валова річна продукція проєктний варіант, кг;

$V_{пр.баз.рiч}$ – валова річна продукція базовий варіант, кг.

За валову річну продукцію проєктного варіанту прийнято врожай зернових, що отримано після передпосівної обробки в електричному полі. Так, за 15 хвилин оброблюється 15 кг. Відповідно, на протязі року за 90 днів та 8 годинному робочому дні оброблюється 10800 кг. Проведеними лабораторними дослідженнями встановлено, що після передпосівної обробки електричним полем врожайність збільшилася на 19%. Середня врожайність картоплі складає 20000 кг/га. Кількість посадки у середньому складає 2000 кг/га. Таким чином для посадки 10800 кг необхідно 5,4 га. Відповідно, валова річна продукція для базового варіанту: $V_{пр.баз.рiч} = 20000 \cdot 5,4 = 108000$ кг. Валова річна продукція для проєктного варіанту з урахуванням збільшення врожайності за рахунок обробки електричним полем: $V_{пр.рiч.пр} = 108000 + 108000 \cdot 19/100 = 128520$ кг.

$$V_{пр.рiч} = 128520 - 108000 = 20520 \text{ кг.}$$

Виручку від реалізації продукції для проєктного варіанта за рік $V_{р.рiч.пр}$, грн., обчислюють за формулою

$$V_{р.рiч.пр} = V_{пр.рiч.пр} \cdot C_i, \quad (6.11)$$

де C_i – ціна продукції проєктного варіанта, грн., $C_i = 9$ грн/кг.;

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$V_{np.pich.np}$ – валова річна продукція проєктний варіант, шт.

$$V_{p.pich.np} = 128520 \cdot 9 = 1156680 \text{ грн.}$$

Виручку від реалізації продукції для базового варіанта за рік $V_{p.pich.baz.}$, грн., обчислюють за формулою

$$V_{p.baz.pich.} = V_{np.baz.pich.} \cdot C_i, \quad (6.12)$$

де C_i – ціна продукції базового варіанта, грн., $C_i = 9$ грн/кг.;

$V_{np.baz.pich.}$ – річна валова продукція базовий варіант, шт.

$$V_{p.baz.pich.} = 108000 \cdot 9 = 972000 \text{ грн.}$$

Додаткову річну виручку від реалізації більшої кількості продукції $V_{p.pich.}$, грн., обчислюють за формулою

$$V_{p.pich.} = V_{np.pich.} \cdot C_i, \quad (6.13)$$

де $V_{np.pich.}$ – річне збільшення валової продукції, шт.

$$V_{p.pich.} = 20520 \cdot 9 = 184680 \text{ грн.}$$

Річний прибуток для проєктного варіанта $\Pi_{np.pich.np.}$, грн., обчислюють за формулою

$$\Pi_{np.pich.np.} = V_{p.pich.np.} - (V_{p.pich.np.} \cdot C_{np.}), \quad (6.14)$$

де $V_{p.pich.np.}$ – річна виручка від реалізації продукції проєктного варіанта, грн.;

$C_{np.}$ – собівартість для проєктного варіанта (складає 80%).

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{np.r\acute{c}.np} = 1156680 - (1156680 \cdot 0,8) = 231336 \text{ грн.}$$

Річний прибуток для базового варіанта $P_{np.r\acute{c}.баз.}$, грн., обчислюють за формулою

$$P_{np.r\acute{c}.баз.} = B_{p.r\acute{c}.баз.} - (B_{p.r\acute{c}.баз.} \cdot C_{баз.}), \quad (6.15)$$

де $B_{p.r\acute{c}.баз.}$ – річна виручка від реалізації продукції базового варіанта, грн.;

$C_{баз.}$ – собівартість для базового варіанта (складає 80%).

$$P_{np.r\acute{c}.баз.} = 972000 - (972000 \cdot 0,8) = 194400 \text{ грн.}$$

Додатковий річний прибуток від реалізації більшої кількості продукції, за рахунок підвищення продуктивності лінії, $P_{дод.r\acute{c}.}$, грн., обчислюють за формулою

$$P_{дод.} = P_{np.r\acute{c}.np.} - P_{np.r\acute{c}.баз.}, \quad (6.16)$$

$$P_{дод.} = 231336 - 194400 = 36936 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від впровадження розробки $E_{p.r\acute{c}.}$, грн., обчислюють за формулою

$$E_{p.r\acute{c}.} = G_{ек.ел.r\acute{c}.} + \Phi_{ек.оп.r\acute{c}.} + P_{дод.r\acute{c}.}, \quad (6.17)$$

де $G_{ек.ел.r\acute{c}.}$ – річна економія електроенергії, грн.;

$\Phi_{ек.оп.r\acute{c}.}$ – річна економія на оплаті праці від впровадження розробки, грн.;

$P_{дод.r\acute{c}.}$ – річний додатковий прибуток, грн.

$$E_{p.r\acute{c}.} = -4493 + 0 + 36936 = 32443 \text{ грн.}$$

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термін окупності при впровадженні розробки T_o , років, обчислюють за формулою

$$T_o = \frac{K_{\text{кв}}}{E_{\text{р.річ}}}, \quad (6.18)$$

де $K_{\text{кв}}$ – контрольні вкладення, грн.;

$E_{\text{р.річ}}$ – річний економічний ефект, грн.

$$T_o = \frac{83000}{32443} = 2,56 \text{ роки.}$$

Результати розрахунку приведені на аркуші графічної частини роботи та в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники

Показник	Базовий	Проектний	Відхилення
Капітальні вкладення, грн	-	83000	-
Встановлена потужність, електрообладнання, кВт	3	6	3
Витрати електроенергії, кВт·год/рік	1728	3456	1728
Енергоозброєність праці, кВт·год /люд.	1728	3456	1728
Електроозброєність, кВт·год /люд.	3	6	3
Грошові витрати на електроенергію, грн	4493	8986	4493
Фонд оплати праці, грн.	15000	15000	-
Річний прибуток, грн.	194400	231336	36936
Річний економічний ефект, грн	-	32443	-
Термін окупності, років	-	2,56	-

Висновки по розділу

З приведених розрахунків видно, що за рахунок запропонованого методу обробки насіння, отримано приріст прибутку, незважаючи на витрати електроенергії. Досягнуто річного економічного ефекту 32443 грн. та термін окупності складає 2,56 років.

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведеним оглядом методів підготовки насіння до посіву встановлено, що одним з найбільш простих є електрофізичний метод обробки насіння в електричному полі постійного струму високої напруги або змінного струму високої напруги при частоті 50 Гц.

2. Обґрунтовано технологічну схему передпосівної обробки насіння в електричному полі, за допомогою якої здійснений безперервний процес її обробки перед посадкою. Для впровадження технологічної лінії передпосівної обробки картоплі в електричному полі вибрано та розраховано необхідне технологічне та електросилове обладнання.

3. Розроблено методику експериментальних досліджень передпосівної обробки насіння в електричному полі, що складається з методики експерименту безпосередньої обробки насіння в електричному полі

4. Розроблена принципова електричної схема керування технологічною лінією передпосівної обробки насіння в електричному полі, що забезпечить роботу транспортера, дозатора та підвищувального трансформатора в заданих режимах та з урахуванням вимог до технологічного процесу.

7. Доцільність прийнятих рішень підтверджена відповідними техніко-економічними розрахунками. Річний економічний ефект від впровадження технологічної лінії обробки насіння електричним струмом перед посадкою у ґрунт складає 32443 грн. при терміні окупності 2,56 років

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Червінський Л. С. Романенко О. І. Електрофізичні методи передпосівної обробки насіння. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2013. Вип. 184. С. 137-144.
2. Wang, S., Wang, J. & Guo, Y. (2018). Microwave Irradiation Enhances the Germination Rate of Tartary Buckwheat and Content of Some Compounds in Its Sprouts. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 68(3), 195–205. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2017-0025>
3. Aladjadjyan A., Physical factors for plant growth stimulation improve food quality. 2012, 145-168. In Tech, Plovdiv, Bulgaria.
4. Carbonell M.V., Martinez E., Amaya J.M., Stimulation of germination in rice (*Oryza satival.*) by astatic magnetic field. Electro. Magnetobiol. Med., 2000, 19, 121-128.
5. Довженко О. Г., Постол Ю. О. Електротехнології в стимуляції проростання насіння. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (03-28 листопада 2025 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2025.
6. Богатирьов Ю. О, Кузнецов І. О. До питання удосконалення пристроїв передпосівної обробки насіння. // Енергетика і автоматика. 2014. № 3. С. 29-31
7. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві [Текст]: навчальний посібник для виклад. і студ. ф-тів механізації, електрифікації та автоматизації с.-г. вузів III-IV рівнів акредитації / О.С. Марченко, О.В. Дацішин, Ю.М. Лавріненко; За ред. О.С. Марченка. К.: Урожай, 1995.416 с.
8. Клименко Б. В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. Х.: «Точка», 2012. 340 с.
9. Nazarova, O., Osadchyu, V., Hutsol, T. et al. Mechatronic automatic control system of electropneumatic manipulator. Sci Rep 14, 6970 (2024).

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://doi.org/10.1038/s41598-024-56672-4>

10. Постол Ю. О., Добровенко І. Г. Огляд сучасного стану релейного захисту електричних мереж. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання. 2022. Вип. 12. том 3. С. 292-299. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/16598>
11. Зеркалов Д. В. Охорона праці в галузі: загальні вимоги : навчальний посібник. К. : Основа, 2011. 551 с.
12. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. Нова редакція. Станом на 21.07.2017 р. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
13. Основи охорони праці: Підручник. 21ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. К.: Основа, 2006. 448 с.
14. Зоря М.В., Євтушенко Г.О. Управління охороною праці в сучасних умовах розвитку аграрного сектору економіки Агроекологічні аспекти виробництва та переробки продукції сільського господарства : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Мелітополь-Кирилівка, 7-8 червня 2018 р.); <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/4431>
15. Пушкар, Т. (2021). ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ. Економіка та суспільство, (28). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-28-33>
16. Методичні рекомендації по виконанню 6 розділу дипломного проєкту «Техніко-економічна оцінка проєктних рішень» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Мелітополь, ТДАТУ, 2018. 15 с.
17. Коваленко О. І., Постол Ю. О. Виконання і захист кваліфікаційної роботи зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» : Методичний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. 113 с.

					21ЕЕД. 11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					21ЕЕД.11960625.02.26.000000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		