

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
В.о. завідувача кафедри

Олександр ЮРЧЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

на тему: «Підвищення ефективності врожайності за рахунок
обробки посівного матеріалу електромагнітними методами»

Виконав:

(підпис)

Артем МУКОРІЗ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:

ЕТЕС 2401-1м

Науковий керівник:

(підпис)

Олександр ЮРЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

(підпис)

Олена ДОВЖИК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
енергетики та
електротехнічних систем
Андрій ЧЕПІЖНИЙ
“5” вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу
Артему МУКОРІЗУ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. **Тема кваліфікаційної роботи:** Підвищення ефективності врожайності за рахунок обробки посівного матеріалу електромагнітними методами
2. **Керівник кваліфікаційної роботи:** Юрченко Олександр Юрійович, доктор філософії, доцент
3. **Строк подання здобувачем роботи:** «14» листопада 2025 року.
4. **Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:** довідникова література, посібники, наукові журнали за темою дослідження, монографії, статті наукових збірників, інтернет-джерела, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, характеристики електроенергетичного устаткування, методичні рекомендації до виконання кваліфікаційного проекту (роботи).
5. **Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):**
Вступ. Розділ 1. Аналіз електрофізичних методів передпосівної обробки посівного матеріалу. Розділ 2. Обґрунтування технології передпосівної обробки посівного матеріалу електромагнітним методом. Розділ 3. Дослідження впливу імпульсного електромагнітного поля на посівні якості насіння. Розділ 4. Охорона праці. Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування. Висновки. Список використаних джерел
6. **Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** Презентація

Керівник роботи

(підпис)

Олександр ЮРЧЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Артем МУКОРІЗ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «5» вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1. Аналіз електрофізичних методів передпосівної обробки посівного матеріалу»	до 30.08.2025р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2. Обґрунтування технології передпосівної обробки посівного матеріалу електромагнітним методом»	до 19.09.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3. Дослідження впливу імпульсного електромагнітного поля на посівні якості насіння»	до 03.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4. Охорона праці»	до 08.10.2025 р.	
9.	Підготовка розділу «Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування»	до 20.10.2025 р.	
10.	Написання висновків	до 25.10.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
13.	Подання до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи

(підпис)

Олександр ЮРЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

(підпис)

Артем МУКОРІЗ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Мукоріз Артем Ігорович «Підвищення ефективності врожайності за рахунок обробки посівного матеріалу електромагнітним методом».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» зі спеціальності 141 «Електроенергетика електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025, 61 с.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, стиску використаних джерел із 25 найменувань, додатків та ілюстративного матеріалу у вигляді презентації.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню процесів передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур імпульсним електромагнітним полем з метою підвищення ефективності його використання та врожайності. Актуальність теми зумовлена потребою у впровадженні екологічно безпечних, енергоощадних і високоефективних технологій у сільському господарстві, які дозволяють підвищити посівні якості насіння без застосування хімічних стимуляторів росту.

У роботі проведено аналітичний огляд існуючих електрофізичних методів передпосівної обробки насіння, таких як дія постійного електричного поля, коронного розряду, ультразвуку, лазерного та мікрохвильового випромінювання. Встановлено, що найбільш перспективним напрямом є використання імпульсного електромагнітного поля, яке поєднує високу стимулюючу дію на біологічні процеси насіння та знезаражувальний ефект, що забезпечує підвищення енергії проростання, схожості і стійкості рослин до стресових факторів середовища.

Розроблено технологічну схему установки для передпосівної обробки насіння в полі імпульсного електромагнітного випромінювання. Особливу увагу приділено моделюванню електричної частини системи – перетворювача

напруги, який формує імпульси з регульованими параметрами. Моделювання виконано у середовищі MATLAB/Simulink, що дозволило дослідити вплив змін ємності шару насіння, внутрішнього опору та напруги живлення на стабільність імпульсного поля. Результати моделювання показали, що використання PI-регуляторів та зворотного зв'язку за струмом і напругою забезпечує стабільне формування імпульсів із необхідною тривалістю, частотою та амплітудою, що гарантує рівномірність енергетичного впливу на насіннєвий матеріал.

Експериментальні дослідження проводилися на насінні озимої пшениці сорту Богдана. Визначено, що оптимальна напруженість електромагнітного поля для передпосівної обробки становить $10-15 \cdot 10^3$ В/м, при якій спостерігається підвищення енергії проростання до 29,4 %, а маси проростків – до 37,1 % порівняно з контрольним зразком. Виявлено суттєве зменшення ураженості насіння грибами роду *Rhizopus*, *Alternaria*, *Penicillium* та *Fusarium* – на 70-96 %, що підтверджує виражений знезаражувальний ефект дії імпульсного поля.

Отримані результати доводять, що імпульсна електромагнітна обробка сприяє активації ферментативних процесів, покращенню проникності клітинних мембран і прискоренню обміну речовин у зародку насіння. Це забезпечує більш дружні та рівномірні сходи, підвищує життєздатність рослин і стійкість до хвороб у початковий період росту.

Економічне обґрунтування показало, що впровадження розробленого електротехнологічного комплексу забезпечує економічний ефект близько 155 тис. грн на рік, а термін окупності становить менше одного року, що свідчить про високу рентабельність технології.

Ключові слова: імпульсне електромагнітне поле, передпосівна обробка насіння, електрофізичні методи, енергія проростання, схожість насіння, стимуляція росту, знезараження насіння, перетворювач напруги, MATLAB/Simulink, електротехнологічний комплекс, енергоефективність, врожайність, екологічна безпечність, сільське господарство.

ABSTRACT

Mukoriz Artem Igorovich «Increasing yield efficiency by treating seed material with an electromagnetic method».

Master's qualification thesis for obtaining the master's degree in electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics under the educational and professional program «Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics» in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025, 61 p.

The qualification thesis consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of 25 references, appendices, and illustrative material in the form of a presentation.

The diploma thesis is devoted to the study of pre-sowing treatment processes of agricultural crop seeds by means of a pulsed electromagnetic field to increase their efficiency and yield. The relevance of the topic is determined by the need to implement environmentally safe, energy-efficient, and highly productive technologies in agriculture, which make it possible to improve seed quality without using chemical growth stimulants.

The paper presents an analytical review of existing electrophysical methods of pre-sowing seed treatment, such as the action of a constant electric field, corona discharge, ultrasound, laser, and microwave radiation. It has been established that the most promising approach is the use of a pulsed electromagnetic field, which combines a strong stimulating effect on the biological processes of seeds and a disinfecting action, ensuring improved germination energy, seed viability, and plant resistance to environmental stress factors.

A technological scheme of an installation for pre-sowing treatment of seeds in a pulsed electromagnetic field has been developed. Special attention is paid to modeling the electrical part of the system – the voltage converter that generates pulses with adjustable parameters. Modeling was carried out in the MATLAB/Simulink environment, which made it possible to study the influence of

changes in the seed layer capacitance, internal resistance, and supply voltage on the stability of the electromagnetic field. The simulation results showed that the use of PI controllers and feedback by current and voltage ensures the stable formation of pulses with the required duration, frequency, and amplitude, providing uniform energy exposure to the seed material.

Experimental studies were performed on winter wheat seeds of the Bohdana variety. It was determined that the optimal field intensity for pre-sowing treatment is $10\text{--}15 \cdot 10^3$ V/m, under which the germination energy increased by 29.4%, and the seedling mass increased by 37.1% compared to the control sample. A significant reduction in seed contamination by fungi of the genera *Rhizopus*, *Alternaria*, *Penicillium*, and *Fusarium* – by 70–96% – was observed, confirming the pronounced disinfecting effect of the pulsed field.

The obtained results prove that pulsed electromagnetic treatment activates enzymatic processes, improves the permeability of cell membranes, and accelerates metabolic processes in the seed embryo. This ensures more uniform seedling emergence, enhances plant viability, and increases resistance to diseases at the early stages of growth.

Economic calculations demonstrated that the implementation of the developed electrotechnological complex provides an annual economic effect of about 155,000 UAH, with a payback period of less than one year, confirming the high cost-effectiveness of the technology.

Therefore, the results of this study are of great scientific and practical importance for agricultural production. The developed technology can be implemented in seed-processing enterprises and farms to improve crop yields, reduce chemical treatment costs, and promote the ecological modernization of agricultural technologies.

Keywords: pulsed electromagnetic field, pre-sowing seed treatment, electrophysical methods, germination energy, seed germination, growth stimulation, seed disinfection, voltage converter, MATLAB/Simulink, electrotechnological complex, energy efficiency, crop yield, environmental safety, agriculture.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ	12
1.1. Поняття та класифікація передпосівної обробки насіння	12
1.2. Основи електрофізичних методів обробки насіння	15
1.3. Вплив електричних полів на посівні та біологічні властивості насіння	16
1.4. Пристрої та установки для електрофізичної обробки насіння.....	18
1.5. Висновки до розділу	19
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ МЕТОДОМ	21
2.1. Вибір технології передпосівної обробки	21
2.2. Обґрунтування параметрів перетворювача напруги для обробки насіння.....	22
2.3. Дослідження роботи пристрою.....	24
2.4. Висновки до розділу	31
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ	33
3.1. Методика проведення досліджень	33
3.2. Обладнання для проведення експериментів	34
3.3. Результати дослідження впливу імпульсного електромагнітного поля на посівні якості пшениці.....	36
3.4. Вплив імпульсного магнітного поля на зараженість шкідниками і хворобами	43
3.5. Висновки до розділу	46
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	52
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

ВСТУП

1. Актуальність теми. Забезпечення високої врожайності сільськогосподарських культур є однією з ключових проблем сучасного агропромислового комплексу. У зв'язку зі зростанням потреб населення та обмеженими ресурсами підвищення ефективності використання насіння набуває особливої важливості. Одним із перспективних напрямів підвищення схожості та енергії росту насіння є його обробка електромагнітними методами, зокрема імпульсним електричним полем (ІЕП). Дослідження показують, що ІЕП здатне стимулювати фізіологічні процеси в насінні, підвищувати стійкість до стресових факторів та одночасно виконувати функцію знезараження від патогенів. Таким чином, розробка та впровадження технологій обробки посівного матеріалу імпульсним електричним полем має значний практичний та економічний потенціал.

2. Аналіз стану наукової розробки проблеми. Сучасні наукові дослідження у сфері електромагнітної обробки насіння свідчать про ефективність застосування імпульсних полів різної напруги та частоти. Вчені зазначають, що короткочасні імпульси високої напруги стимулюють метаболічні процеси у зародку насіння, покращують водопоглинання та підвищують енергію проростання. Проте існує обмежена кількість досліджень щодо оптимізації параметрів обробки для конкретних культур, зокрема пшениці, та розробки електричних схем установок для промислового застосування. Крім того, потребує вдосконалення методика експериментальної перевірки впливу ІЕП на посівні якості насіння, що визначає актуальність проведення даного дослідження.

3. Мета дослідження. Основна мета проведеного дослідження полягає у підвищенні продуктивності пшениці шляхом застосування імпульсного електромагнітного поля для передпосівної обробки насіння. Для досягнення цього завдання передбачено створення та експериментальне випробування

спеціалізованих електротехнічних установок, визначення раціональних параметрів обробки й аналіз їхнього впливу на посівні характеристики зерна..

4. Об'єкт дослідження – Процес дії імпульсного електричного поля на насіння пшениці та закономірності зміни їх фізіологічних і посівних показників під впливом цього фактору.

5. Предмет дослідження – Конструктивні та електричні схеми обладнання, параметри режимів впливу імпульсного електричного поля на насіння, а також особливості зміни енергії проростання й рівня схожості в результаті такого оброблення.

6. Завдання дослідження. Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі наукові кроки:

- здійснити огляд і критичний аналіз існуючих електрофізичних способів передпосівної обробки насіння;

- визначити основні енергетичні параметри роботи перетворювача напруги, обґрунтувати доцільні режими та параметри впливу на насінневий матеріал;

- провести серію лабораторних експериментів із дослідження впливу імпульсного електричного поля на посівні властивості зерна пшениці;

- за результатами дослідів виконати математичне моделювання із застосуванням регресійного аналізу для визначення оптимальних параметрів обробки залежно від амплітуди напруги, частоти, тривалості імпульсів, тривалості експозиції та вологості насіння;

- здійснити техніко-економічну оцінку ефективності впровадження установки, призначеної для стимулювальної та знезаражувальної передпосівної обробки зерна.

7. Методи дослідження. У роботі використано комплекс експериментальних, аналітичних і розрахункових методів, зокрема: визначення енергетичних характеристик перетворювача напруги, лабораторні дослідження насіння, статистичну обробку експериментальних

результатів, регресійне моделювання та техніко-економічний аналіз ефективності застосування розробленої установки.

8. Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 58 сторінок машинописного тексту, містить 18 рисунків, 5 таблиць, 25 найменувань у списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ

1.1. Поняття та класифікація передпосівної обробки насіння

Передпосівна обробка насіння є одним із ключових етапів агротехнологічного процесу, який значною мірою визначає схожість, енергію проростання та загальну врожайність сільськогосподарських культур. У сучасному сільському господарстві ефективність передпосівної обробки насіння безпосередньо впливає на забезпечення стабільного виробництва продовольчої продукції та оптимізацію ресурсів, включаючи землю, воду, добрива та енергію. Передпосівна обробка має на меті підвищити фізіологічні властивості насіння, прискорити проростання, стимулювати ростові процеси, підвищити стійкість до захворювань та шкідників, а також забезпечити рівномірний та дружний вихід сходів. Досягнення цих цілей сприяє підвищенню врожайності та покращенню якості продукції.

Методи передпосівної обробки насіння можна поділити на кілька великих груп залежно від фізико-хімічного або біологічного механізму впливу [1-5].

Механічні методи – включають очищення, калібрування та скарифікацію насіння. Ці операції забезпечують видалення пошкодженого та дрібного насіння, розрихлення поверхневих оболонок для покращення водопоглинання та полегшення проростання. Механічна обробка також сприяє підвищенню однорідності посівного матеріалу.

Термічні методи – включають обробку насіння гарячою водою, паром, прогрівання або загартування. Ці методи активують ферментативні процеси, стимулюють енергію проростання та можуть частково зменшувати патогенну мікрофлору. Недоліком є можливість перегріву насіння, що може призвести до зниження його схожості.

Хімічні методи – передбачають використання добрив, стимуляторів росту, фунгіцидів та інсектицидів. Такі обробки дозволяють підвищити стійкість насіння до хвороб, забезпечують додаткове живлення зародка та впливають на енергію проростання. Проте хімічна обробка потребує точного дозування та контролю безпеки.

Біологічні методи – включають обробку насіння мікроорганізмами-пробіотиками або біостимуляторами, що підвищують активність корисної мікрофлори та пригнічують патогенів. Ці методи є екологічно безпечними та сприяють природній стимуляції росту.

Електрофізичні методи – відносно новий та перспективний напрямок, який включає обробку насіння електричними, магнітними та електромагнітними полями. Основна дія електрофізичних методів полягає у стимуляції фізіологічних процесів у насінні, підвищенні енергії проростання, схожості та стійкості до стресових факторів. Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділяють імпульсним електричним полям (ІЕП), які здатні не тільки стимулювати проростання, але й виконувати знезаражувальну функцію.

Більш широка класифікація методів передпосівної обробки насіння наведена на рисунку 1.1 [1-5].

Електрофізичні методи займають особливе місце серед сучасних технологій передпосівної обробки, оскільки вони дозволяють поєднати стимулюючу та захисну дію без використання хімічних речовин, що робить їх екологічно безпечними та економічно ефективними. Дослідження показують, що оптимально підібрані параметри електричного поля – напруга, тривалість імпульсу, частота та експозиція – можуть значно підвищити схожість насіння та його енергію проростання, що, в свою чергу, позитивно впливає на врожайність сільськогосподарських культур.

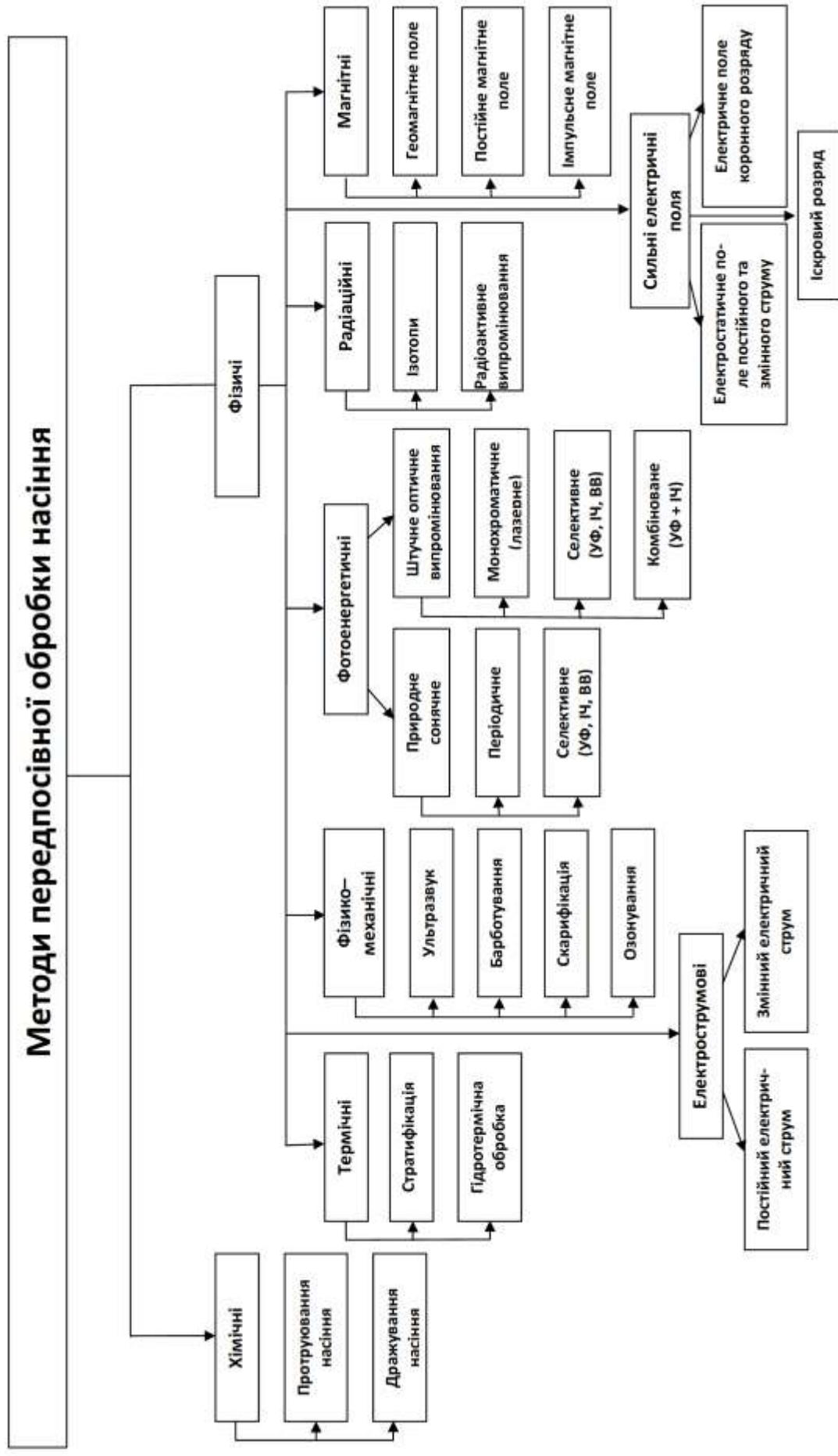


Рис. 1.1. – Методи та способи передпосівної обробки

Таким чином, передпосівна обробка насіння є комплексним процесом, який включає як традиційні методи (механічні, термічні, хімічні, біологічні), так і сучасні електрофізичні технології. Інтеграція новітніх методів обробки, зокрема обробки насіння імпульсним електричним полем, відкриває перспективи підвищення ефективності агротехнічних заходів, економії ресурсів та забезпечення стабільного рівня врожайності.

1.2. Основи електрофізичних методів обробки насіння

Електрофізичні методи обробки насіння є перспективним напрямом агротехнічних технологій, що передбачає використання фізичних полів для впливу на біологічні процеси в насінні. До таких методів відносять застосування електричних, магнітних та електромагнітних полів різного типу, що дозволяє стимулювати проростання, підвищити енергію проростання та схожість насіння, а також зменшити мікробіологічне забруднення.

Електричні та магнітні поля спричиняють зміни в фізико-хімічних процесах клітин насіння, зокрема підвищують проникність клітинних мембран, що покращує водопоглинання та активує ферментативні процеси, необхідні для проростання. Так, дослідження показали, що обробка насіння постійним магнітним полем з індукцією до 0,01 Тл призводить до підвищення схожості та енергії проростання зернових культур [6].

Електромагнітні поля, зокрема в радіочастотному та міліметровому діапазонах, застосовуються для стимуляції фізіологічної активності насіння. Наприклад, обробка насіння мікрохвильовим полем сприяє збереженню поживних речовин і підвищує врожайність рослин [7]. Крім того, імпульсні електричні поля (ІЕП) дозволяють поєднати стимулюючий та знезаражувальний ефект, підвищуючи енергію проростання та схожість насіння при одночасному зниженні патогенної мікрофлори [8].

Перевагою електрофізичних методів є їх екологічна безпечність, оскільки вони не потребують використання хімічних речовин, та можливість точного контролю параметрів обробки, що дозволяє оптимізувати процеси стимуляції росту. Водночас застосування цих методів потребує спеціалізованого обладнання для генерації та контролю полів високої інтенсивності, а неконтрольоване використання може негативно вплинути на насіння [9].

Подальший розвиток електрофізичних методів спрямований на вдосконалення технологій та обладнання, вивчення впливу різних типів полів на насіння різних культур та оптимізацію параметрів обробки для досягнення максимального стимулюючого ефекту при мінімальних витратах енергії. Сучасні дослідження підтверджують ефективність застосування сильних електричних полів для підвищення посівних якостей насіння, що робить цей напрям перспективним для широкого впровадження в агропромислове виробництво [5].

1.3. Вплив електричних полів на посівні та біологічні властивості насіння

Електричні поля впливають на насіння на фізіологічному, біохімічному та структурному рівнях. Вони здатні стимулювати внутрішньоклітинні процеси, підвищувати проникність мембран клітин, що полегшує всмоктування води та поживних речовин. Це, в свою чергу, прискорює стартові стадії проростання та покращує енергію проростання, що є одним із ключових показників посівних якостей. Особливо ефективним є використання імпульсних електричних полів, які можуть короткочасно змінювати електричний потенціал клітин, стимулюючи активність ферментних систем, що відповідають за мобілізацію запасних речовин насіння, таких як крохмаль, білки та жири.

Обробка насіння електричними полями також чинить стимулюючий вплив на фізіологічні процеси зародка. Поля підвищують швидкість метаболізму та активність дихальних ферментів, що забезпечує швидке нарощування енергії, необхідної для проростання. Крім того, електричні поля можуть змінювати внутрішньоклітинну структуру, сприяючи більш рівномірному розвитку кореневої системи та проростків, що підвищує стійкість рослин до стресових факторів, таких як посуха, низькі або високі температури, нестача поживних речовин у ґрунті.

Важливим аспектом електричної обробки є її здатність забезпечувати знезаражувальний ефект. Потужні імпульсні поля руйнують мембрани патогенних мікроорганізмів, що значно знижує їх життєздатність та зменшує ризик розвитку хвороб у проростках. Це дозволяє зменшити застосування хімічних протруйників та стимулює екологічно чисті технології в агровиробництві.

Ефективність електричної обробки залежить від багатьох параметрів, серед яких напруга, тривалість та частота імпульсів, експозиція обробки та вологість насіння. Оптимальний підбір цих параметрів дозволяє максимізувати стимулюючий ефект і уникнути пошкодження насіння. Надмірна інтенсивність або тривала дія поля може негативно впливати на клітинні структури, знижуючи схожість та проростання.

Таким чином, обробка насіння електричними полями є комплексним методом, що поєднує стимуляцію фізіологічної активності, знезараження та покращення структурних характеристик насіння. Це забезпечує підвищення посівних якостей, дружності проростання та стійкості рослин до негативних факторів зовнішнього середовища, що робить даний метод перспективним для широкого впровадження в агропромислове виробництво та передпосівну підготовку насіння різних сільськогосподарських культур..

1.4. Пристрої та установки для електрофізичної обробки насіння

Електрофізичні методи обробки насіння передбачають застосування спеціалізованих установок, які створюють електричні поля або імпульси для покращення посівних та біологічних властивостей насіння. Серед таких установок відомі системи обробки насіння в полі коронного розряду, міліметровим хвильовим випромінюванням, а також установки з постійним електричним полем. Обробка насіння в полі коронного розряду забезпечує ефективне знезараження та стимуляцію проростання за рахунок високої напруги, що досягає 30 кВ, і частоти імпульсів 50–60 Гц. Продуктивність таких установок складає до 100 кг насіння на годину, при цьому енергоспоживання на одну тону обробленого насіння становить 2–3 кВт·год.

Пристрої для передпосівної обробки, що інтегруються з протруювачами насіння, працюють при більш низьких напругах 5–10 кВ і дозволяють регулювати частоту імпульсів залежно від виду насіння. Продуктивність таких систем досягає 50 кг насіння на годину, що робить їх зручними для малих та середніх господарств. Установки, які використовують міліметрове хвильове випромінювання в діапазоні 30–300 ГГц з потужністю до 1 Вт, забезпечують високоефективну обробку до 200 кг насіння на годину та сприяють покращенню фізіологічних і біохімічних властивостей насіння.

Системи обробки насіння постійним електричним полем з напругою 1–5 кВ працюють безперервно та дозволяють обробляти до 150 кг насіння за годину. Вони стимулюють фізіологічні процеси, покращують посівні якості та підвищують стійкість проростків до несприятливих умов навколишнього середовища. Порівняльний аналіз показує, що найбільш перспективним методом є обробка насіння в електромагнітному полі імпульсного типу, оскільки цей метод поєднує високу стимуляцію проростання, знезаражувальний ефект і можливість регулювання параметрів обробки залежно від виду та стану насіння.

Порівняльна характеристика ефективності методів передпосівної обробки наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Порівняння ефективності різних методів електрофізичної обробки насіння

Метод обробки	Напруга / Потужність	Частота / Тип імпульсу	Продуктивність, кг/год	Енергоспоживання кВт·год/т	Основні ефекти
Поле коронного розряду	до 30 кВ	50–60 Гц	100	2–3	Знезараження, стимуляція проростання
Електричний пристрій на протруювачі	5–10 кВ	регульована	50	1,5–2	Стимуляція проростання, покращення схожості
Міліметрове хвильове випромінювання	1 Вт	30–300 ГГц	200	1–2	Покращення фізіологічних і біохімічних властивостей
Постійне електричне поле	1–5 кВ	постійне	150	1–1,5	Стимуляція фізіології, підвищення стійкості проростків
Імпульсне електромагнітне поле	до 30 кВ	імпульсне	150–200	2–3	Оптимальна стимуляція проростання, знезараження, регульовані параметри

1.5. Висновки до розділу

У ході аналізу електрофізичних методів передпосівної обробки насіння встановлено, що використання різних видів електричних полів та імпульсного випромінювання здатне значно покращувати посівні та біологічні властивості насіння. Обробка насіння у полі коронного розряду дозволяє ефективно знезаражувати насіння та стимулювати проростання, тоді як пристрої з постійним електричним полем сприяють стимуляції фізіологічних процесів і підвищенню стійкості проростків до несприятливих умов зовнішнього середовища. Використання міліметрового хвильового

випромінювання надає додатковий ефект у вигляді покращення фізіологічних та біохімічних властивостей насіння.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ МЕТОДОМ

2.1. Вибір технології передпосівної обробки

Передпосівна обробка насіння є одним із ключових етапів агротехнологічного процесу, що безпосередньо впливає на енергію проростання, схожість та майбутню врожайність. Традиційні методи включають протруювання хімічними препаратами, термічну обробку або замочування, проте вони не завжди забезпечують максимальний ефект і часто мають негативний вплив на екологічний стан ґрунту та навколишнє середовище. У зв'язку з цим сучасні дослідження активно розглядають фізичні методи обробки, зокрема електрофізичні, які дозволяють поєднати стимулюючий та знезаражувальний ефект без застосування агресивних хімічних засобів.

Обробка насіння імпульсним електричним полем забезпечує комплексну дію на клітинні та субклітинні структури насіння. Імпульсне електромагнітне поле впливає на проникність клітинних мембран, підвищує активність ферментних систем та прискорює обмін речовин у зародку, що забезпечує швидке та дружнє проростання. Крім того, електромагнітне поле чинить знезаражувальний ефект, знижуючи життєздатність патогенних мікроорганізмів на поверхні насіння та зменшуючи ризик розвитку хвороб у рослин на ранніх етапах росту.

При виборі технології передпосівної обробки важливо враховувати параметри обробки, такі як напруга та інтенсивність імпульсів, тривалість дії, частота повторення імпульсів, вологість та маса оброблюваного насіння. Рациональне поєднання цих параметрів дозволяє досягти максимального стимулюючого ефекту без пошкодження клітин насіння. Ефективність

технології також залежить від конструкції установки, яка повинна забезпечувати рівномірний розподіл електричного поля по всьому об'єму насіння, що обробляється, а також мати належний рівень енергетичної безпеки для оператора.

Використання передпосівної обробки імпульсним електромагнітним полем дозволяє значно підвищити якість насіння та забезпечити стабільний розвиток рослин, що особливо важливо для зернових культур, таких як пшениця, ячмінь та кукурудза. Технологія також має потенціал для зменшення витрат на протруювання хімікатами та зниження негативного впливу на екологію, що робить її перспективною для широкого впровадження у сучасні агротехнології.

Таким чином, передпосівна обробка насіння імпульсним електромагнітним полем обґрунтована як ефективний та екологічно безпечний метод стимуляції проростання, знезараження та підвищення посівних якостей насіння, який може бути адаптований під різні види сільськогосподарських культур та масштаб виробництва..

2.2. Обґрунтування параметрів перетворювача напруги для обробки насіння

На рисунку 2.10 представлено блок-схему перетворювача напруги для установки передпосівної обробки насіння. Схема включає початковий стабілізатор змінного струму (СС), після якого підключено власне перетворювач. Основними елементами перетворювача є джерело високої напруги (ДВН), інвертор напруги (ІН), датчики струму і напруги (ДС і ДН) та блок управління (БУ). Вихід ДВН підключений до інвертора, який через датчик струму ДС живить робочу камеру (РК), де здійснюється обробка насіння. Контроль напруги в камері здійснює датчик ДН, а обидва датчики передають дані до блоку управління, що забезпечує автоматичне

регулювання роботи перетворювача відповідно до встановлених оператором параметрів.

Функціонування установки відбувається таким чином. Після ввімкнення живлення напруга надходить на стабілізатор СС, який забезпечує плавне та безступеневе регулювання вихідного значення напруги в межах, заданих блоком управління. Додатково стабілізатор компенсує комутаційні перебої електропостачання, запобігає перенапругам і різким стрибкам струму, що підвищує стабільність і надійність роботи перетворювача під час обробки насіння.

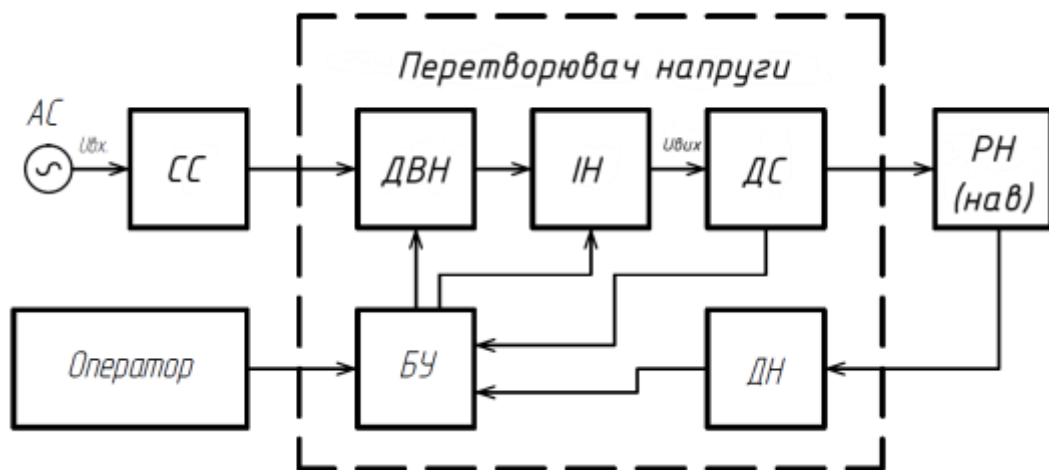


Рис. 2.1. Структурна схема перетворювача напруги

Після стабілізації змінної напруги в стабілізаторі, електрична енергія подається на джерело високої напруги (ДВН), де відбувається її перетворення в постійну напругу з заданою амплітудою впливу. Значення амплітуди контролюється блоком управління (БУ), який формує команди для підтримання точного рівня енергії. Джерело ДВН реалізоване за принципом імпульсного перетворення напруги, що дозволяє отримувати стабільні високовольтні сигнали для подальшої обробки. Вихід ДВН підключений до інвертора напруги (ІН), який забезпечує формування високовольтних імпульсів на основі постійної напруги від джерела.

Блок управління БУ генерує команди для включення інвертора на визначену тривалість кожного імпульсу, тим самим забезпечуючи точне управління формою і тривалістю високовольтних сигналів. Сформовані імпульси через датчик струму ДС подаються на електроди робочої камери (РК), де відбувається безпосередня обробка насіння.

БУ постійно моніторить параметри процесу, отримуючи інформацію від датчиків: датчик струму ДС фіксує споживання електроенергії робочою камерою, а датчик напруги ДН вимірює потенціал, прикладений до електродів. На основі цих даних БУ обчислює необхідний рівень енергії, що передається навантаженню, і коригує параметри імпульсів для підтримання стабільності процесу незалежно від змін зовнішніх умов.

Регулювання здійснюється шляхом зміни трьох ключових параметрів: амплітуди напруги, тривалості імпульсу та частоти слідування. Амплітуда передається БУ в джерело високої напруги ДВН, а тривалість і частота імпульсів реалізуються через інвертор ІН під керуванням БУ. Така конфігурація забезпечує наявність зворотного зв'язку за струмом споживання та напругою, прикладеною до електродів робочої камери, що гарантує точне та стабільне енергетичне впливання на оброблюваний матеріал.

2.3. Дослідження роботи пристрою

Для підтвердження коректності вибраного технічного рішення при створенні перетворювача напруги, призначеного для дії імпульсного електричного поля на насіння, було виконано комп'ютерне моделювання в програмному комплексі MATLAB/Simulink [4, 12].

Силову частину пристрою, зокрема інвертор (ІН), у моделі подано у спрощеній формі, тоді як блок стабілізації напруги та джерело високої напруги (ДВН) не враховані через обмеження функціоналу програмного середовища.

Спрощена структурна модель перетворювача. Вона складається з кількох основних функціональних елементів:

- Блок керування, який забезпечує роботу системи за допомогою PI-регуляторів і логічних компонентів:
- *PID U* – PI-регулятор напруги, що підтримує стабільне середнє значення напруги на навантаженні. Диференційну складову виключено, аби спростити алгоритм керування та зменшити вплив високочастотних коливань;
- *PID I* – PI-регулятор струму, який контролює величину струму, споживаного робочою камерою. Відсутність диференційної частини дозволяє уникнути різких стрибків при короткочасних перевантаженнях;
- *Const* – блок завдання середнього рівня напруги, який визначає імпульсну дію протягом періоду та забезпечує стабільність електричного впливу на шар насіння;
- *ADD* – сумуючі вузли, що виконують арифметичні операції складання сигналів для формування керуючих дій на силові ключі;
- *Relay ma Integer to Bit Converter* – елементи, які перетворюють аналогові дані у цифрові сигнали, сумісні з силовою частиною системи, та реалізують логічне керування ключами;
- *S – R Flip – Flop i Not* – логічні модулі, відповідальні за формування сигналів увімкнення та вимкнення силових елементів інвертора відповідно до команд блоку управління.

Алгоритм роботи блоку управління полягає в наступному: PI-регулятори постійно порівнюють фактичні значення напруги та струму, отримані від датчиків, з заданими величинами. На основі розрахованої похибки формуються керуючі сигнали, які через логічні блоки та перетворювачі типів даних перетворюються у команди для силових ключів інвертора. Це забезпечує стабільне формування високовольтних імпульсів заданої амплітуди, тривалості та частоти слідування.

До системи регулювання включено два незалежні контури:

- *Gain 1* виконує функцію зворотного зв'язку за напругою, забезпечуючи стабільність її середнього рівня;
- *Gain 2* відповідає за контроль струму в навантаженні, формуючи сигнал корекції для підтримання заданого режиму роботи.

Силова частина перетворювача.

Основними елементами силового кола є *IGBT* та *IGBT3*, які працюють як ключові напівпровідникові елементи комутації. Джерелом живлення моделі виступає комбінація блоків *AC 230V*, *Universal Bridge* та конденсатора *C*, що забезпечують формування необхідного рівня напруги для подальшого перетворення.

Підсистема вимірювання.

Для контролю електричних параметрів у моделі реалізовано датчики:

- *Voltage Measurement 1* і *Voltage Measurement 2* здійснюють реєстрацію напруги у різних точках схеми;
- *Current Measurement* контролює миттєві значення струму у колі навантаження.

Еквівалентна модель шару насіння.

Модель заміщення оброблюваного об'єму насіння представлена сукупністю електричних параметрів:

- R_k – характеризує опір контактів між електродами й насінням;
- R_s – поверхневий опір оболонки насіння;
- R_v – об'ємний внутрішній опір зерна;
- C_v – ємність, що відображає поляризаційні властивості внутрішнього середовища насіння.

Візуалізація електричних процесів здійснюється за допомогою віртуального осцилографа *Scope*, який відображає часові залежності напруги та струму.

Оцінка роботи моделі.

Розроблена модель дає змогу аналізувати перехідні процеси у перетворювачі, перевіряти ефективність роботи регуляторів, досліджувати взаємодію між системою керування та силовою частиною, а також підбирати оптимальні параметри імпульсного впливу для підвищення результативності передпосівної обробки зерна.

Під час встановлення середнього значення напруги на насінневу шарі за допомогою блоку *Const* формується імпульсне електричне поле, що діє на елементи еквівалентної схеми (R_k , R_s , R_v , C_v). Його створює силовий модуль перетворювача, побудований на елементах *IGBT – IGBT3*, *AC 230V*, *Universal Bridge* та *C*.

Основні параметри імпульсів – частота, амплітуда та тривалість – задаються системою керування, що включає блоки *PID U*, *PID I*, *Const*, *ADD*, *Relay* та *Integer to Bit Converter*, які реалізують автоматичне регулювання режиму електричної дії. Динаміка процесу полягає у безперервному контролі та корекції імпульсів на основі сигналів з датчиків. При зміні ємності шару C_v або внутрішнього опору R_v , датчик струму (*Current Measurement*) та датчики напруги (*Voltage Measurement*, *Voltage Measurement 2*) через контури зворотного зв'язку (*Gain 1* і *Gain 2*) передають у блок управління актуальні значення електричних параметрів. Блок управління розраховує похибку між заданим значенням середньої напруги та фактичними параметрами, після чого PI-регулятори *PID U* і *PID I* формують коригувальні сигнали.

Ці сигнали змінюють тривалість та частоту наступних імпульсів, забезпечуючи підтримку стабільного енергетичного впливу на насіння незалежно від коливань C_v і R_v . Таким чином, регулятори автоматично компенсують зміни електричних характеристик шару насіння, що дозволяє забезпечити постійність прикладеного імпульсного поля та оптимальні умови передпосівної обробки.

Ілюстрацією роботи системи служать рисунки 2.3–2.6. На рисунку 2.3 наведено діаграми стабільного режиму при параметрах: $Const = 100 \text{ В}$, $C_v = 2000 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$.

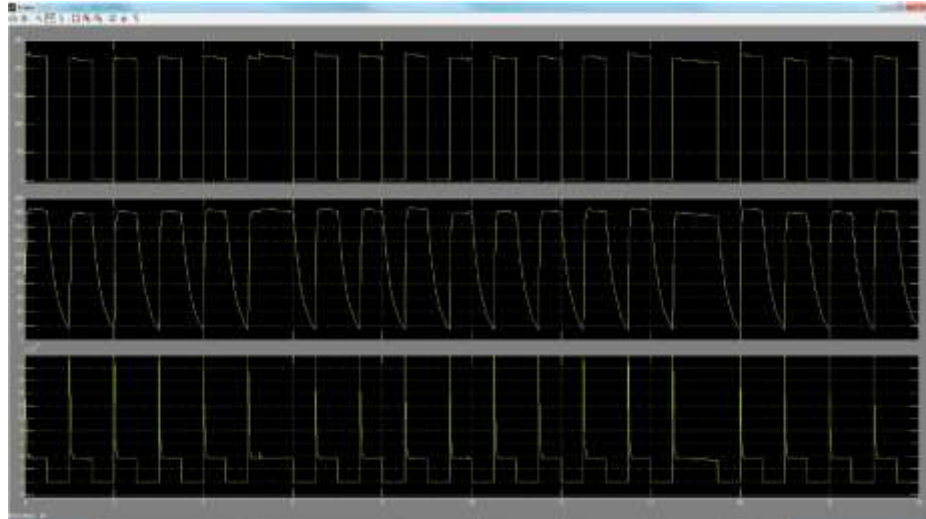


Рис. 2.3. Графічне представлення залежностей напруги та струму за встановлених параметрів $Const = 100 \text{ В}$, $C_v = 2000 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$:

перший графік – вихідна напруга перетворювача; другий – потенціал, прикладений до внутрішньої ємності насінневого шару; третій – струм, який споживає шар насіння під час дії імпульсного електричного поля

На основі цих діаграм можна оцінити швидкість стабілізації струму та напруги, а також ефективність регулювання PI-регуляторів при зміні електричних характеристик шару насіння.

На рисунку 2.4 наведено діаграми стабільного режиму роботи перетворювача для параметрів $Const = 50 \text{ В}$, $C_v = 2000 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$. На основі цих діаграм спостерігаються зміни частоти імпульсів при зміні значення середньої напруги, заданої блоком $Const$.

Це демонструє, що зменшення амплітуди задавальної напруги впливає на параметри формованих імпульсів, а блок управління коригує тривалість і частоту сигналів, підтримуючи необхідну енергію впливу на шар насіння та стабільність електричних характеристик процесу.

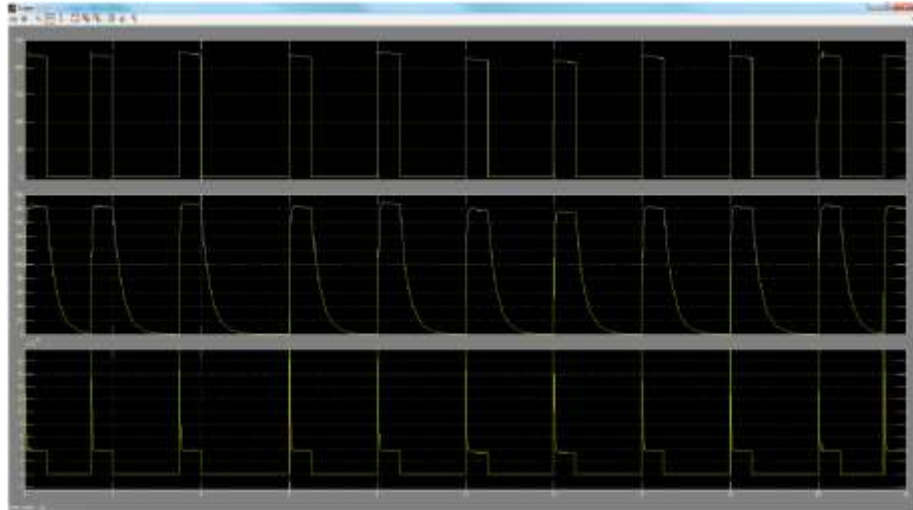


Рис. 2.4. Графічне представлення залежностей напруги та струму за встановлених параметрів $Const = 50 \text{ В}$, $C_v = 2000 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$: перший графік – вихідна напруга перетворювача; другий – потенціал, прикладений до внутрішньої ємності насінневого шару; третій – струм, який споживає шар насіння під час дії імпульсного електричного поля

На рисунку 2.5 наведено діаграми стабільного режиму роботи перетворювача для параметрів $Const = 50 \text{ В}$, $C_v = 800 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$. Зменшення ємності шару зерна C_v призвело до збільшення частоти та тривалості імпульсів, що формуються силовою частиною перетворювача.

На рис. 2.6 показано діаграми стабільного режиму для $Const = 50 \text{ В}$, $C_v = 4000 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$. При збільшенні ємності C_v до 4000 нФ зростає час розряду шару насіння, що призводить до зменшення тривалості та частоти імпульсів.

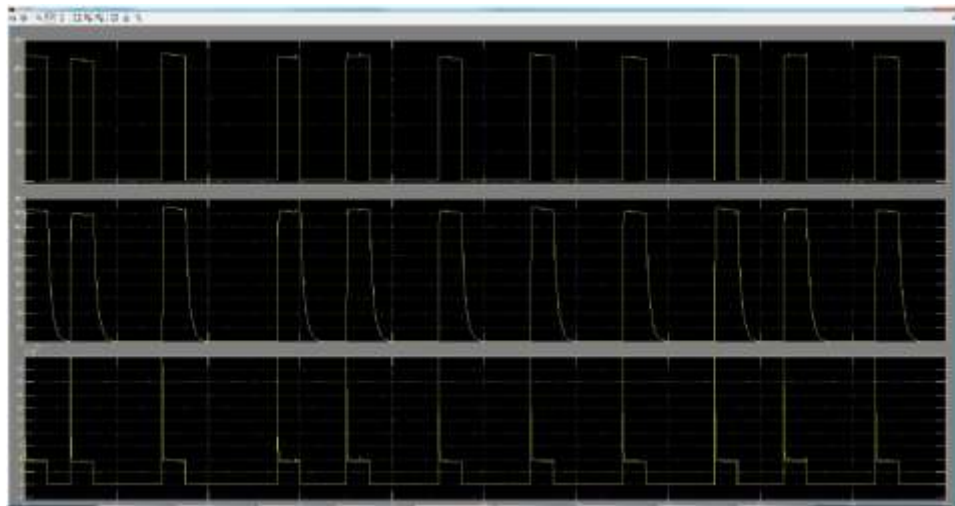


Рис. 2.5. Графічне представлення залежностей напруги та струму за встановлених параметрів $Const = 50 \text{ В}$, $C_v = 800 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$:

перший графік – вихідна напруга перетворювача; другий – потенціал, прикладений до внутрішньої ємності насінневого шару; третій – струм, який споживає шар насіння під час дії імпульсного електричного поля

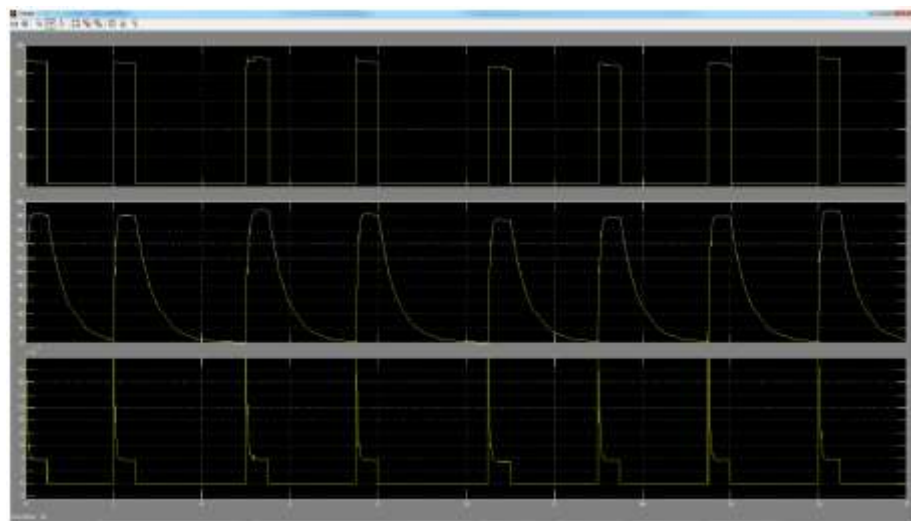


Рис. 2.6. Графічне представлення залежностей напруги та струму за встановлених параметрів для $Const = 50 \text{ В}$, $C_v = 4000 \text{ нФ}$, $R_v = 100 \text{ кОм}$:

перший графік – вихідна напруга перетворювача; другий – потенціал, прикладений до внутрішньої ємності насінневого шару; третій – струм, який споживає шар насіння під час дії імпульсного електричного поля

Порівняння осцилограм сталого режиму роботи перетворювача при різних значеннях ємності насінневого шару

($C_v = 800 \text{ нФ}$, 2000 нФ , 4000 нФ) свідчить про істотний вплив цього параметра на характеристики імпульсного електричного поля. Зменшення ємності шару до $C_v = 800 \text{ нФ}$ спричиняє підвищення частоти та подовження тривалості імпульсів, що формуються силовим каскадом перетворювача, а також збільшення струму, який споживається насінням. За середнього значення ємності ($C_v = 2000 \text{ нФ}$) спостерігається найбільш стабільний режим функціонування системи з раціональними параметрами імпульсної дії. Подальше зростання ємності до $C_v = 4000 \text{ нФ}$ веде до збільшення часу розряду шару, що зумовлює зменшення частоти та тривалості імпульсів, одночасно знижуючи величину споживаного струму.

Система керування перетворювачем, отримуючи сигнали від датчиків напруги та струму через зворотні контури й PI-регулятори, здійснює автоматичну адаптацію параметрів – змінює тривалість і частоту наступних імпульсів, забезпечуючи сталість енергетичного впливу на насіння незалежно від варіацій ємності шару. Це підтверджує результативність алгоритму регулювання та здатність перетворювача підтримувати оптимальні умови передпосівної обробки за різних електрофізичних властивостей насіннєвого матеріалу.

2.4. Висновки до розділу

Передпосівна обробка насіння імпульсним електромагнітним полем є ефективним та екологічно безпечним методом стимуляції проростання, знезараження та підвищення посівних якостей зернових. Дана технологія дозволяє активізувати ферментні системи зародка, підвищити проникність клітинних мембран, прискорити обмін речовин та зменшити життєздатність патогенних мікроорганізмів. Використання даного методу сприяє стабільному розвитку рослин, особливо для зернових культур, та зменшує потребу у хімічній обробці, що позитивно впливає на екологічний стан ґрунту.

Перетворювач напруги для передпосівної обробки зернових забезпечує стабільне формування високовольтних імпульсів із заданою амплітудою, тривалістю та частотою. Використання стабілізатора змінного струму та блоку управління дозволяє компенсувати комутаційні перешкоди, перенапруги та стрибки струму, що підвищує надійність і точність роботи установки. Впровадження зворотного зв'язку за струмом і напругою гарантує рівномірне енергетичне впливання на шар насіння.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ

3.1. Методика проведення досліджень

Дослідження впливу режимів дії імпульсного електричного поля на посівні властивості насіння озимої пшениці сорту «Богдана» здійснювалися у лабораторних умовах приватного підприємства «Аграрні інвестиції» (Шосткинський район).

Оцінювання енергії проростання та схожості насіння проводилося згідно з вимогами ДСТУ 12038-84, тоді як визначення вологості виконувалося за методикою, передбаченою ГОСТ 13586.5-2015. Одним із важливих критеріїв оцінювання впливу імпульсного поля виступала вегетативна маса проростків, що фіксувалася під час підрахунку схожості. Зважування зразків проводили з точністю до 0,01 г, що забезпечувало високу достовірність експериментальних результатів.

Пророщування насіння здійснювали на фільтрувальному ложі у чашках Петрі, із чотирикратною повторністю, по 50 насінин у кожному варіанті. Під час впливу імпульсного електричного поля насіння рівномірно заповнювало простір між електродами робочої камери (рис. 3.1), що повністю усувало утворення повітряних проміжків і забезпечувало однакові умови електричного впливу.



Рис. 3.1. Загальний вид робочої камери для обробки насіння

У ході експерименту досліджувалася залежність основних посівних показників від напруженості електричного поля по товщині шару насіння, яка змінювалася в межах $0-15 \cdot 10^3 \text{ В/м}$ із кроком $2,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}$.

Оброблення зерна пшениці «Богдана» імпульсним електричним полем здійснювалося за різних рівнів напруги, яка була прикладена до електродів: 0 В (контроль), 50 В, 100 В, 200 В, 250 В та 300 В.

Величина шару зерна в робочій камері становила $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, що відповідало зміні напруженості електричного поля в межах $2,5 \cdot 10^3 - 15 \cdot 10^3 \text{ В/м}$ із інтервалом $2,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}$ між сусідніми режимами.

Тривалість окремого імпульсу складала 40 мкс, а частота їх повторення дорівнювала 600 Гц. Загальний час впливу електричного поля на насіннєвий матеріал становив 4 с. Після завершення оброблення насіння витримували у спокої три доби перед подальшим закладанням на пророщування для стабілізації фізіологічного стану.

3.2. Обладнання для проведення експериментів

Для аналізу електричних параметрів перетворювача було застосовано комплекс сучасних вимірювальних приладів і лабораторного обладнання, що забезпечує високоточні дослідження.

Цифровий імпеданс-метр НІОКІ ІМ3570 (рис. 3.2.) та мультиметри типу Fluke 115 (рис. 3.3.) забезпечували точне визначення електричних параметрів.



Рис. 3.2. Імпеданс-метр



Рис. 3.3. Мультиметр типу

НІОКІ ІМ3570

Fluke 115

Універсальний цифровий ваттметр Kyoritsu 6306 (рис. 3.4.) і осцилограф Rigol DS1054Z (рис. 3.5) дозволяли спостерігати форму сигналів і динаміку зміни напруги та струму під час роботи установки.



Рис. 3.4. Ваттметр Kyoritsu 6306



Рис. 3.5. Осцилограф Rigol DS1054Z

Високовольтний подільник напруги забезпечував контроль великих потенціалів, а штангенциркуль з точністю 0,05 мм (Mitutoyo 500-196) використовувався для вимірювання геометричних параметрів елементів установки.

Для контролю фізико-хімічних властивостей насіння застосовували вологомір зерна типу Kett PM-450 (рис. 3.6.), термометр цифровий Testo 110 (рис. 3.7).

Рис. 3.6. Вологомір зерна типу
Kett PM-450Рис. 3.7. Термометр цифровий
Testo 110

Точні лабораторні ваги Sartorius BP 3100S (рис. 3.8) забезпечували контроль маси зразків. Камера для пророщування зерна забезпечувала стандартизовані умови для оцінки схожості та енергії проростання. Такий комплекс обладнання дозволяв всебічно оцінити роботу перетворювача та ефективність імпульсного електричного поля на посівні якості насіння.



Рис. 3.8. Лабораторні ваги Sartorius BP 3100S

3.3. Результати дослідження впливу імпульсного електромагнітного поля на посівні якості пшениці

Результати експериментального вивчення впливу імпульсного електромагнітного поля на посівні характеристики насіння озимої пшениці сорту «Богдана» подано в таблиці 3.1.

У контрольному зразку енергія проростання становила 61,9 %. У дослідних варіантах, коли напруженість електричного поля в шарі насіння змінювалася в межах $2,5 - 15,0 \cdot 10^3$ В/м, спостерігалось поступове зростання цього показника відносно контролю на 4,2; 10,5; 25,0; 29,2; 29,4 та 28,5 % відповідно.

Подальше підвищення напруги, прикладеної до електродів робочої камери, не призводило до помітного покращення результатів. При рівнях

200 В і 250 В енергія проростання досягала 80 % і 80,1 %, а при 300 В – дещо знижувалася до 79,5 %, тобто різниця між окремими дослідями була статистично незначною.

Схожість насіння у контрольному варіанті становила 97,0 %. Найвищі значення цього показника зафіксовано при дії імпульсного електричного поля з напруженістю 10,0; 12,5 та 15,0·10³ В/м, де рівень схожості перевищував контроль на 2,1; 2,0 та 2,1 % відповідно.

Крім того, маса одного проростка у цих дослідних режимах була більшою за контрольну відповідно на 37,1; 31,5 та 35,5 %, що свідчить про виражений стимулюючий ефект імпульсного електромагнітного поля на ріст і розвиток рослинного матеріалу.

Таблиця 3.1. Результати дослідження впливу імпульсного електромагнітного поля на посівні якості озимої пшениці сорту Богдана

Напруга, В	Напруженість у шарі насіння, В/м (10 ³)	Енергія проростання, %	Схожість, %	Маса проростка, кг·10 ⁻⁵	Доза впливу, В·с/м
0	0	61,9 (100,0)	97,0 (100,0)	2,48 (100,0)	0
50	2,5	64,5 (104,2)	98,3 (101,3)	2,56 (103,2)	240
100	5,0	68,4 (110,5)	98,7 (101,8)	2,72 (109,7)	480
150	7,5	77,4 (125,0)	98,8 (101,9)	2,72 (109,7)	720
200	10,0	80,0 (129,2)	99,0 (102,1)	3,40 (137,1)	960
250	12,5	80,1 (129,4)	98,9 (102,0)	3,26 (131,5)	1200
300	15,0	79,5 (128,4)	99,0 (102,1)	3,36 (135,5)	1440

Примітки:

- значення у дужках наведено відносно контрольного варіанту (0 В);
- енергія проростання та маса проростка наведені у стандартних фізичних одиницях, переведені для порівняння;
- доза впливу обчислювалася як добуток напруженості електричного поля на тривалість імпульсу та час обробки.

Аналіз експериментальних даних засвідчив, що дія імпульсного електричного поля як фізичного чинника виявлялася найбільш виразно на початкових етапах проростання насіння. Зокрема, енергія проростання у дослідних зразках перевищувала контрольні показники на 4,2–29,4 %, тоді як схожість підвищувалася лише в межах 1,3–2,1 % (див. табл. 3.1).

Подібна динаміка пояснюється тим, що вихідне насіння озимої пшениці контрольного варіанта вже характеризувалося високими посівними властивостями – його схожість становила 97,0 %, що зменшувало можливість суттєвого покращення цього параметра під впливом поля.

У зв'язку з цим, крім енергії проростання та схожості, додатково визначали середню масу проростків для кожного варіанта під час підрахунку схожості, оскільки проростки істотно відрізнялися як від контрольних, так і між собою у дослідних серіях.

Результати дослідження показали, що за тривалості імпульсу 40 мкс найбільш ефективною виявилася обробка насіння при напрузі на електродах 200–300 В, що відповідає напруженості електричного поля $10–15 \cdot 10^3$ В/м у шарі насіння.

Для кількісного оцінювання взаємозв'язку між напруженістю імпульсного електричного поля (ІЕП) і енергією проростання було проведено кореляційний аналіз. Отримані коефіцієнти кореляції (p_{00}, p_{10}, p_{01}) виявилися статистично достовірними з ймовірністю 95 %, що підтверджує наявність тісного функціонального зв'язку між досліджуваними величинами.

Апроксимацію експериментальних результатів виконували за допомогою поліноміальної функції у середовищі MATLAB, що дало змогу побудувати рівняння регресії, яке описує залежність енергії проростання насіння озимої пшениці від прикладеної напруги та інтенсивності імпульсного електричного поля:

$$f(x,y) = p_{00} + p_{10} \cdot x + p_{01} \cdot y \quad (3.1)$$

де x – напруга на електродах, В;

y – енергія проростання зернових у відсотках щодо контролю, %.

Коефіцієнти регресії:

$$p_{00} = 1.122e-12 \ (-2.803e-12, 5.047e-12);$$

$$p_{10} = -1.497e-14 \ (-7.625e-14, 4.632e-14);$$

$$p_{01} = 96 \ (96, 96).$$

Побудоване рівняння регресії (3.1) демонструє високий ступінь відповідності експериментальним даним щодо енергії проростання зерно пшениці під дією імпульсного електричного поля. Значення коефіцієнтів та низькі показники сум квадратів помилок ($SSE = 5,493 \cdot 10^{-26}$) і середньоквадратичної помилки ($RMSE = 1,353 \cdot 10^{-13}$) свідчать про точність моделі та її здатність відображати вплив напруги на енергію проростання. Модель може бути використана для прогнозування ефективності передпосівної обробки та оптимізації параметрів імпульсного впливу на насіння.

На рисунку 3.9 наочно показано, як зміна напруженості імпульсного електричного поля впливає на енергію проростання насіння озимої пшениці.

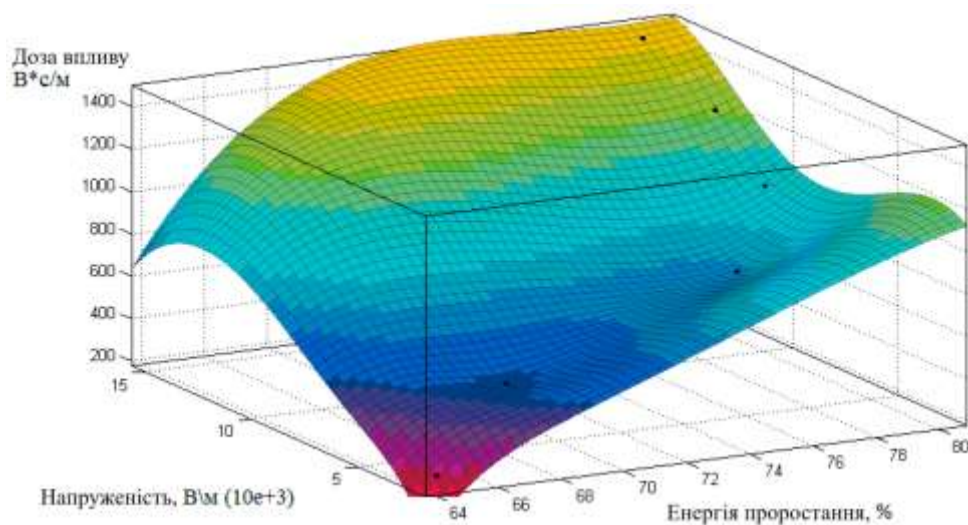


Рис. 3.9. Вплив напруженості ІМП на енергію проростання пшениці
Богдана

Залежність дозволяє визначити інтервали напруги, при яких досягається максимальний стимулюючий ефект на проростання.

На підставі аналізу діаграми, поданої на рисунку 3.9, встановлено, що для насіння озимої пшениці сорту «Богдана» оптимальні значення напруженості імпульсного електричного поля, які забезпечують максимальне зростання енергії проростання, становлять 10,0; 12,5 та 15,0·10³ В/м. Це дає підстави стверджувати про існування певного діапазону напруги, у межах якого стимулювальний ефект дії ІЕП проявляється найповніше.

З метою оцінювання впливу напруженості імпульсного електричного поля на схожість насіння озимої пшениці того ж сорту проведено кореляційний аналіз. У процесі побудови математичних залежностей (рівнянь регресії) отримані коефіцієнти кореляції виявилися статистично значущими при 95 % рівні довіри, що підтверджує достовірність взаємозв'язку між силою електричного поля та посівними властивостями насіння.

Побудована математична модель відображає залежність енергії проростання (схожості) зерна пшениці від прикладеної напруги та інтенсивності імпульсного електричного поля і може бути представлена у вигляді рівняння регресії:

$$f(x,y) = p_{00} + p_{10} \cdot x + p_{01} \cdot y \quad (3.2)$$

де x – напруга на електродах, В;

y – схожість у відсотках щодо контролю, %.

Коефіцієнти регресії:

$$p_{00} = 7.574e-11 (-1.746e-10, 3.261e-10);$$

$$p_{10} = -7.705e-13 (-3.316e-12, 1.775e-12);$$

$$p_{01} = 96 (96, 96).$$

Правильність побудованого рівняння підтверджується надзвичайно низькими значеннями суми квадратів помилок ($SSE = 1,616 \cdot 10^{-26}$) та середньоквадратичної помилки ($RMSE = 2,321 \cdot 10^{-13}$), що свідчить про високу точність моделі. На рисунку 3.11 наочно показано, як зміна напруженості імпульсного електричного поля впливає на схожість зерна пшениці.

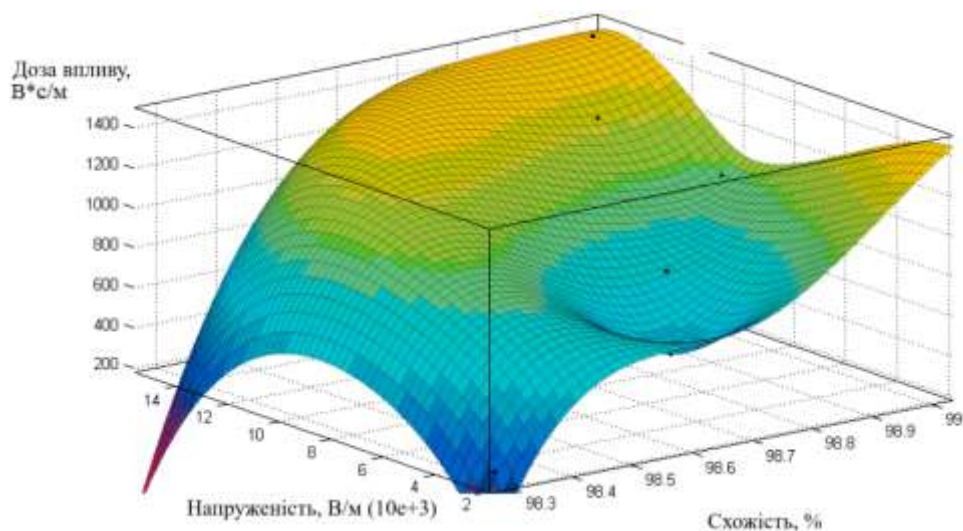


Рис. 3.10. Вплив напруженості ІМП на схожість пшениці Богдана

Аналіз діаграми, наведеної на рисунку 3.10, показує, що в межах досліджуваної моделі оптимальні значення напруженості імпульсного електричного поля, які забезпечують найбільше підвищення схожості насіння, становлять 10,0; 12,5 та 15,0·10³ В/м. Саме в цьому інтервалі величин спостерігається найвиразніший стимулюючий ефект електричного впливу.

З метою визначення ступеня впливу напруженості ІМП на біометричні показники насіння, зокрема масу проростка, проведено кореляційний аналіз. При складанні рівнянь регресії отримані коефіцієнти кореляції виявилися статистично достовірними при 95 % рівні ймовірності, що свідчить про

наявність тісного взаємозв'язку між інтенсивністю електричного поля та морфологічними характеристиками насіння.

Отримана математична модель описує залежність маси проростка зерна пшениці від величини прикладеної напруги та інтенсивності імпульсного електричного поля й подається у вигляді рівняння регресії:

$$f(x,y) = p_{00} + p_{10} \cdot x + p_{01} \cdot y \quad (3.3)$$

де x – напруга на електродах, В;

y – маса паростків у відсотках щодо контролю, %.

Коефіцієнти регресії:

$$p_{00} = -8.465e-13 \ (-4.335e-12, 2.642e-12);$$

$$p_{10} = 4.055e-13 \ (-1.049e-12, 1.86e-12);$$

$$p_{01} = 96 \ (96, 96).$$

Коректність побудованого рівняння підтверджується низькими значеннями статистичних показників похибок: сума квадратів відхилень (SSE) становить $8,805 \cdot 10^{-23}$, а середньоквадратична помилка (RMSE) дорівнює $1,713 \cdot 10^{-13}$, що свідчить про високу точність апроксимації отриманих експериментальних даних.

На рисунку 3.12 подано графічну залежність, яка ілюструє вплив напруженості імпульсного електричного поля (ІЕП) на масу проростків озимої пшениці.

З аналізу діаграми встановлено, що у межах даної моделі оптимальні значення напруженості поля, які забезпечують максимальне зростання маси 50 оброблених проростків, становлять 10,0; 12,5 та $15,0 \cdot 10^3$ В/м.

Найвищий стимулюючий ефект зафіксовано при $10,0 \cdot 10^3$ В/м, тоді як подальше підвищення до $15,0 \cdot 10^3$ В/м не призводить до істотного збільшення результату – отримані значення практично збігаються..

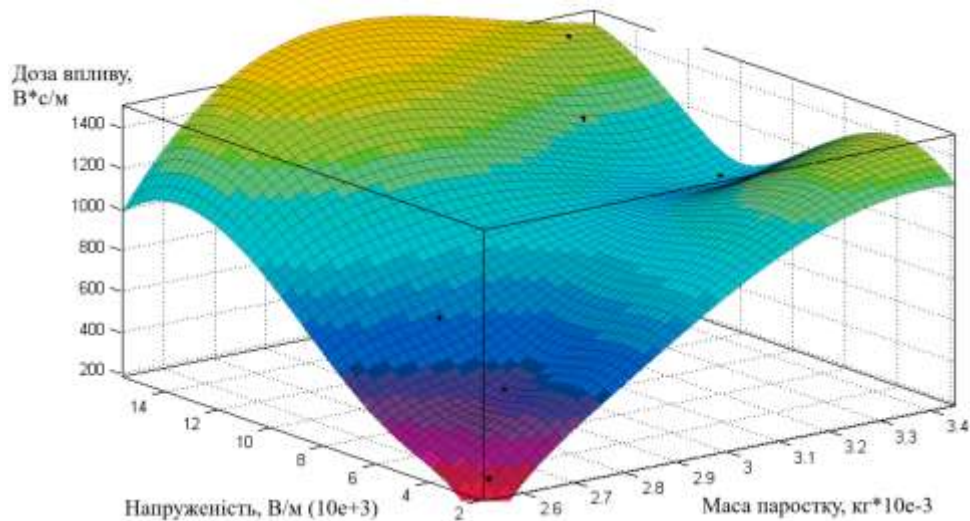


Рис. 3.11. Вплив напруженості ІМП на масу паростків пшениці Богдана

Проведений аналіз побудованих математичних моделей у формі рівнянь регресії, що відображають вплив напруги, прикладеної до електродів робочої камери, на посівні властивості насіння озимої пшениці сорту «Богдана», дозволяє дійти висновку, що найефективнішим режимом обробки є дія при нарузі 300 В на електродах, що відповідає напруженості електричного поля $15,0 \cdot 10^3$ В/м у шарі насіння.

3.4. Вплив імпульсного магнітного поля на зараженість шкідниками і хворобами

Одним із чинників, що зумовлює зниження посівних властивостей зерна, є контамінація його патогенною мікрофлорою. Її наявність негативно впливає як на енергію проростання, так і на подальший ріст і розвиток рослин. З метою зниження рівня ураженості зерна грибними патогенами проведено експериментальні дослідження дії імпульсного електричного поля (ІЕП).

Визначення видової структури та інтенсивності ураження насіння патогенною мікрофлорою виконували за біологічним методом відповідно до вимог ДСТУ. Для активізації спороутворення та ідентифікації мікроміцетів

родів *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Alternaria* пророщування проводили в умовах 12-годинного фотоперіоду (чергування світла і темряви) у чашках Петрі на поживному середовищі.

Для досліду формували чотири робочі вибірки по 100 насінин кожна. Зразки розміщували у стерильний посуд із живильним субстратом та піддавали обробці ІЕП за оптимальними параметрами:

- напруженість електричного поля – 15×10^3 В/м;
- частота імпульсів – 1200 Гц;
- тривалість імпульсу – 50 мкс;
- експозиція – 3 с;
- інтервал між обробкою та пророщуванням – 3 доби.

Після обробки насіння (дослідний і контрольний варіанти) розкладали по 50 шт. у чашках Петрі та витримували в термостаті при температурі 22–25 °С протягом нормативного періоду, встановленого для оцінювання схожості за ДСТУ. Через сім діб пророщування здійснювали мікробіологічний аналіз, підраховуючи кількість колоній грибів на 100 зернах кожного зразка.

Експеримент проводили на насінні озимої пшениці сорту Богдана. Результати досліджень наведено в таблиці 3.2.

Результати свідчать, що передпосівна обробка насіння озимої пшениці імпульсним електричним полем сприяла значному зниженню рівня контамінації патогенною мікрофлорою.

У контрольному варіанті насіння озимої пшениці сорту Богдана характеризувалося високим рівнем ураженості патогенною мікрофлорою: частка насіння, контамінованого грибами роду *Rhizopus*, становила 35,0 %, *Alternaria* – 18,0 %, *Penicillium* – 20,0 %, *Fusarium* – 27,0 %.

Після передпосівної обробки імпульсним електричним полем (ІЕП) у раціональному режимі спостерігалось істотне зниження інтенсивності розвитку патогенів. Рівень ураженості насіння грибами роду *Rhizopus* зменшився на 71,5 %, *Alternaria* – на 78 %, *Penicillium* – на 90 %, *Fusarium* – на 96,3 % порівняно з контролем.

Таблиця 3.2 – Вплив передпосівної обробки насіння озимої пшениці імпульсним електричним полем на розвиток патогенної мікрофлори.

Варіант	Заселеність насіння патогенною мікрофлорою, %				
	<i>Rhizopus</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Aspergillus</i>
Контроль	35,0	18,0	20,0	27,0	0,0
Дослід (ІЕП)	10,0	4,0	2,0	1,0	0,0

У процесі подальшого зберігання відзначено різницю в динаміці розвитку фітопатогенної мікрофлори. У контрольному варіанті інтенсивність росту грибів продовжувала зростати, тоді як у зразках, оброблених ІЕП, мікробіологічна активність залишалася мінімальною. Через сім тижнів зберігання чисельність грибів роду *Rhizopus* у контрольному варіанті збільшилася на 8 %, тоді як у дослідному – лише на 1 % (таблиця 3.3).

Під час зберігання насіння у контрольному варіанті спостерігалось подальше збільшення кількості грибів роду *Alternaria* – їх чисельність зросла на 2 %. Найбільш інтенсивний розвиток відмічено для грибів роду *Penicillium*: за тиждень їх кількість підвищилася на 50 % – з 20 % до 30 %.

Таблиця 3.3 – Вплив імпульсного електричного поля (ІЕП) на патогенну мікрофлору насіння озимої пшениці сорту «Богдана» під час зберігання

Варіант	Заселеність насіння патогенною мікрофлорою, %				
	<i>Rhizopus</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Aspergillus</i>
Контроль	43,0	20,0	30,0	30,0	0,0
Дослід (ІЕП)	11,0	4,0	2,0	1,0	0,0

У дослідному варіанті, де насіння оброблялося ІЕП, інтенсивність росту мікроміцетів практично не змінилася, що свідчить про стабільність фітосанітарного стану насіння протягом зберігання.

Таким чином, передпосівна обробка озимої пшениці Богдана ІЕП має виражений антимікотичний ефект, знижує рівень ураженості патогенною мікрофлорою та пригнічує подальший розвиток грибів у процесі зберігання.

3.5. Висновки до розділу

Проведено комплексні експериментальні дослідження впливу імпульсного електромагнітного поля (ІЕП) на посівні якості насіння озимої пшениці сорту Богдана. Встановлено, що параметри напруженості поля в межах $10,0\text{--}15,0 \cdot 10^3$ В/м є оптимальними для передпосівної обробки, оскільки забезпечують максимальне підвищення енергії проростання, схожості та маси проростків.

Визначено, що під дією ІЕП енергія проростання насіння зростає на до 29,4 %, а маса проростків – на до 37,1 % порівняно з контролем. Це свідчить про стимулюючий вплив імпульсного електричного поля на фізіологічні процеси у насінні, активізацію ферментативної системи та покращення початкових ростових показників.

Побудовані регресійні моделі підтверджують тісний кореляційний зв'язок між напруженістю імпульсного електричного поля та показниками енергії проростання, схожості й маси проростків. Отримані рівняння мають високу точність апроксимації ($RMSE \leq 1,7 \cdot 10^{-13}$), що дозволяє використовувати їх для прогнозування ефективності передпосівної обробки.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація охорони праці при обробці зерна електричним імпульсним полем. Організація охорони праці при обробці зерна електричним імпульсним полем передбачає комплекс заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці для персоналу, запобігання травматизму та забезпечення відповідності вимогам законодавства. Планування робіт з охорони праці здійснюється на основі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають при експлуатації обладнання для електрообробки зерна. На етапі планування розробляються щорічні заходи з охорони праці, які включають проведення інструктажів, медичних оглядів, атестацій робочих місць, оновлення засобів захисту та забезпечення безпечної експлуатації установок.

Фінансування заходів з охорони праці здійснюється за рахунок коштів підприємства, виділених у розмірі не менше 0,5 % від фонду оплати праці, що відповідає чинним вимогам законодавства. Кошти спрямовуються на поліпшення умов праці, придбання засобів індивідуального захисту, проведення інструктажів, медичних оглядів, удосконалення вентиляції, освітлення, а також на утримання побутових приміщень.

Питання охорони праці включаються до колективного договору підприємства, де визначаються обов'язки адміністрації щодо створення безпечних умов праці, права працівників на відмову від виконання небезпечних робіт, а також порядок відшкодування шкоди у випадку нещасного випадку чи професійного захворювання.

Організація навчання з питань охорони праці включає проведення вступного, первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів. На підприємстві мають бути розроблені затверджені програми навчання для працівників, які працюють із електроустановками, а також ведуться журнали реєстрації інструктажів. Результати перевірки знань

оформлюються протоколами атестації, які зберігаються у відділі охорони праці.

Забезпечення працівників спецодягом, засобами індивідуального захисту та санітарно-побутовими приміщеннями є обов'язком роботодавця. Особи, які виконують роботи з електрообладнанням, повинні бути забезпечені діелектричними рукавичками, килимками, інструментом з ізольованими ручками, спецвзуттям, халатами з антистатичної тканини. Санітарно-побутове забезпечення включає душові, гардеробні, кімнати відпочинку, пункти першої допомоги, що повинні відповідати вимогам ДСанПіН.

Відповідальність за організацію роботи з охорони праці несуть керівники підрозділів, головний інженер і спеціалісти служби охорони праці. Вони зобов'язані здійснювати постійний контроль за технічним станом електроустановок, своєчасно усувати несправності, організовувати навчання персоналу, проводити розслідування нещасних випадків і забезпечувати виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці..

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при обробці зерна електричним імпульсним полем. При обробці зерна електричним імпульсним полем у виробничому середовищі діє низка шкідливих і небезпечних факторів, що можуть впливати на здоров'я персоналу та безпеку технологічного процесу.

Одним із основних небезпечних факторів є дія електричного струму високої напруги, який використовується для створення імпульсного поля. При недотриманні вимог електробезпеки можливе ураження працівників електричним струмом, виникнення електричних дуг, пробоїв ізоляції, а також займання пилоповітряної суміші. Тому всі елементи установки повинні мати справну ізоляцію, заземлення та системи блокування доступу під час роботи.

До шкідливих виробничих факторів належить підвищений рівень електромагнітного випромінювання у зоні дії установки. Імпульсні розряди формують електромагнітні поля високої інтенсивності, що при тривалому

впливі можуть спричиняти функціональні зміни нервової та серцево-судинної систем. Для зменшення впливу використовують екранування робочої зони, дистанційне керування, контроль допустимих рівнів поля.

Додатковими факторами ризику є шум та вібрація, що виникають під час роботи імпульсних генераторів, а також наявність пилу, утвореного від зерна. Зерновий пил може спричинити подразнення органів дихання, алергічні реакції, зниження видимості, а при високій концентрації – створює небезпеку вибуху. Необхідним є застосування місцевих витяжних вентиляцій, регулярне очищення приміщень, використання респіраторів і захисних окулярів.

До фізичних факторів належать також підвищена температура обладнання та мікроклімат приміщення, особливо при тривалій роботі установки. Це потребує систем вентиляції та кондиціонування, дотримання режимів праці та відпочинку.

Хімічна небезпека може виникати при обробці зерна, якщо застосовуються допоміжні реагенти або озонування – у такому випадку потрібен контроль концентрацій речовин у повітрі робочої зони.

Таким чином, аналіз умов праці під час обробки зерна електричним імпульсним полем свідчить про комплексну дію електричних, електромагнітних, фізичних і хімічних факторів. Безпечна організація роботи передбачає технічні, санітарно-гігієнічні та організаційні заходи, що мінімізують їх вплив на працівників і забезпечують стабільну роботу обладнання

Рекомендації щодо впровадження безпечних умов праці при обробці зерна електричним імпульсним полем. Впровадження безпечних умов праці під час обробки зерна електричним імпульсним полем вимагає комплексного підходу, що охоплює технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та навчально-профілактичні заходи.

Передусім, необхідно забезпечити надійну електробезпеку обладнання. Усі елементи імпульсної установки мають бути заземлені, а струмопровідні

частини – ізольовані та захищені кожухами. Доступ до високовольтних вузлів дозволяється лише після повного знеструмлення системи та перевірки відсутності залишкового заряду. Для запобігання випадковому ввімкненню слід застосовувати блокувальні пристрої, сигнальні лампи та аварійні вимикачі.

Другим важливим напрямом є захист від електромагнітного поля. Робочі місця мають бути віддалені від генераторів імпульсів, обладнання повинно мати металеве екранування, а рівень електромагнітного випромінювання контролюється відповідно до гігієнічних нормативів. При необхідності слід обмежити тривалість перебування працівників у зоні впливу поля.

Для зниження впливу пилу, шуму та вібрації необхідно встановити місцеві відсмоктувачі, аспіраційні системи, шумоізоляційні кожухи та демпфуючі опори під обладнання. Робітники повинні користуватися респіраторами, захисними окулярами та навушниками.

Важливу роль відіграє організація навчання та інструктажів. Кожен працівник перед початком роботи повинен пройти вступний та первинний інструктаж, ознайомитися з інструкцією з охорони праці для конкретного виду робіт, а також періодично проходити перевірку знань. Ведення журналів інструктажів, протоколів атестації та наявність затверджених програм навчання є обов'язковими.

Необхідно забезпечити санітарно-побутові умови: приміщення для відпочинку, душові, гардеробні, аптечки першої допомоги. Працівники мають бути забезпечені спецодягом і засобами індивідуального захисту – діелектричними рукавичками, взуттям, халатами з антистатичних матеріалів, захисними касками.

Організаційно-адміністративні заходи передбачають призначення відповідальних осіб за охорону праці, розробку посадових інструкцій з безпеки, проведення внутрішніх аудитів та аналізу потенційних ризиків. За

порушення вимог безпеки посадові особи несуть дисциплінарну або адміністративну відповідальність.

Таким чином, дотримання зазначених рекомендацій забезпечує мінімізацію ризиків ураження електричним струмом, впливу шкідливих факторів і створює умови для безпечного, стабільного та ефективного технологічного процесу обробки зерна електричним імпульсним полем..

Висновки. У процесі дослідження організації охорони праці під час обробки зерна електричним імпульсним полем встановлено, що безпечно виконання таких робіт потребує комплексного підходу до аналізу ризиків, планування профілактичних заходів та дотримання вимог нормативно-правових актів з охорони праці. Основними небезпечними факторами є дія електричного струму високої напруги, електромагнітного випромінювання, шуму, вібрації та запиленості повітря, що потребують постійного контролю і технічного удосконалення робочих місць.

Реалізація системи охорони праці повинна ґрунтуватися на належному плануванні й фінансуванні заходів безпеки, впровадженні сучасних технічних засобів захисту, забезпеченні працівників спецодягом і засобами індивідуального захисту, а також на постійному навчанні та перевірці знань персоналу. Важливим елементом є включення питань охорони праці до колективного договору, що підсилює відповідальність адміністрації та гарантує права працівників на безпечні умови праці.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

У сучасному агровиробництві ефективність використання насіння визначається не лише сортовими властивостями, а й якістю передпосівної обробки. Традиційні методи передпосівної підготовки (термічні, хімічні, гідротермічні) часто мають високу енергоємність та екологічні обмеження. Використання імпульсного електромагнітного поля (ІЕМП) дозволяє стимулювати біологічні процеси в насінні без використання хімічних реагентів, підвищуючи енергію проростання, схожість і врожайність культур на 10–20 %.

Таким чином, доцільно провести економічне обґрунтування впровадження електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння ІЕМП у господарстві.

Таблиця 5.1 – Склад електротехнологічного комплексу

№	Найменування обладнання	К-ть, шт.	Орієнтовна вартість, грн	Загальна вартість, грн
1	Генератор імпульсного електромагнітного поля	1	65000	65000
2	Камера обробки насіння (нержавіюча сталь, місткість 50 кг)	1	25000	25000
3	Система керування і контролю режимів (мікроконтролер, датчики)	1	15000	15000
4	Вентиляційна система (вентилятор, фільтр, захисний короб)	1	7000	7000
5	Транспортер подачі насіння	1	18000	18000
6	Монтаж, наладка, випробування	–	10000	10000
	Разом капіталовкладення			140000

Річні витрати:

$$V = P \cdot T \cdot c_{el} + K \cdot n_A + K \cdot n_R + z, \quad (5.1)$$

де P – потужність обладнання, кВт,

T – тривалість роботи, год/рік,

c_{el} – тариф (грн/кВт·год),

n_A – амортизація, грн;

n_R – ремонт, грн;

z – зарплата оператора (грн/рік);

K – капіталовкладення, грн.

$$V = 3 \cdot 200 \cdot 6 + 140000 \cdot 0,10 + 140000 \cdot 0,05 + 60000 = 3600 + 14000 + 7000 + 60000 = 84\ 600 \text{ грн / рік}$$

Додатковий дохід від урожаю:

$$D = Y_0 \cdot S \cdot \alpha \cdot p, \quad (5.2)$$

де Y_0 – базова врожайність (т/га);

S – площа (га);

α – приріст урожайності від ІЕМП, т;

p – ціна (грн/т).

$$D = 5 \cdot 100 \cdot 0,08 \cdot 6000 = 240000 \text{ грн / рік}$$

Економічний ефект:

$$E = D - V; \quad (5.3)$$

$$E = 240000 - 84600 = 155400 \text{ грн / рік}$$

Термін окупності:

$$T_{\text{окуп}} = K / E; \quad (5.4)$$

$$T_{\text{окуп}} = 140000 / 155400 \approx 0,9 \text{ року.}$$

Запропонований електротехнологічний комплекс є економічно доцільним. Річний економічний ефект становить приблизно 155 тис. грн, а термін окупності – менше одного року.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було проведено комплексне дослідження теоретичних, технічних і експериментальних аспектів підвищення ефективності врожайності сільськогосподарських культур шляхом передпосівної обробки насіння імпульсним електромагнітним полем.

У результаті аналізу літературних джерел визначено, що електрофізичні методи передпосівної обробки, зокрема електромагнітна стимуляція, мають суттєві переваги над традиційними хімічними засобами. Вони не потребують використання реагентів, є екологічно безпечними та забезпечують знезараження насіннєвого матеріалу без погіршення його біологічних властивостей.

Розроблено і змодельовано в середовищі MATLAB/Simulink електричну схему перетворювача напруги для формування імпульсного поля, що забезпечує стабільність параметрів обробки насіння. Встановлено, що використання PI-регуляторів та зворотного зв'язку за струмом і напругою дає змогу підтримувати стабільну амплітуду імпульсів і рівномірний енергетичний вплив на шар насіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kovra, Y.; Stankevych, G.; Borta, A. The effect of the electromagnetic field of extremely low frequencies on the quality of wheat grain // *Food Science and Technology*. – 2022. – Vol. 16, № 1. – P. 71–82. – DOI: 10.15673/fst.v16i1.2292.
2. Герасимчук, Ю. В.; Адаменко, О. І.; Сахневич, В. Г.; Ничипорук, О. М.; Берлінець, Ю. М.; Берлінець, М. М. Результати досліджень передпосівного знезараження насіння в електричному полі // *Механізація та електрифікація сільського господарства*. – 2020. – Вип. 11(110).
3. В. В. Савченко, О. Ю. Синявський. Вплив магнітного поля на посівні якості насіння зернових культур // *Енергетика і автоматика*. – 2020. – № 2. – 8 с.
4. Думанський, О. В. Використання електромагнітного випромінювання для обробки насіння сільськогосподарських культур // *Електроенергетичні технології АПК (матеріали)*. – 2024. – С. 198–199.
5. Юрченко, О., & Барсукова, Г. (2023). ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ЯК СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НАСІННЯ. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 13(1). <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.391>
6. Соловей, І. М. Обробка насіння зернових культур у високочастотному електричному полі // *Наукові праці. Техногенна безпека та промислова технологія (журнали Вернадського)*. – 2019. – № 5, ч. 1, с. 12-16.
7. Петровський О.М., Волков С.І. Визначення найбільш придатного діапазону електромагнітного випромінювання для передпосівної обробки насіння // *Вісник ПДАА*. – 2011. – № 1. – С. 163–168.
8. Rudenko, A. Yu. Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції: методичні вказівки. – Миколаїв: МНАУ, 2024. – 494 с.

9. Матвійчук, В. А.; Рубаненко, О. Є.; Стаднійчук, І. П. Електротехнології в АПК: навчальний посібник. – Вінниця: ТВОРИ, 2020. – 272 с. – ISBN 978-966-949-449-8.
10. Шебанін, В. С. (ред.) та ін. Електротехнології в АПК: навчальний посібник. – Миколаїв: МНАУ, 2022.
11. Katsenios, N.; Bilalis, D.; Efthimiadou, A.; et al. Role of pulsed electromagnetic field on enzyme activity, germination, plant growth and yield of durum wheat // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2016. – Vol. 6. – P. 152–158. – DOI: 10.1016/j.bcab.2016.05.013
12. Katsenios, N.; Christopoulos, M. V.; Kakabouki, I.; et al. Effect of Pulsed Electromagnetic Field on Growth, Physiology and Postharvest Quality of Kale, Wheat and Spinach Microgreens // *Agronomy*. – 2021. – 11(7):1364. – DOI: 10.3390/agronomy11071364
13. Katsenios, N.; Sparangis, P.; Kakabouki, I.; Efthimiadou, A. Influence of pulsed electromagnetic field as a pre-sowing treatment on germination, plant growth and yield of broad beans // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. – 2020. – 48(2). – P. 1398–1412. – DOI: 10.15835/nbha48311989.
14. Qu, H.; Wang, Y.; Wang, B.; et al. Pulsed electric field treatment of seeds altered the endophytic bacterial community and promotes early growth of roots in buckwheat // *BMC Microbiology*. – 2023. – 23:290. – DOI: 10.1186/s12866-023-02943-5.
15. Kim, J.-W.; et al. Effect of corona discharge plasma jet on surface-borne microorganisms and sprouting of broccoli seeds // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2017. – 97(6). – P. 1933–1940. – DOI: 10.1002/jsfa.7698.
16. Vatchev, T.; Yanashkov, I. T.; Marinova, P.; Benova, E. Pre-Sowing Seed Treatments with Cold Atmospheric Plasma for the Control of Seedling Blights of Winter Wheat // *Processes*. – 2025. – 13(3):632. – DOI: 10.3390/pr13030632.

17. Seo, D. H.; et al. Effects of millimeter wave treatment on the germination rate of brown rice // *Journal of Food and Drug Analysis*. – 2016. – 24(4). – P. 760–766. – (PMC: 6049382).
18. Čėsniėnė, I.; et al. Seed Treatment with Electromagnetic Field Induces Physiological, Biochemical, and Epigenetic Changes in Silver Birch // *Plants*. – 2023. – 12(16). – Article 3029. – (PMC: 10490157).
19. Mildazienė, V.; Žūrienė, R.; et al. Biochemical and Physiological Plant Processes Affected by Seed Treatment with Non-thermal Plasma // *Plants*. – 2022. – 11(7):954. – (PMC: 9003542).
20. Al-Khafaji, A. H.; et al. Germination and stress tolerance of oats treated with pulsed electromagnetic field // *Industrial Crops & Products / Environmental and Experimental Botany* (elsevier series; ahead-of-print, 2024).
21. Suwannarat, S.; et al. Nonthermal plasma engineering for seed disinfection and priming: current advances and prospects // *Trends in Food Science & Technology / Chemical Engineering Journal Advances* (Elsevier), 2025.
22. Iwuala, E.; et al. Impact of controlled microwave radiation in seeds and seedlings: a review // *Electromagnetic Biology and Medicine* (Taylor & Francis). – 2021. – (онлайн-стаття). – DOI: 10.1080/17429145.2021.1912422.
23. Szopińska, D.; et al. The Effect of Microwave Treatment on Germination and Seedling Growth of Selected Vegetable Species // *Agronomy*. – 2021. – 11(12):2571. – DOI: 10.3390/agronomy11122571.
24. Dorokhov, A. S.; Chaplygin, M. E.; Aksenov, A. G.; et al. Grain Seed Treatment by a Low-Frequency Electromagnetic Field // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* (Agricultural Machinery and Technologies). – 2023. – № 4. – P. 4–11. – DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-4-11.
25. Maffei, M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution // *Frontiers in Plant Science*. – 2014. – 5:445. – DOI: 10.3389/fpls.2014.00445.