

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

проф., д.т.н. _____ /КАПЛУН В.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

„_____” _____ 2026 р.
число місяць рік

доц., к.т.н. _____ /ОКУШКО О.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

„_____” _____ 2026 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: „Електротехнологічний комплекс для передпосівної обробки насіння в
імпульсному електричному полі”

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

_____ К.Т.Н., доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Троханяк В.І.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Савченко В.В.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Чепела Ф.В.
(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій
К.Т.Н., доцент /ОКУШКО О.В./
(підпис)

« » 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Чепелі Федору Володимировичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: „Електротехнологічний комплекс для передпосівної обробки насіння в імпульсному електричному полі”

затверджена наказом ректора НУБіП України від 18.11.2024 № 2058”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 25. 05 . 2026

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

«Правила улаштування електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести аналіз технологій та пристроїв для передпосівної обробки насіння.
2. Провести обґрунтування електротехнологічних параметрів і режимів низковольтного активатора з рухомим шаром насіння.
3. Розробити програму і методикку експериментальних досліджень
- 4.Провести аналіз результатів експериментальних досліджень.
- 5.Провести економічне обґрунтування низковольтної установки для перепосівної обробки насіннєвого матеріалу

:

Дата видачі завдання 19.11.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ **Савченко В.В.**
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ **Чепела Ф.В.**
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота: 69 с., 28 рис., 14 табл., 48 джерел.

Об'єкт дослідження: електротехнологічний процес обробки насіння в імпульсному електричному полі.

Предмет дослідження: залежність фізичних та електричних властивостей шару насіння, його посівних якостей (на прикладі насіння цибулі) при обробці низьковольтним активатором.

Методи дослідження та апаратура: вирішення поставлених завдань ґрунтується на відомих теоретичних положеннях та експериментальних даних технології передпосівної обробки насіння імпульсним електричним полем, математичному моделюванні та математичній статистиці.

Проведено аналіз електротехнологічних методів передпосівної обробки насіння та застосовуваного обладнання.

Еспериментально визначено фактори, які впливають на обробку насіння в імпульсному електричному полі низької напруги.

Обґрунтований технологічний процес передпосівної обробки насіння в імпульсному полі та визначені оптимальні параметри обробки.

Розроблений електротехнологічний комплекс для передпосівної обробки насіння та проведені його дослідження.

Наведені техніко-економічне обґрунтування застосування технології передпосівної обробки насіння в імпульсному електричному полі.

Галузь застосування – сільське господарство.

Ключові слова: насіння, передпосівна обробка, енергія проростання, схожість, імпульсне електричне поле.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПЕРЕПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ.....	10
1.1. Сучасні електротехнологічні способи передпосівної обробки насіння.....	10
1.2. Аналіз електротехнічного обладнання для передпосівної обробки насіння електромагнітним полем	13
1.3. Фізичні характеристики шару насіння та оцінка ступеня заповнення ним обсягу активатора.....	18
1.4. Завдання досліджень	21
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ НИЗКОВОЛЬТНОГО АКТИВАТОРА З РУХОМИМ ШАРОМ НАСІННЯ.....	23
2.1. Аналіз однорідності розподілу напруженості електричного поля в оброблюваному шарі насіння всередині активатора.....	23
2.2. Електричні параметри насіння сільськогосподарських культур	26
2.3. Аналіз та розрахунок електричних схем заміщення активатора	31
2.4. Обґрунтування конструктивних особливостей активатора	34
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
3.1. Визначення факторів та рівнів їх варіювання.....	38
3.2. Опис експериментального обладнання	38
3.3. Програма та методика експериментальних досліджень	44
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ...	48
4.1. Результати досліджень електричних характеристик шару насіння.....	48
4.2. Результати лабораторних дослідів з передпосівної обробки насіння з різною частотою проходження імпульсів (на прикладі цибулі).....	51
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НИЗКОВОЛЬТНОЇ УСТАНОВКИ	

ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ	60
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64

ВСТУП

Підвищення посівних якостей насіння сільськогосподарських культур при їх передпосівній обробці, поряд зі звичайними агротехнічними прийомами, має важливе значення у вирішенні проблеми збільшення виробництва продукції рослинництва.

Експериментальні дані вітчизняних та зарубіжних дослідників свідчать про те, що вплив різними фізичними факторами (електричне поле, магнітне поле, НВЧ, радіохвилі, лазер тощо) для активації насіння дає практично однаковий приріст врожаю. Тому у виборі методу основну роль відіграють його доступність та екологічна чистота.

Як показують дослідження, проведені рядом авторів, найбільш стабільний позитивний ефект на насіння сільськогосподарських культур досягається впливом електричного поля.

Вплив на насіння електричним полем можна розділити на фізичний та біологічний. Фізичне вплив застосовується для зміни просторового положення насіння при сепарації, це досягається створенням сильних електричних полів, у яких починають виявлятися, зокрема і коронні процеси. Біологічна дія призначена для покращення посівних якостей насіння, а також для впливу на патогенну мікрофлору.

Аналіз вивченої літератури дозволяє зробити висновок, що у дослідженні дії на насіння електричного поля автори використовували невеликі обсяги насіннєвого шару. Електричні параметри шару насіння в малогабаритному активаторі дозволяли авторам вільно оперувати широким спектром сигналів впливу. При переході на промисловий рівень в активаторі обробці піддається великий обсяг шару насіння. Реальні електричні параметри джерела живлення, активатора, а також шар насіння обмежують діапазон електричних параметрів можливих впливів. Тому для промислового освоєння даних електротехнологій необхідно коригувати певні параметри режимів обробки насіння.

Позитивна дія електричного поля на насіння зумовлена кількісно дозованим енергетичним впливом. Однак оцінка впливу за якимось одним з електричних

параметрів (напруженість електричного поля, частота тощо) недостатня. Причиною є неоднорідність обробки шару насіння.

Внаслідок проведених досліджень встановлено, що перспективною електротехнологією є обробка насіння сільськогосподарських культур імпульсним електричним полем (ІЕП). Проведені дослідження підтверджують, що ІЕП має як стимулюючий вплив, що значно (до 23 %) покращує посівні якості насіння, так і бактерицидну дію. Але досі не було отримано стабільних, стійких результатів. При русі в зоні обробки насіння знаходиться різний час, рухається з різними швидкостями, мають різну товщину шару, що обробляється.

Відомі установки з передпосівної обробки насіння ІЕП створені на основі активаторів, працюючих при великих амплітудах імпульсів напруги 15-25 кВ і відповідно споживають значні електричні потужності 17 кВт-1МВт у піковому режимі заряджання його електричної ємності.

Мета дослідження – обґрунтування параметрів та режимів обробки шару насіння імпульсним електричним полем з розробкою низьковольтного активатора для підвищення посівних якостей насіння.

Об'єкт дослідження: електротехнологічний процес обробки насіння в імпульсному електричному полі.

Предмет дослідження: залежність фізичних та електричних властивостей шару насіння, його посівних якостей (на прикладі насіння цибулі) при обробці низьковольтним активатором.

Методи дослідження: вирішення поставлених завдань ґрунтується на відомих теоретичних положеннях та експериментальних даних технології передпосівної обробки насіння імпульсним електричним полем, математичному моделюванні та математичній статистиці.

Завдання дослідження:

1. Дослідити електротехнологічні режими низьковольтного активатора установки для передпосівної обробки насіння ІЕП.
2. Розробити конструкцію установки для передпосівної обробки насіння ІЕП

3. Дослідити вплив електротехнологічних режимів активатора на передпосівну обробку насіння ІЕП, що стабільно покращує їх посівні якості та адаптивні властивості.

Наукова новизна:

1. Експериментальні результати дослідження фізичних та електричних характеристик насінневого шару для досягнення однорідності передпосівної обробки з необхідною напруженістю електричного поля та дозою впливу.

2. Регресійні моделі впливу параметрів ІЕП (часу обробки, напруги, частоти та тривалості імпульсів) на зміну посівних якостей насінневого матеріалу (на прикладі насіння цибулі).

3. Конструктивні електричні параметри та режими роботи низьковольтного активатора ІЕП, що забезпечують необхідні дози впливу для покращення посівних якостей насінневого матеріалу (на прикладі насіння цибулі).

4. Амплітудна доза впливу імпульсного електричного поля для високовольтної та низьковольтної обробки насіння у раціональних режимах мають близькі значення, що якісно пояснює можливість застосування низьковольтного активатора для передпосівної обробки.

Практичну значущість роботи становлять:

> раціональні режими та параметри ІЕП, що підвищують посівні якості насінневого матеріалу та знижують патогенну мікофлору;

> конструктивні електричні параметри та режими роботи низьковольтного активатора ІЕП, що забезпечують підвищення посівних якостей насінневого матеріалу (на прикладі насіння цибулі);

Основні положення, що виносяться на захист:

1. Електротехнологічні режими та параметри низьковольтного активатора установки для передпосівної обробки насіння ІЕП

2. Експериментальні результати дослідження фізичних та електричних характеристик насінневого шару (з прикладу насіння цибулі).

3. Регресійні моделі впливу параметрів ІЕП низької напруги на посівні якості насінневого матеріалу (на прикладі насіння цибулі).

4. Техніко-економічне обґрунтування використання способу передпосівної обробки насіння ІЕП низької напруги.

Публікації. Чепела Ф.В. Передпосівна обробка насіння цибулі в імпульсному електричному полі. Тези доповідей 78-ої науково-практичної конференція студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК», м. Київ, 24 квітня 2025 р. С.50.

Чепела Ф.В. Вплив імпульсного електричного поля на насіння. Тези доповідей 79-ої науково-практичної конференція студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК», м. Київ, 30 квітня 2026 р. С.109.

.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПЕРЕПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ

1.1. Сучасні електротехнологічні способи передпосівної обробки насіння

Використання досягнень науки та передових технологій, спрямованих на підвищення врожайності та покращення якості сільськогосподарських культур є одним з головних факторів підвищення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва. Проблема підвищення посівних якостей насіння та адаптивних властивостей рослин, вирощених із них, отримання екологічно чистої продукції залишається актуальною і нині [1].

Відомо, що технологія підготовки насіння до посіву спрямована на покращення їх біологічних властивостей, стимуляцію, захист від хвороб та шкідників, підвищення стійкості до стресових умов. Підвищити посівні якості насіння можна, впливаючи різними прийомами на процес їх проростання, становлення проростка та підвищення продуктивності рослин, – це фізичні, біологічні, хімічні та інші прийоми, які сприяють поліпшенню якості насіння [2, 3, 4]

У сільськогосподарському виробництві для підвищення врожайності насіння традиційно застосовують хімічні засоби. Поряд із ними, для боротьби з насінневою інфекцією та з хворобами вегетуючих рослин, використовують регулятори росту, солі мікроелементів, мікродобрива [5].

Недоліками хімічної передпосівної обробки є: низька екологічна чистота препаратів, накопичення в біомасі рослин і, що важливо, впливом на генетичну структуру [6]. Окремі гербіциди та стимулятори містять солі важких металів, які не розкладаються в природних умовах і потрапляють в організм людини та тварин. Це призводить до інтоксикації організму та хронічних захворювань [7].

Препарати, виготовлені на основі продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, грибів, суспензій, бактерій, належать до біологічних методів стимуляції росту

рослин. Вони в середньому підвищують урожайність насіння до 10 % [8].

Слід зазначити, що бактеріальні препарати меншою мірою впливають на довкілля й швидше інактивуються, ніж хімічні.

Біологічні засоби мають такі недоліки: труднощі у визначенні раціональних доз внесення препаратів, причому як у насінневу масу, так і в розчині при обприскуванні рослин, ряд біологічних препаратів має алергенну дію.

Дедалі більший інтерес викликають фізичні методи впливу на насіння. До таких методів можна віднести ультразвук, іонізуючі випромінювання, електромагнітні поля, фотоенергетичний вплив, термічну обробку тощо [9].

Фізичні методи передпосівної обробки насіння різних сільськогосподарських культур використовують з метою підвищення їх схожості та зниження зараженості патогенною мікофлорою. Наприклад, головним недоліком термічного методу впливу є тривалість обробки посівного матеріалу [10].

Неоднозначність впливу звукових коливань на внутрішньоклітинні процеси у насінні показано в результатах багатьох дослідників [11]. Цей метод є досить дорогим, оскільки має значну вартість обладнання та джерел ультразвукових коливань.

Інфрачервоне, ультрафіолетове, лазерне опромінення та ін відносять до фотоенергетичних методів обробки насіння, що дозволяє збільшувати врожай до 11-12 %. Відсутність повторюваності результатів опромінення насіння є його основним недоліком [12].

За допомогою фізико-механічного методу здійснюється передпосівна обробка насінневого матеріалу способом барботації у водному середовищі повітрям або киснем за нормальної фізіологічної температури насіння в 18-20 °С. Цей спосіб покращує вологопоглинання за рахунок підвищення проникності насінневої шкірки, що призводить до збільшення схожості [13]. Незважаючи на простоту циклу обробки, даний спосіб дуже тривалий і небезпечний (вибухо - і пожежонебезпечний при роботі з киснем).

Найбільш широко використовується електромагнітне поле для передпосівної обробки насіння з метою поліпшення їх посівних якостей. Ці дослідження

проводять у основному за такими напрямками:

- вплив на посівні властивості насіння;
- на фізіолого-біохімічні процеси у рослинному організмі;
- на зростання та розвиток рослин у процесі органогенезу;
- на врожайність сільськогосподарських культур [14].

Експериментальні дані вітчизняних та зарубіжних дослідників свідчать про підвищення біологічної активності при використанні електромагнітних полів різних частот.

Ефекти впливу електромагнітних та магнітних полів (постійних, змінних, комбінованих) на біологічні об'єкти досить добре описані у літературі. Вплив ефекту залежить від ряду параметрів: потужності та частоти прикладеного поля. Розрізняють електромагнітні та магнітні поля високої (106-107 Гц) і дуже високої (107-108 Гц) частоти, а також ультрависокочастотні (108-109 Гц), надвисокочастотні (109-1010 Гц) та вкрай високочастотні (1010-10). Дані впливу, не будучи іонізуючими випромінюваннями і не викликаючи незворотних хімічних змін у живій системі, збуджують когерентні коливальні та обертальні режими та викликають біологічні ефекти, що вимагають кількості енергії нижче за рівень іонізаційних потенціалів. Клітини та їх мембрани здатні використовувати енергію зовнішніх електромагнітних полів. Вони перетворюють її на енергію молекулярних і клітинних процесів [15].

Вплив мікрохвильового поля на овочевих культур досліджували вчені України на установці «Артеміда» (частота 2450 Гц, потужність 1,6 кВт) в режимах від 30 до 180 с. У результаті дослідів виявлено, що схожість обробленого насіння перевищує контроль на 4 - 18% залежно від культури та вихідних даних, що до певної міри підвищує їх життєздатність [16].

Можна відзначити, що використання позитивної дії електромагнітних випромінювань як стимулятора життєздатності насіння з одночасною згубною дією на збудників захворювань насіння та рослин засноване на різній чутливості рослин та супутніх їм мікроорганізмів до цих видів випромінювань [17].

Аналіз наукових публікацій дозволяє зробити висновок, що електромагнітна

обробка насіння, порівняно з іншими методами, не пов'язана з трудомісткими і дорогими операціями, не шкідливо впливає на обслуговуючий персонал (як, наприклад, хімічна обробка), є технологічним і автоматизованим процесом. Електромагнітна дія легко і точно дозується, є екологічно чистим видом обробки, легко включається до існуючих технологічних ліній підготовки насіння у виробничих умовах [18]. Важливим є і той факт, що рослини, що вирости з обробленого насіння, не мають надалі патологічних змін та індукованих мутацій [19]. Багато авторів показують, що вплив електромагнітного поля збільшує кількість продуктивних стебел, кількість колосків, середню довжину рослин та колоса, збільшує кількість зерен у колосі та, відповідно, масу зерна. Усе це зумовлює збільшення врожайності на 10-15 % [20].

Доведено, що електромагнітне поле впливає на швидкість і величину водопоглинання насіння [21].

Експериментально встановлено, що передпосівна обробка насіння ІЕП є одним з перспективних методів, оскільки покращує не тільки посівні якості насіння, але й має бактерицидну, інгібуючу дію на мікоцети (цвілеві гриби: *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp.).

Аналіз вивченої літератури показує, що при різних значеннях параметрів електромагнітних полів, які використовуються для обробки посівного матеріалу, змінюються ефекти їх впливу. При цьому ефект впливу залежить від силових та енергетичних характеристик полів (частота, характер зміни та час дії). З іншого боку, вплив можуть також деякі супутні чинники [22].

Передпосівна обробка насіння ІЕП є одним з ефективних способів, що мають одночасно стимулюючу та бактерицидну дію, що підтверджено результатами досліджень учених.

1.2. Аналіз електротехнічного обладнання для передпосівної обробки насіння електромагнітним полем

При аналізі електротехнічного обладнання для передпосівної обробки насіння фізичними факторами особлива увага приділялася на ряд функцій, якими, на нашу

думку, повинна мати кожна з цих установок. До таких функцій ми відносимо, наприклад, переміщення шару насіння та створення електричного однорідного поля.

Для промислового освоєння технології з використанням електромагнітного поля потрібні пристрої, що відповідають необхідним вимогам. У результаті інформаційного та патентного пошуку було знайдено установки, що пропонуються рядом авторів для передпосівної обробки насіння електромагнітними полями.

Установка для передпосівної обробки насіння (рисунок 1.1) містить вертикальний індуктор, виконаний з двох ізольованих електродних паралельних пластин. У нижній частині індуктора є заслінка для регулювання кількості насіння, що прокидається. Над індуктором розміщується конусний бункер для подачі насіння індуктор. Індуктор підключений до високовольтного трансформатора. Установка має статичний перетворювач, що забезпечує зміну частоти та напруги [24].

Недоліками цього пристрою є:

1. Відсутність регулювання міжелектродної відстані.
2. Зовнішнє розташування високовольтного електрода, що погіршує безпеку робіт.
3. Нерівномірність товщини шару насіння (немає стабільності напруженості електричного поля у шарі насіння, оскільки рух насіння йде хаотичним пробудженням).
4. Нижнє розташування заслінки, що створює зони уповільнення руху та застою насіння, внаслідок чого відбувається зміна товщини шару, що призводить до передозування впливу електричного поля.
5. Великий зазор між шаром насіння та електродом, створений товщиною стрічки та повітряним проміжком, що вимагає надмірно великої напруги джерела живлення, а отже, і більш складного та дорогого джерела живлення.

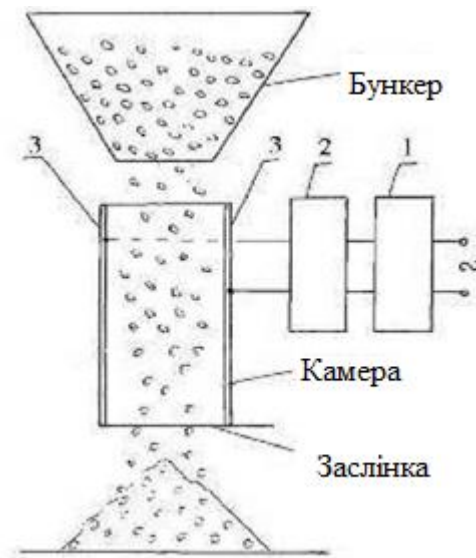


Рис. 1.1. Установка для передпосівної обробки насіння в електричному полі:

1 – статичний регульований перетворювач частоти; 2 – високовольтний трансформатор; 3 – електроди індуктора

Найкраще організований процес переміщення насіння в іншій установці для передпосівної обробки насіння (рисунок 1.2). Установка містить камеру обробки у вигляді похилої діамантної труби, розташованої всередині електромагнітного індуктора, де кут нахилу труби визначає час перебування насіння активної зоні [25].

Недоліками цього пристрою є:

1. Нестабільність швидкості переміщення насіння, отже, і нестабільність тривалості обробки насіння.
2. Нерівномірність розподілу магнітної індукції у робочій камері залежно від радіусу перерізу.

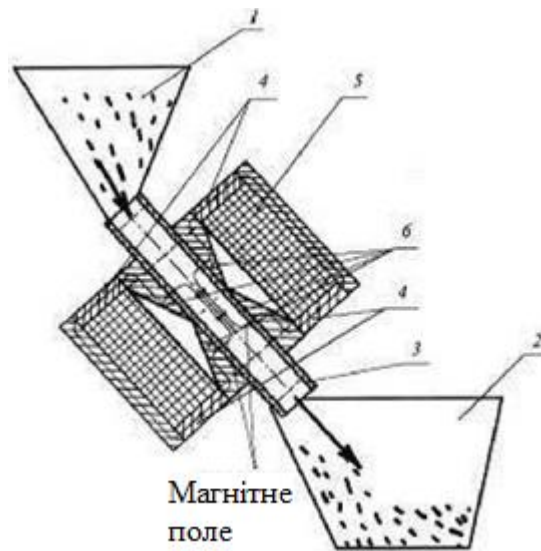


Рис. 1.2. Установка для передпосівної обробки насіння в магнітному полі:

1 – завантажувальний бункер; 2 – приймальний бункер обробленого матеріалу;

3 – діамагнітна труба; 4 - циліндричний корпус із феромагнітного матеріалу;

5 - магнітопровід, що охоплює котушку, що намагнічується; 6 - втулка, що центрує, з немагнітного матеріалу

Відома установка для передпосівної обробки насіння (рисунок 1.3), що складається зі статичного регульованого перетворювача частоти, підключеного на вхід високовольтного трансформатора, вторинна обмотка якого підключена до вертикальних електродів індуктора. Індуктор у верхній частині має шток з діелектричного матеріалу, що служить для зміни відстані (або кута нахилу) між електродами. Над індуктором встановлений бункер із зерном. Таке конструктивне виконання індуктора дозволяє змінювати відстань між електродами на їх довжині. Напруженість електричного поля змінюється від мінімальної у верхній частині до максимальної у нижній [26]. Цей пристрій ускладнює вибір та завдання технологічного режиму обробки, оскільки змінними є величина напруженості у шарі насіння, товщина шару, швидкість пересування, експозиція.

Недоліками цього пристрою є:

1. Нерівномірне регулювання міжелектродної відстані.
2. Зовнішнє розташування високовольтного електрода, що погіршує

безпека робіт.

3. Нерівномірність товщини шару насіння.
4. Відсутність пристрою регулювання потоку насіння.
5. Великий зазор між шаром насіння та електродім, створений товщиною стрічки та повітряним проміжком.

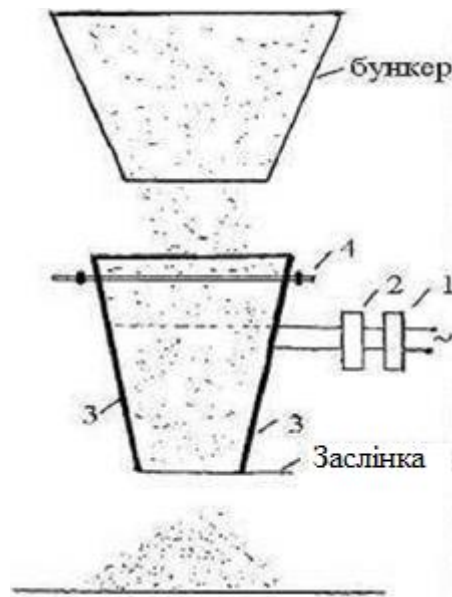


Рис. 1.3. Пристрій для обробки насіння:

1 - регульований статичний перетворювач частоти; 2 - високовольтний трансформатор; 3 - електродиіндуктора; 4 – шток із діелектричного матеріалу

Шмігель В.В., Ніязов А.М. запропонували машину для передпосівної обробки насіння в електричному полі (рис. 1.4). Вона містить бункер завантаження, потенційний і заземлений плоский електроди, між якими розташована верхня гілка прогумованої стрічки транспортера з суцільними діелектричними бортами висотою 6,5 см і шаром насіння висотою 5 см на стрічці [27].

Недоліками цього пристрою є:

1. Відсутність регулювання товщини шару насіння.
2. Неможливість забезпечення стабільної товщини шару насіння, і, отже, стабільної напруженості поля через рух стрічки.
3. Зовнішнє розташування високовольтного електрода, що погіршує

безпеку робіт.

4. Значне споживання енергії транспортування маси насіння.

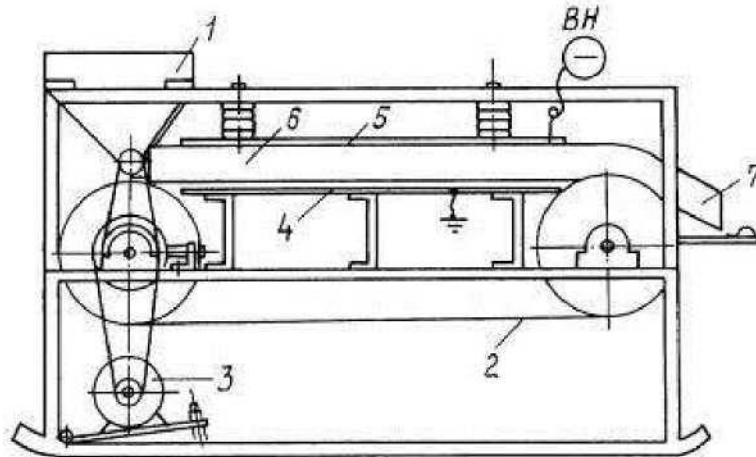


Рис. 1.4. Машина для передпосівної обробки насіння в електричному полі: 1 – завантажувальний бункер; 2 – стрічковий транспортер; 3 – привід; 4 – заземлений електрод; 5 – потенційний електрод; 6 – діелектричний борт із ізоляційного матеріалу; 7 – випускний лоток

1.3. Фізичні характеристики шару насіння та оцінка ступеня заповнення ним обсягу активатора

Для формування електричних параметрів і опису процесів, що відбуваються в активаторі за наявності шару насіння, що рухається, необхідно враховувати ряд факторів.

Одним із важливих факторів є будова насіння рослин. Структурною та функціональною одиницею насіння є клітина, що має, окрім біологічних, хімічних властивостей, ряд фізичних характеристик. Наприклад, електричний опір мембрани – 106 Ом і більше, протоплазми – 103 Ом та більше; відносна діелектрична проникність мембрани – 2-9; протоплазми – 40-80 [28].

Неоднорідність складових компонентів різної насінневої маси зумовлює її фізичні властивості. Ці особливості також враховуються при розробці технологічних схем роботи активатора з шаром, що рухається.

Насіннева маса має гарну сипкість. Ступінь сипкості неоднакова і залежить від форми, розміру, стану та характеру поверхні насіння, а також від форми та стану

поверхні, по якій вони переміщуються [29].

Найбільшу сипкість мають партії, що складаються з насіння кулястої форми з гладкою поверхнею.

Сипкість характеризується двома показниками: кутом природного укусу та кутом тертя. За кут природного укусу приймають кут між діаметром основи та утворює конуса, що виходить при вільному падінні насіння на горизонтальну площину. Чим менший кут природного укусу, тим більше сипкість [30].

Необхідно також враховувати, що насіння містить певну кількість вологи. У кондиційному насінні вміст вологи становить (9-15 %). Це не дозволяє приймати насіння у вигляді ідеального діелектрика. Вода є сильнополярною рідиною ($\epsilon = 88$) з низьким питомим опором порядку $10^3 - 10^4$ Ом·м. Складний та неоднорідний хімічний склад різних частин насіння обумовлює процеси, що відбуваються всередині них при електричному впливі.

Насінневий шар є складовою структурою, що складається з двох компонентів: насіння та повітря. Двокомпонентні структури поділяють на два типи: матричні та взаємопроникні. Шар насіння можна приймати матричною структурою, в якій повітря є матрицею, а насіння - наповнювачем [31].

Найбільш щільний ступінь заповнення насінням об'єму досягається для двох відомих способів заповнення: у ущільненому «прямокутному порядку» (для виду зверху) – рисунок 1.5 та у разі ущільненого «шахового порядку» (вид зверху) – рисунок 1.6. Доступний ступінь заповнення насінням об'єму β відповідно дорівнює 0,737 і 0,740.

Теоретичні розрахунки дають значення ступеня заповнення насінням обсягу в діапазоні

$$0,523 < \beta < 0,740 \quad (1.1)$$

Відомі експериментальні вимірювання, виконані методом витіснення насінням об'єму води, за визначенням найбільшого ступеня заповнення об'єму насінням таких культур: сої, гороху, пшениці, гречки, проса [32]. Насіння цих культур має як різну форму, так і геометричні (зокрема об'ємні) розміри (табл. 1.1).

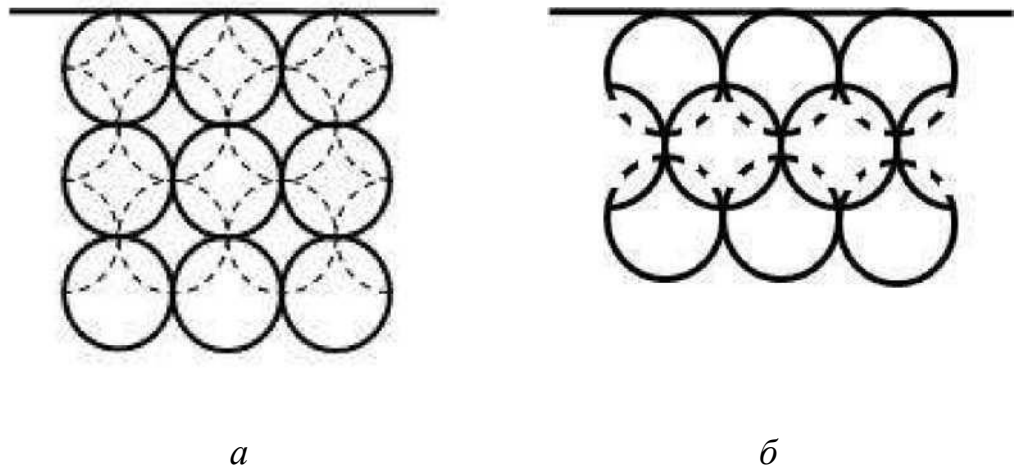


Рис. 1.5. «Прямокутний» спосіб заповнення насінням сферичної форми вимірювального об'єму для $\beta = 0,737$: *a* – вид зверху; *б* – вид збоку

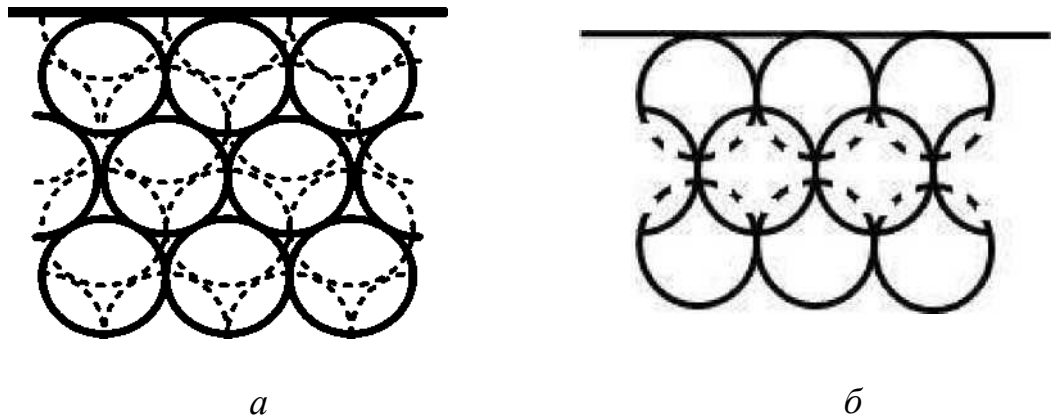


Рис. 1.6. «Шаховий» спосіб заповнення насінням сферичної форми вимірювального обсягу β для $\beta = 0,740$: *a* – вид зверху; *б* – вид збоку

Таблиця 1.1

Ступені заповнення об'єму насінням сільськогосподарських культур, а також їх маса та об'єм

Параме	Соя	Горох	Пшени	Гречка	Просо
m, мг	131,2	165,0	38,4	22,7	6,6
V, мм ³	101,2	128,0	29,0	17,2	5,0
β , %	65	65	61	64	66

Насіння цибулі за розмірами та об'ємом менше насіння гречки, але більше насіння проса. Тому потрібна ступінь заповнення об'єму може бути обрана рівною 65 %.

У освіті однорідної структури заповнення обсягу велике значення має також гранулометричний склад.

Проведений аналіз підтверджує висновок про те, що ступінь заповнення насінням об'єму активатора та їхня вологість є визначальними факторами у виборі раціонального режиму роботи при передпосівній обробці. Висновки та постановка завдань наукових досліджень.

1.4. Завдання досліджень

Проаналізувавши наукові публікації щодо використання імпульсного електричного поля для передпосівної обробки насіння ми зробили такі висновки:

- доза обробки, одержувана насіннєвим матеріалом, не однакова, так як при русі в зоні обробки насіння знаходяться різний час, рухаються з різними швидкостями, мають різну товщину шару, що обробляється;

- недостатньо вивчені електричні процеси, що відбуваються у насіннєвому шарі;

- всі дослідження мають виключно експериментальний характер;

- немає обґрунтованих та сформульованих даних щодо напруженості у шарі насіння.

- для передпосівної обробки насіння електричним полем використовуються установки з різними електричними та геометричними параметрами;

- у всіх випадках вказується величина напруженості поля в зоні оброблюваного насіння, проте недостатньо досліджено її раціональне значення;

- немає систематизованих та обґрунтованих даних про оптимальні розміри товщини шару насіння, повітряного зазору, співвідношення розмірів товщини шару та зазору.

У зв'язку з цим ми сформульовані такі завдання дослідження:

1. Дослідити електротехнологічні режими низьковольтного активатора установки для передпосівної обробки насіння імпульсним електричним полем, які покращують їх посівні якості

2. На основі отриманих результатів розробити інженерну методику

визначення раціональних режимів роботи вказаного активатора.

3. Побудувати математичні моделі методом регресійного аналізу, що описують експериментальні результати досліджень впливу параметрів імпульсного електричного поля та часу обробки на посівні якості насіннєвого матеріалу.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ НИЗКОВОЛЬТНОГО АКТИВАТОРА З РУХОМИМ ШАРОМ НАСІННЯ

2.1. Аналіз однорідності розподілу напруженості електричного поля в оброблюваному шарі насіння всередині активатора

Насіннева маса, що піддається обробці, у шарі гетерогенна, оскільки складається з двох компонентів: насіння та повітря. Щільність та кількість повітряних включень цієї структури може бути різною по всьому об'єму.

Аналіз матеріалів ряду авторів показує, що в активаторі обробка шару насіння проводиться за наявності повітряного зазору між шаром насіння та електродом. Можливі такі комбінації стану шару насіння в електродній зоні активатора:

2. неущільнений шар у вільному вертикальному падінні;
3. шар на ізолюваній підкладці без торкання електродів;
4. шар з одностороннім торканням електрода;
5. шар на вібруючій підставці.

До цього переліку слід додати варіант, що розробляється в даній роботі: шар з двостороннім дотиком електродів (без повітряного зазору), в якому, за нашим припущенням, легше контролювати струми і напруженість поля. Це важливо, оскільки для обробки насіння обов'язковою вимогою є однорідність напруженості електричного поля у всіх перерізах шару, що знаходиться в активаторі. При вільному формуванні шар немає строго однакової товщини, отже, напруженість електричного поля вздовж нього різна.

Розглянемо активатор із одностороннім дотиком електродів шаром насіння. Шар з одностороннім торканням електрода відповідає наявності однорідного ізоляційного прошарку між другим електродом та шаром насіння. Цей прошарок може бути повітряним або з діелектричного матеріалу. Умовно в цьому випадку можна приймати міжелектродний простір як двошаровий конденсатор, в якому один насінневий шар. Для спрощення аналізу можна прийняти насінневий шар як

однорідний діелектрик з відомими характеристиками середньої діелектричної проникності і провідності. Поле та напруга у міжелектродному просторі активатора в цьому випадку можна аналізувати за теорією багатошарового конденсатора [94].

Розглянемо переріз вертикальною площиною активатора з реальним шаром насіння за наявності повітряного прошарку (рисунк 2.1). Нехай висота шару насіння вздовж електродів сильно змінюється. Проаналізуємо значення напруженості електричного поля в зоні з мінімальною та максимальною товщиною шару. Припустимо, що на інтервалі Δx вздовж електродів висота шару незмінна.

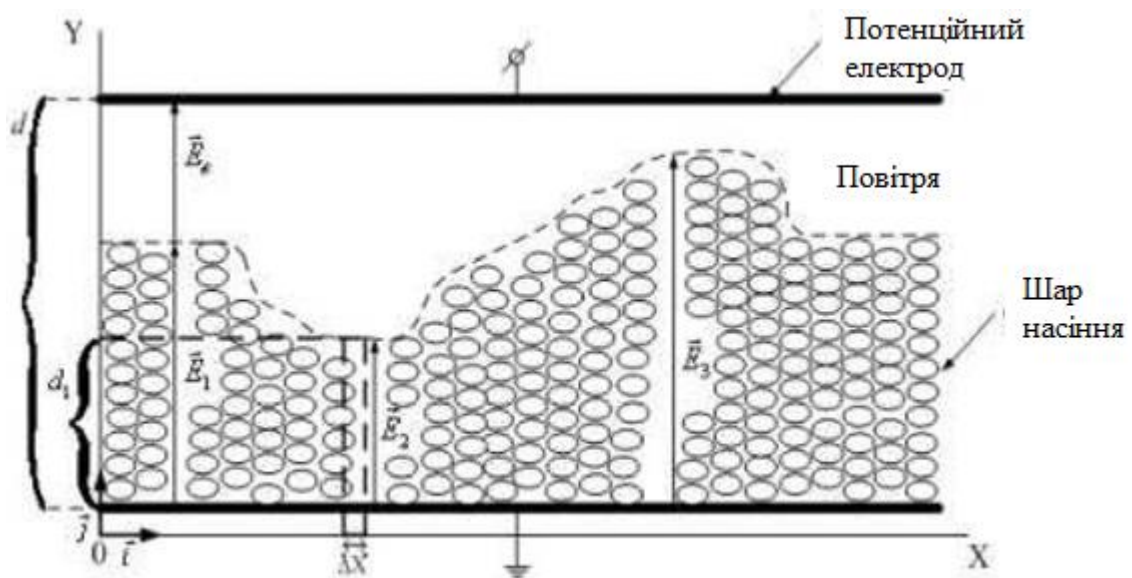


Рис. 2.1. – Переріз вертикальної площини активатора з реальним шаром насіння за наявності повітряного прошарку

Електричне поле у міжелектродному просторі на інтервалі Δx плоскопаралельне, тобто. вектор напруженості електричного поля перпендикулярний площині електрода. Напруга U між електродами дорівнює сумі падіння напруги на повітряному проміжку товщиною $(d - d_1)$ і на шарі насіння товщиною d_1 .

$$U = U_p + U_c, \quad (2.1)$$

де U_p - напруга на повітряному проміжку; U_c - напруга на шарі насіння, В.

Оскільки вектор напруженості електричного поля перпендикулярний поверхні

електродів активатора і поверхні шару насіння, значення напруженостей поля в повітряному проміжку і в шарі насіння обернено пропорційні їх діелектричним проникностям [32]:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{сн} - M_0)\omega_*^x}{\beta_\delta(\omega_0 - \omega_n\omega_*)}}.$$

$$\frac{E_p}{E_c} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p}, \quad (2.2)$$

де E_p та E_c - напруженості електричного поля на шарі повітря та шарі насіння відповідно, В/м; ε_p і ε_c - діелектричні проникності повітря та шару насіння відповідно.

Вираз (2.1) та (2.2) можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} E_p(d - d_1) + E_c d_1 &= U \\ E_p \varepsilon_p &= E_c \varepsilon_c \end{aligned} \quad (2.3)$$

Розв'язавши (2.3), отримаємо:

$$E_p = \frac{U}{d \left[1 - \frac{d_1}{d} \left(1 - \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_c} \right) \right]}, \quad (2.4)$$

$$E_c = \frac{U \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_c}}{d \left[1 - \frac{d_1}{d} \left(1 - \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_c} \right) \right]}, \quad (2.5)$$

Зі співвідношень (2.4) і (2.5) випливає, що напруженість електричного поля у шарі повітря більша, ніж у шарі насіння, оскільки $\varepsilon_p \ll \varepsilon_c$. При зміні товщини шару насіння суттєво змінюється напруженість поля усередині нього. Дійсно, диференціюванням співвідношення (2.5) отримуємо вираз для відносної зміни напруженості електричного поля в шарі насіння залежно від його товщини d :

$$\left(\frac{\Delta E_c}{\Delta E_c^{\max}} \right) = \left(\frac{\Delta d_1}{d} \right) \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{1 - \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_c}} \right) - \frac{d_1}{d}} \right]. \quad (2.6)$$

Припустимо, для оцінки $d_1 = 0,9d$, $\varepsilon_p = 1,0$ і $\varepsilon_c \ll 8,0$. Тоді $\Delta d_1 = d - d_1 = 0,1d_1$ і із

співвідношення (2.6) отримуємо, що відносна зміна напруженості електричного поля в шарі насіння при зміні його товщини всього на 10 % від максимальної товщини заповнення становить 8,3 %. Якщо $d_1 = 0,8d$ і $\Delta d_1 = 0,2d_1$, то зазначена зміна напруженості електричного поля становитиме вже 58,3 %, що дуже багато. Отже, неоднорідність заповнення по товщині шару насіння істотно впливає на величину діючої на насіння величини напруженості електричного поля. Звідси випливає, що дуже важливо забезпечити однакову товщину шару насіння у всьому об'ємі активатора. Ця вимога робить завдання розробки певної конструкції активатора дуже актуальною.

Необхідно відзначити, що іншою можливою формою активатора може бути циліндрична. Тоді активатор може являти собою два коаксіально розташованих циліндри, простір між якими заповнюється насінням досить щільно і однорідно. Однак напруженість електричного поля всередині цього активатора, що представляє циліндричний конденсатор, суттєво змінюється вздовж його радіусу, згідно з виразом:

$$E(r) = \frac{U}{l \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}, \quad (2.7)$$

де l - довжина циліндрів активатора, м; r_1 і r_2 - відповідно радіуси зовнішнього та внутрішнього циліндрів, м; U - прикладена зовнішня напруга до електродів (циліндрів), В.

Тому нами була обрана форма активатора у вигляді конденсатора з плоскими взаємопаралельними прямокутними електродами.

2.2. Електричні параметри насіння сільськогосподарських культур

Поряд із конструктивною формою активатора істотне значення для режимів його роботи мають електричні характеристики власне оброблюваного насіння (у нашому випадку цибулі), з яких насамперед необхідно виділити діелектричну проникність та електропровідність насіння. Як зазначалося раніше, усередині активатора навіть при найбільш щільному заповненні його внутрішнього об'єму ми

маємо, по суті, суміш «насіння-повітря». Для малих ступенів (0,1) заповнення об'єму включеннями відоме класичне співвідношення Ліхтенеккера-Ротера для діелектричної проникності суміші:

$$\lg \varepsilon_c = y_1 \lg \varepsilon_1 + y_2 \lg \varepsilon_2, \quad (2.8)$$

де y_1 та y_2 - об'ємні частки обох компонентів, а ε_1 і ε_2 – відповідно їх діелектричні проникності.

При високих ступенях заповнення включення об'єму суміші ($\beta > 0,5 \dots 0,7$) експериментально підтверджено перевагу формули Бруггемана:

$$\left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \right) \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_c}} = 1 - \beta, \quad (2.9)$$

де β - ступінь заповнення об'єму включеннями (тобто насінням); інші позначення як у співвідношенні (2.8).

За співвідношенням (2.9) можна досить точно перерахувати експериментально виміряну величину ε_c в діелектричну проникність насіння - ε_2 , коли $\varepsilon_1 = 1,0$ (тобто повітря).

Як приклади наведемо експериментально визначені електромеханічним методом діелектричні проникності насіння з робіт деяких авторів: Ніязова А.М., Шмігеля В.В. (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Відносні діелектричні проникності, виміряні для низки
сільськогосподарських культур

Найменування культури	ε
Пшениця	18
Овес	10
Ячмінь	8
Повсюди	160
Огірок	15
Кабачок	10
Гарбуз жовтий	15
Гарбуз білий	15

У роботі Хайновського В.І., Козирева А.Є. наводяться експериментальні дані з діелектричних параметрів, виміряних методом діелектричного конденсатора на

досить низьких частотах $f = 120$ Гц і $f = 1000$ кГц, які відображаються в таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Електричні параметри для насіння декількох сільськогосподарських культур

Частота, Г	Параметр	Сільськогосподарська культура				
		Соя	Горох	Пшениця	Гречка	Просо
120	C_c , пФ	77,0±2,5%	71,6±2,0%	78,5±1,4%	70,7±1,0%	76,4±1,0%
	ε_c	15,7±2,7%	14,6±2,3%	16,0±1,7%	14,4±1,4%	15,5±1,4%
	$tg\delta$	0,44±5,5%	0,50±3,7%	0,44±5,6%	0,35±6,7%	0,35±4,2%
	ε_2	68±4,6%	61±3,9%	72±3,1%	60±2,6%	68±2,6%
	$k \cdot 10^8$, (Ом·м) ⁻¹	4,6±6,0%	4,9±4,2%	4,6±5,8%	3,4±6,8%	3,6±4,3%
1000	C_c , пФ	43,3±2,0%	45,5±1,0%	51,3±0,35%	47,9±0,7%	53,6±0,2%
	ε_c	8,8±2,3%	9,3±1,4%	10,4±1,1%	9,7±1,2%	10,9±1,0%
	$tg\delta$	0,39±2,4%	0,30±2,8%	0,32±2,6%	0,28±5,3%	0,26±3,0%
	ε_2	26±3,9%	29±2,6%	35±2,0%	31±2,3%	37±2,0%
	$k \cdot 10^8$, (Ом·м) ⁻¹	19,1±3,1%	15,4±3,0%	18,5±2,6%	15,3±5,4%	16±3,0%

У таблиці 2.2 використані такі позначення: C - електрична ємність конденсатора суміші «насіння-повітря» при максимально щільному заповненні; ε_c і ε_2 - відповідно діелектричні проникності суміші «насіння-повітря» та насіння; $tg\delta$ - тангенс діелектричних втрат, виміряний для насіння, що заповнює об'єм вимірювального конденсатора; k - коефіцієнт питомої електропровідності шару насіння у вимірювальному конденсаторі (тобто «затиснутого» між електродами плоского конденсатора).

Як випливає з таблиць 2.1 і 2.2, дані діелектричної проникності насіння істотно залежать як від методу, так і від частоти, на якій виконуються вимірювання.

Оскільки товарне насіння, що зберігається на елеваторах, має за ГОСТом кінцеву вологість (<14%), то має сенс обговорити їх електропровідність в обсязі активатора, що визначається об'ємною та поверхневою провідністю насіння. Об'ємна електропровідність насіння, як і твердих діелектриків, має не електронний,

а іонний характер. Це пов'язано з тим, що ширина забороненої зони в діелектриках (W) істотно більше середньої теплової енергії фотонів решітки діелектрика (тобто $W \gg kT$), тому лише мізерна кількість електронів може відриватися від своїх атомів за рахунок теплового руху. Іони ж часто виявляються слабо пов'язаними у вузлах решітки, і енергія W , необхідна для їх відриву, можна порівняти з kT . Тому, незважаючи на меншу рухливість іонів у порівнянні з рухливістю електронів, іонна провідність виявляється більшою за електронну за рахунок більшої концентрації вільних іонів:

$$n_{\text{іон}} q \mu_{\text{іон}} \gg n_{\text{ел}} q \mu_{\text{ел}}$$

де $n_{\text{іон}}$ і $n_{\text{ел}}$ - іонна та електронна електропровідність відповідно, См; q – заряд іона, Кл; e – заряд електрона, Кл; $\mu_{\text{іон}}$ і $\mu_{\text{ел}}$ – рухливість іонів та електронів відповідно, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Тому носіями заряду в діелектриках зазвичай є іони малих розмірів, з високою рухливістю.

Загалом у діелектриці є кілька видів носіїв заряду. Іонна електропровідність супроводжується перенесенням речовини: позитивні іони рухаються до катода, а негативні - до анода. Зазначений електроліз сильно проявляється лише за високих постійних напруг і за підвищених температурах.

Шар насіння може бути представлений електричною схемою заміщення у вигляді послідовно з'єднаних опорів витоків, зашунтованих паралельно включеною електричною ємністю кожного насіння. Внаслідок торкання насіння один з одним, повна схема заміщення для них усередині активатора є послідовно-паралельне з'єднання опорів та ємностей всіх насіння всередині активатора. Як найпростіший приклад на рис. 2.2 представлені можливі лінії струму через насіння, що визначаються їх поверхневою та об'ємною провідностями.

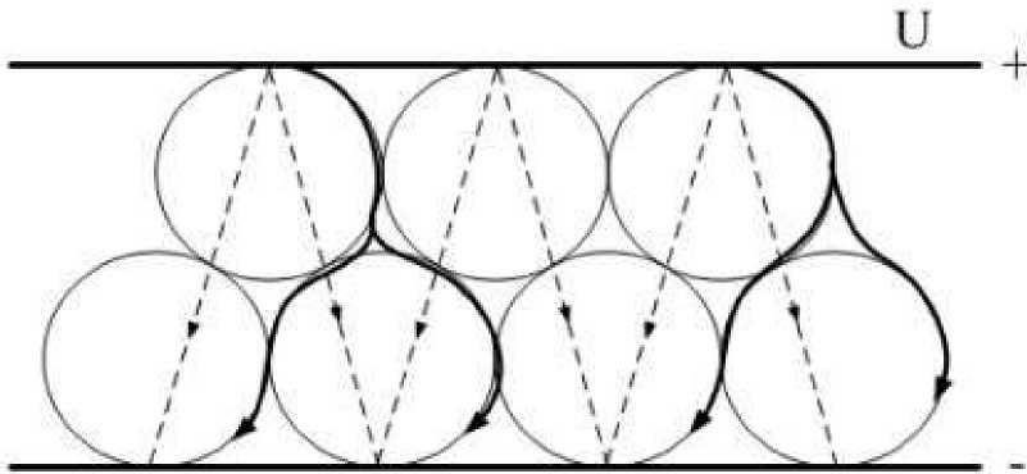


Рис. 2.2. Схематичне зображення ліній поверхневого та об'ємного струмів витоку через насіння: - - - - об'ємні струми, ----- поверхневі струми

Зазначимо, що поверхнева електропровідність діелектриків створюється завдяки неминучому зволоженню, окисленню, забрудненню тощо поверхневих шарів, тому зазвичай діелектрик характеризується значенням питомого поверхневого опору:

$$\rho_i = R_s \frac{b}{h}, \quad (2.11)$$

де h - відстань між паралельними один одному крайками електродів м; b - довжина електродів, м.

Дуже скрутним виявляється визначення поверхневого опору і тонких шарів твердих діелектриків, оскільки практично неможливо відокремити поверхневі струми витоку від об'ємних. У шарі насіння кожна насінина має кілька точкових контактів і при більших напруженнях електричного поля значення поверхневого опору може суттєво зменшуватися, що підтверджується проявом пробійної напруги шару насіння.

Поряд із розглядом електрофізичних властивостей насіння необхідно досліджувати електричні процеси власне в активаторі під час роботи. Для цього потрібно розглянути схеми заміщення активатора.

2.3. Аналіз та розрахунок електричних схем заміщення активатора

Конструктивно активатор являє собою плоский конденсатор, що містить у собі два дотичних плоскопаралельних діелектричних шари. Один із шарів в активаторі – це суміш насіння та повітря, другий – ізолятор (повітря). Кордон шару насіння і повітря приймаємо за площину одного потенціалу.

Щоб отримати найбільш рівномірний вплив електричного поля (зовнішнього напруги), виключимо з розгляду шар повітря. Відповідна електрична схема заміщення представлена на рис. 2.3. Для простоти розрахунків розглянемо спочатку ідеальний випадок, коли нехтуємо малим послідовним опором контактів та індуктивністю L кабелю, що підводить (тобто $z_k = 0, L=0$). Ця схема заміщення дозволяє досить повно представити (розрахувати) всі три стадії роботи активатора: включення, режим, що встановився, відключення.

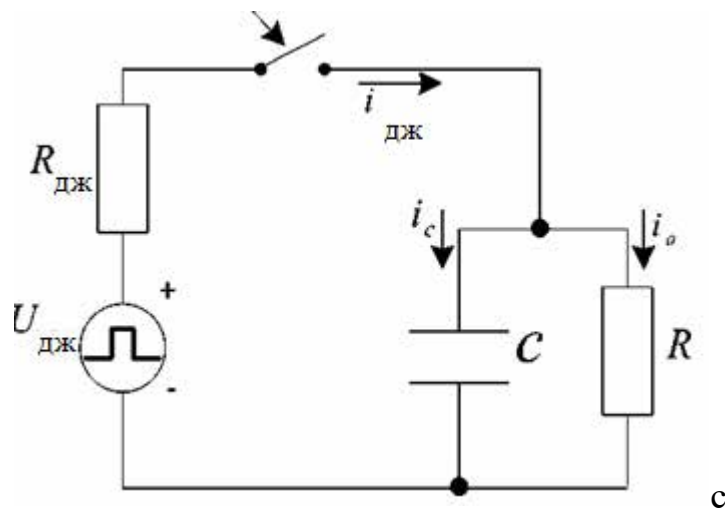


Рис. 2.3. Спрощена електрична схема заміщення активатора при індуктивності $L = 0$

Розрахуємо спочатку режим заряджання електричної ємності активатора імпульсом напруги. При цьому для простоти тривалістю фронту імпульсів напруги нехтуємо (не враховуємо).

Система рівнянь, що описує процес заряджання конденсатора, має вигляд:

$$\begin{aligned} i_{\text{дж}} &= i_c + i_a; \\ i_c &= C \frac{dU_c}{dt}; \\ U_c &= i_a r; \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$U_{дж} = i_{дж} R_{дж} + U_C ;$$

$$R_{дж} = \frac{U_{\max}}{J_{\max}} .$$

Ця система рівнянь у кінцевому вигляді зводиться до неоднорідного лінійного диференціального рівняння першого порядку:

$$\frac{dU_C}{dt} + \frac{U_C}{\tau} = \left(\frac{C}{R_{дж}} \right) U_{дж} ; \quad \tau = \frac{CR_{дж}R}{R_{дж} + R} , \quad (2.13)$$

де τ - постійна включення генератора напруги через його вихідний опір R .

Розв'язок рівняння (2.13) має вигляд:

$$U_C = \left(\frac{U_{\max} R}{R_{дж} + R} \right) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) . \quad (2.14)$$

Підставивши (2.14) у (2.12), отримуємо для струмів співвідношення:

$$i_a = \left(\frac{U_{\max}}{R_{дж} + R} \right) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) , \quad (2.15)$$

$$i_C = \left(\frac{U_{\max}}{R_{дж}} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} , \quad i_{дж} = \frac{U_{\max}}{R_{дж} + R} . \quad (2.16)$$

Експериментально встановлено, що шар насіння в активаторі товщиною 50 мм має такі параметри: електрична ємність $C = 510,2$ пФ, опір витoku для амплітуди напруги 200 В рівний $R=100$ МОм.

За інформацією розробників генератора імпульсів напруги, вихідний опір генератора в діапазоні частот повторення імпульсів 100...1000 Гц можна взяти приблизно рівним $R_{дж} = 100$ Ом. Тоді значення постійної часу $\tau = 5,1 \cdot 10^{-8}$ с, тобто. вона мала. З огляду на це також мала величина часу наростання напруги на електричній ємності активатора, яка, згідно з рис.2.4, має величину $\tau_{фр} = 115$ нс. За фізичним змістом це означає, що час, за який на конденсаторі через опір джерела встановлюється високий рівень напруги, істотно менше тривалості імпульсу напруги, оскільки $t_{им} = 5,0 \dots 30,0$ мкс.

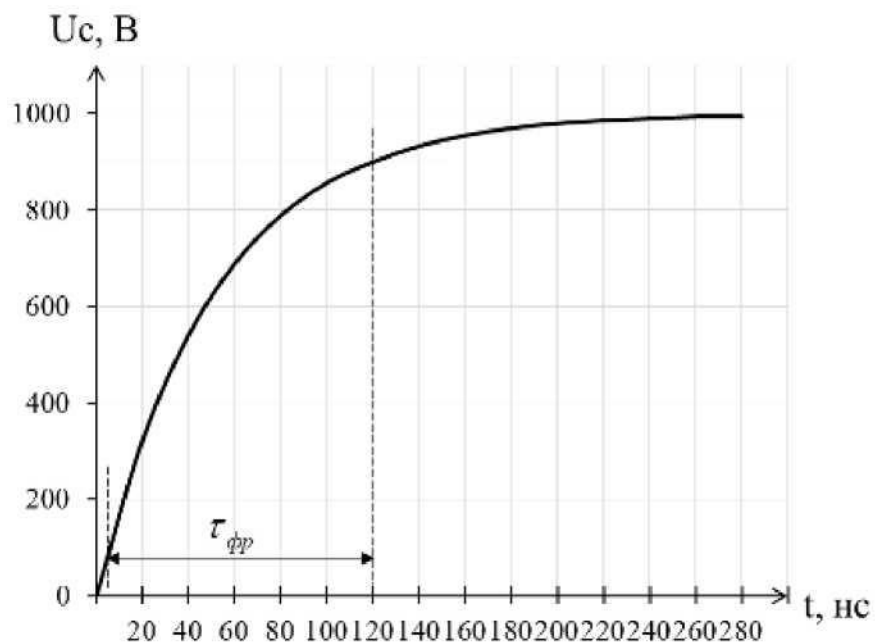


Рис. 2.4. Напряга заряду ємності активатора через опір джерела: $C=510,1$ пФ, $R_{дж}=100$ Ом, $\tau_{\phi p} = 115$ нс

Зазначимо, що для побудови графіків напруги та струмів нами використано математичну програму чисельного моделювання MathCAD 14.0, у якій застосовується операторний метод розв'язання системи рівнянь (2.12).

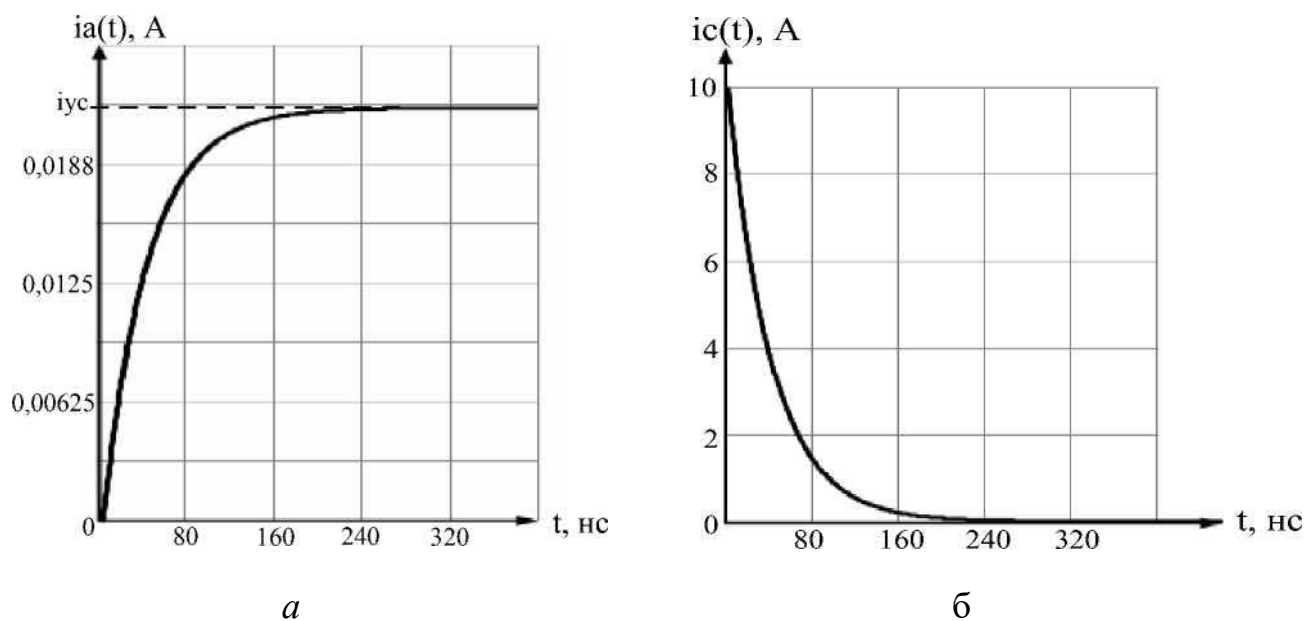


Рис. 2.5. Зміни у часі струмі активатора: a – активного; $б$ – реактивного

Сума струмів визначає струм джерела, який максимальний на початку імпульсу і зменшується в міру заряду конденсатора. Значення струму становить 0,022 А.

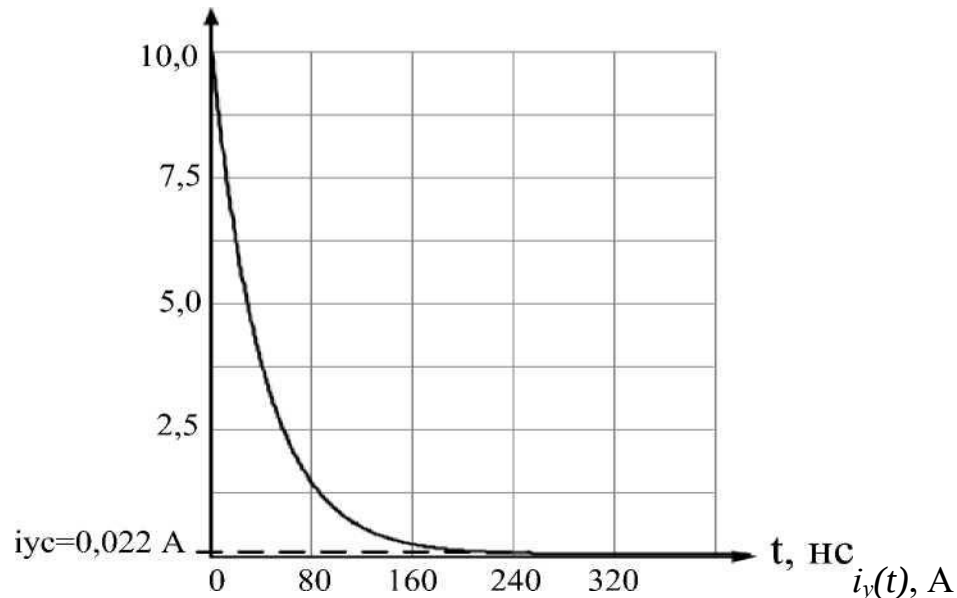


Рис. 2.6. Графік струму через джерело

2.4. Обґрунтування конструктивних особливостей активатора

Для переміщення вантажів застосовуються такі транспортерні пристрої:

1. гравітаційні;
2. механічні;
3. гідравлічні;
4. пневматичні [91].

При аналізі цих пристроїв та процесу переміщення насіння в них виявлено ряд недоліків:

5. нерівномірність товщини шару насіння;
6. високі енерговитрати.

На нашу думку, найбільш оптимальним є використання гравітаційних транспортерних пристроїв, що застосовуються для переміщення вантажу зверху донизу під дією сили тяжіння [91].

Застосування активаторів у вигляді спускних жолобів для процесу переміщення насіння краще з наступних причин:

7. відсутність приводного механізму та, як наслідок, відсутність витрат енергії;

8. простота конструкції та обслуговування.

Як недоліки слід відзначити незначну деформацію насіння, забивання жолобів при підвищенні їх вологості.

З метою зменшення деформації та подрібнення оброблюваного насіння швидкість його руху активатором обмежують. Процес обробки насіння в активатор можна подати у вигляді схеми (рисунок 2.12)

ЗАВАНТАЖЕННЯ АКТИВАТОРА



ОБРОБКА РУХОМОГО ШАРУ НАСІННЯ В ЗОНІ АКТИВАТОРА



ФАСУВАННЯ ОБРОБЛЕНОГО НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ В ТАРУ

Рис. 2.7. Схема обробки насіння в активаторі

Активатор має прямокутну форму розміром 1200x750 мм. Верхня і нижня стінки активатора виготовлені з провідного матеріалу (рисунок 2.8) і по суті є обкладками конденсатора. Товщина об'єму активатора регулюється за допомогою рухомих. змінюватися від 10 до 50 мм. Це дозволяє використовувати установку для обробки насіння різних культур.

Швидкість руху насіння в обсязі активатора регулюється кутом його нахилу, швидкістю обертання насіння барабана, що вивантажує. При цьому забезпечується переміщення насіння вниз «самотеком» з максимальною щільністю заповнення об'єму всередині активатора (тобто без порожнеч).

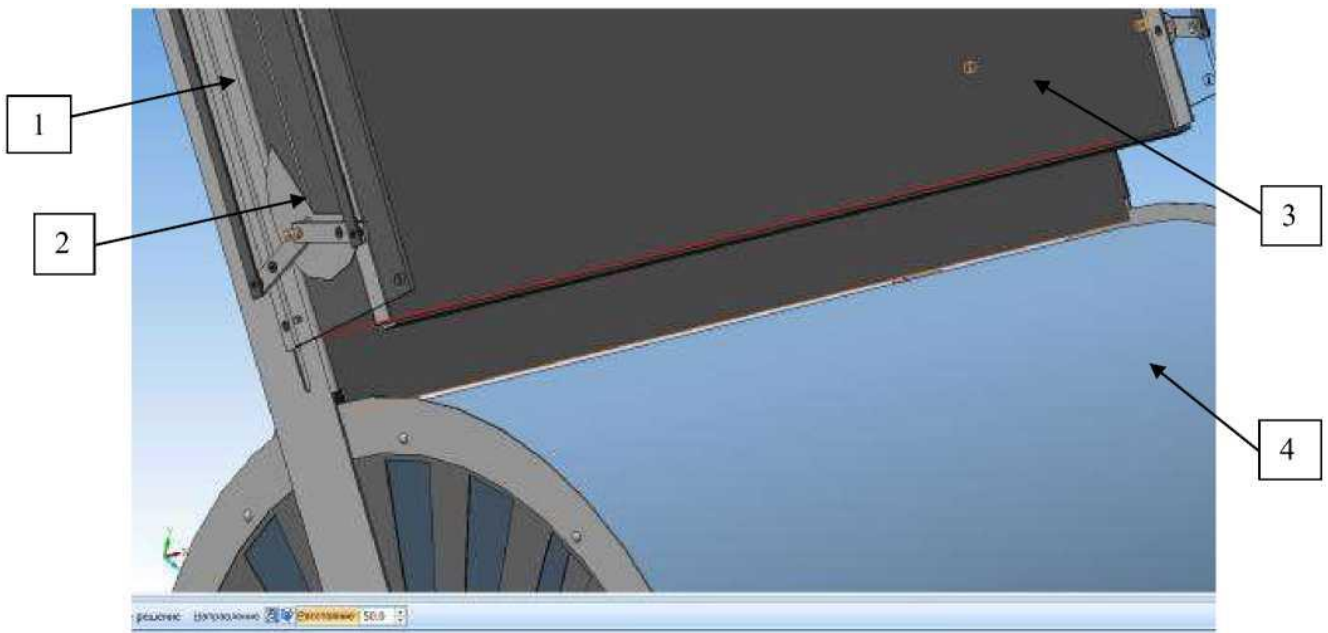


Рис. 2.8. Вузол обробки насіння в зоні активатора

Додаткове використання в установці під час руху насіння вібраторів дозволяє виключити утворення пробок при транспортуванні.

Швидкість та рух насіння в активаторі залежить від кута нахилу та початкової швидкості і може бути оцінена за співвідношенням:

$$v = \sqrt{2gH(1 - f_c \operatorname{ctg} \alpha) + v_0^2}, \quad (2.17)$$

де H - різниця верхнього та нижнього рівнів; $H = l \sin \alpha$, м; l - довжина жолоба, м; f_c - коефіцієнт опору жолоба; α - кут нахилу, необхідний для досягнення кінцевої швидкості;

При помірній швидкості переміщення насіння всередині об'єму активатора, і невеликому куті його нахилу коефіцієнт опору ринви f_c можна оцінити за виразом:

$$f_c = f + 1,38 \frac{h}{b}, \quad (2.18)$$

де f - коефіцієнт тертя руху насіння об жолоб, (0,3...0,5); h - висота шару насіння у жолобі, м; b - ширина жолоба, м.

Вважаючи (2.18) $f \sim 0,3$, $h=50$ мм, $b=750$ мм, отримуємо $f_c=0,39$. Припустимо також, що в русі насіння «самопливом» їх початкова швидкість дорівнює нулю ($v_0 = 0$). Експериментально встановлено, що оптимальний час обробки насіння в зоні активатора становить 6...8 с, а реальна швидкість руху насінневого шару всередині

активатора експериментально підібрана з міркувань усунення травмування та руйнування насіння. Вона істотно менша за величини швидкостей, одержуваних за співвідношенням (2.17), і становить 1,5...0,5 см/с. Ця обставина визначається тим, що рух насіння у жолобі активатора є прискореним. Тому величина кінцевої швидкості за співвідношенням (2.17) може виявитися більшою за граничне допустиме значення, що спричинить їх дроблення та подрібнення. Щоб уповільнити рух насіння, у конструкції активатора передбачається встановлення кінцевої ділянки з кутом нахилу меншим, ніж кут нахилу його основної ділянки.

У пропонованому активаторі для усунення зазначеного негативного ефекту на його виході встановлений барабан з регульованою швидкістю обертання, що дозволяє регулювати швидкість руху насіння в зоні і суттєво її зменшити.

Оцінимо кут нахилу активатора, використовуючи співвідношення (2.18) для кута природного укусу (нахилу). Отримуємо:

$$\sin \alpha = \frac{A^2 + f_c \sqrt{1 + f_c^2 - A^2}}{1 + f_c^2}. \quad (2.19)$$

де позначили $A = \frac{v^2}{2gH}$ і врахували, що за $v=1,0...0,5$ см/с, $H=1,2$ м, $A \approx 0,001 \ll f_c$.

Тоді з (2.19) отримуємо, що для забезпечення руху насіння в активаторі кут його нахилу повинен задовольняти умові:

$$\alpha \geq \arcsin \left(\frac{f}{\sqrt{1 + f_c^2}} \right). \quad (2.20)$$

При зазначених вище параметрах (2.20), отримуємо, що $\alpha > 21^\circ$.

Виходячи з розглянутих конструктивних параметрів активатора та питомої густини насіння цибулі, оцінимо продуктивність активатора. Вважаючи коефіцієнт заповнення рівним $\beta = 0,65$, густину насіння цибулі $\rho_c = 1300$ кг/м³, швидкість руху насіння $v = 1,5...0,5$ см/с, відповідне цій швидкості час обробки насіння $t_{\text{обр}} = 6...8$ с і враховуючи площу поперечного перерізу активатора $S_a = 72 \times 120$ см², отримуємо 1000 кг/год $< Q < 2000$ кг/год. Тут Q розраховували за очевидним співвідношенням:

$$Q = v S_a \rho_c. \quad (2.21)$$

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Визначення факторів та рівнів їх варіювання

Насінневий шар являє собою сукупність окремих насіння, кожне з яких реагує на зміну низки параметрів. Контрольованим параметром передпосівної обробки насіння є час відліжування totl. У дослідженнях, проведених вченими СтДАУ щодо впливу ІЕП на посівні якості насіння, виявлено найбільш раціональний час відлеження для низки культур, він становив 3-4 доби [45, 47, 110, 137, 138]. Тож у наших експериментах час відлеження прийнято 3 доби. Важливим параметром при обробці насіння ІЕП є експозиція, що визначає дозу - загальну кількість енергії, одержуваної насіннєвим матеріалом. Доза впливу визначає оптимальні параметри ІЕП для кожної частоти імпульсів електричного поля (такі, як напруженість електричного поля, час обробки, час відлеження, амплітуда імпульсів електричного поля). У камері низьковольтного активатора ми домагаємося рівномірності насінневого шару при його раціональній товщині, тому насіння, проходячи через простір активатора, одержують однакову енергетичну дозу обробки.

Вихідними параметрами насінневого матеріалу є посівні якості. У своїх дослідженнях ми визначали енергію проростання та лабораторну схожість.

3.2. Опис експериментального обладнання

Для визначення впливу імпульсного електричного поля на посівні якості насіння цибулі використовували експериментальну установку (рисунок 3.1).

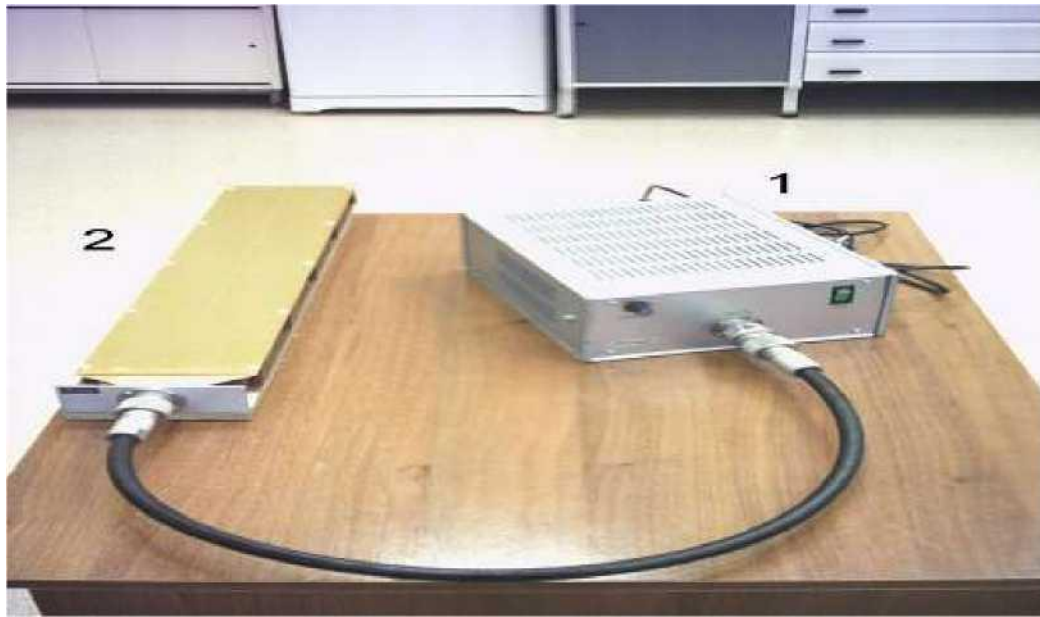


Рис. 3.1. Дослідження передпосівної обробки насіння імпульсним електричним полем: 1 – генератор високовольтної імпульсної напруги; 2 – плоский хвилевід із високоомним навантаженням

Діапазон зміни високовольтної імпульсної напруги генератора 1 $(3 \div 15) \cdot 10^3$ В, частота проходження імпульсів від 21 Гц до 300 Гц, тривалість імпульсів – τ , тривалості їх фронту та зрізу – τ_f , τ_{zp} , склали: $\tau = 5,4 \cdot 10^{-9}$ с; $\tau_f = 2,0 \cdot 10^{-9}$ с; $\tau_{zp} = 2,9 \cdot 10^{-9}$ с. В якості електричного навантаження генератора застосований плоский хвилевід з високоомним навантаженням на його кінці повітряним діелектриком. Напруженості електричного поля окремих гармонік у ньому робочому діапазоні частот становлять: $(0,2-2,4)$ В/м, тобто. досить малі. Оброблюване насіння сільськогосподарських культур міститься між обкладками «хвильовода – конденсатора» [47, 110].

Для скорочення часу обробки насіння сільськогосподарських культур розроблено установку з тривалістю проходження імпульсів від 5 до 50 мкс, частотою проходження імпульсів до 1000 Гц, що складається з лінії обробки насіння та апаратури електроживлення. Загальний вигляд установки представлений рисунку 3.2.

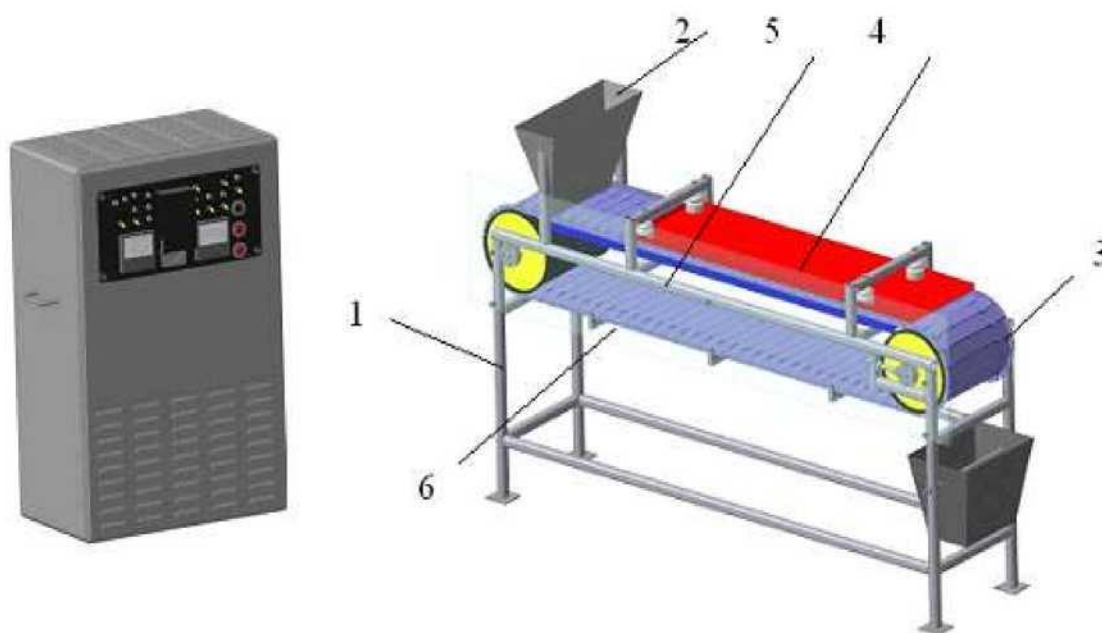


Рис. 3.2. Загальний вид установки для передпосівної обробки насіння імпульсним електричним полем

Лінія обробки насіння (рисунок 3.2) складається з рами 1, де знаходиться воронка 2 для засипання насіння в один шар; транспортера 3, виконаного з струмопровідного матеріалу, що приводиться в рух за допомогою редуктора, з'єднаного з електродвигуном, що знаходиться під одним потенціалом; плоского електрода 4, розташованого над транспортером, з регульованим зазором 10...30 мм, що є іншим потенціалом установки 5; чистиків 6, за допомогою яких транспортер очищається від пилу та інших дрібнодисперсних фракцій, що знаходяться у посівному матеріалі.

Для вивчення електричних характеристик насіннєвого шару як вимірювальний датчик ємності була використана конструкція у вигляді плоского конденсатора з регульованим зазором. Для дослідження використано кондиційне насіння з нормативною вологістю. Для візуального контролю заповнення датчика насінням бічні стінки виконані прозорими. Розміри датчика 0,2 x 0,4 м, зазор – до 0,05 м (рисунок 3.3).



Рис. 3.3. Робочий макет установки

Вимірювання активного опору проводилися мегаомметром ЕС0202/1-Г та ЕС0202/2-Г з метою оцінки фактичних величин, що відповідають робочим напруженням при обробці. Оцінка питомого опору виконувалася вимірюванням активного опору з подальшим розрахунком провідності.

Для дослідження та оцінки величини пробивної напруги шару насіння використовувався потенційний електрод діаметром 0,07 м із закругленими кінцями. При випробуваннях використовувалися установки для перевірки ізоляції на пробій змінною напругою промислової частоти 50 Гц. Фіксувалася напруга пробоею, що діє. Установка представлена на рис. 3.4



Рис. 3.4. Високовольтне випробувальне встановлення УВУ-50/70Л-03

Усі вимірювання виконані повіреними приладами.

Для дослідження електричних характеристик шару насіння використовувалися такі прилади:

Вимірювач RLC цифровий: LCR-819



Рис. 3.5. Прецизійний вимірювач LCR-819

Ваттметр цифровий універсальний GPM-8212.



Рис. 3.6. Ваттметр цифровий універсальний GPM-8212

Мультиметр цифровий Appa-205



Рис. 3.7. Мультиметр цифровий APPA-205

Осцилограф GOS-622G та пробники для осцилографа TESTEC TT-HVP



Рис. 3.8. осцилограф GOS-622G з пробником

Вологомір зерна РМ-410 ("Kett", Японія)



Рис. 3.9. Вологомір зерна РМ-410

Штангенциркуль (точність 0,05 мм).

3.3. Програма та методика експериментальних досліджень

Результати проведених теоретичних досліджень довели можливість застосування електричного імпульсного низького напруги для передпосівної обробки насіння.

Сутність передпосівної обробки насіння імпульсними електричними полями полягає в тому, що насіннєвий матеріал міститься в полі на певний проміжок часу.

Основними параметрами обробки насіннєвого матеріалу є:

2. напруженість електричного поля (В/м);
3. частота проходження імпульсів (Гц);
4. час обробки (с);
5. час відлежки (доба).

Ефективність застосування фізичних методів під час передпосівної обробки насіння залежить від роду стимулюючого впливу, дози, режимів обробки та інших факторів.

Спочатку насіння цибулі обробляли імпульсним електричним полем (ІЕП) на лабораторній установці (рисунок 3.1). Експеримент проводили за режимів, зазначених у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Варіанти режимів обробки насіння на установці

Напруженість, В/м	Час відлежки, доба.	Частота проходження імпульсів, Гц	Час обробки, хв
$5 \cdot 10^5$	3	21	75-100
		51	45-75
		110	35-60
		208	25-50
		300	4-24
	15	300	60
	30		
	30	300	120

Для визначення впливу частоти проходження імпульсів від 300 до 700 Гц зі збільшенням тривалості імпульсу від 5 до 30 мкс на енергію проростання та лабораторну схожість насіння експеримент проведено на установці «СПЕКТР-1» згідно з режимами, зазначеними в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Варіанти режимів обробки насіння на установці «СПЕКТР-1»

Напруженість, В/м	Час відлежки,	Тривалість імпульсу, мкс	Частота проходження	Час обробки, с
$1,6 \cdot 10^5$	3	5 - 30	300-700	3 - 8

Експеримент, виконаний на робочому макеті установки «УПОС-1» (рисунок 3.3) дозволив виключити повітряний зазор між обкладками конденсатора та насіннєвим шаром. Режими обробки, що використовуються під час роботи на «УПОС-1», представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Варіанти режимів обробки насіння на установці «УПОС-1»

Частота проходження імпульсів, Гц	Тривалість імпульсу, мкс	Час обробки, с	Напруга, В	Товщи на шару насіння, м	Час відлежки, доба.
300-1000	5-30	3-9	50-1000	0,004-	3

У лабораторних умовах відповідно до ГОСТ 12038-84 визначали енергію проростання та схожість насіння.

Для оцінки посівних якостей насіння закладали для пророщування у стерилізовані чашки Петрі на ложі з фільтрувального паперу. Для достовірності вимірювань досвід проводили у чотириразовій повторності по 100 насінин у кожній. Контролем служило необроблене насіння.

Для визначення впливу ІЕП на насіннєвий шар (без повітряного зазору) дослідження проведено на лабораторній установці (рис. 3.3). Насіння сільськогосподарських культур засипалося в датчик у вигляді плоского конденсатора з регульованим зазором (від 0,004 м до 0,05 м) для визначення кількісної оцінки геометричних та електричних характеристик шару насіння різних культур; аналізу електричних процесів у шарі насіння Мінімальний розмір зазору між електродами обмежувався розмірами насіння оброблюваних культур. Краї електродів датчика виконані з вигином у зовнішню сторону зниження концентрації

напруженості поля. Для візуального контролю заповнення датчика насінням бічні стінки виконані прозорими.

Для визначення геометричних розмірів насіння різних культур використовували метод випадкового відбору (по 100 насінин кожної досліджуваної культури). Визначення розмірів проводилося штангенциркулем шляхом вимірювання довжини-ширини-товщини насіння для розрахунку середньгеометричного значення.

За допомогою LCR-819 були зроблені вимірювання ємності датчика та шару насіння для розрахунку діелектричної проникності шару насіння.

Оцінка закономірностей зміни діелектричної проникності шару насіння проводилася на діапазоні частот, відповідних режимам обробки. Вимір ємності - за двома еквівалентними схемами: паралельною та послідовною - з подальшим порівнянням величин.

Вимірювання активного опору шару насіння проводилося при постійній напрузі в діапазоні 100-2500 В з метою оцінки фактичних величин, відповідних робочим напруженням при обробці. Питома опір шару насіння визначалося розрахунком за величиною виміряного активного опору.

Вимірювання величини та форми напруги, що впливає в активаторі на шар насіння при їх обробці, проводилося за допомогою осцилографа та високовольтного дільника напруги.

Визначення пробивної напруги досліджувалося на устаткуванні із змінною напругою промислової частоти 50 Гц. Випробування шару з мінімальною висотою, що дорівнює розміру насіння, проводилося на трьох насінинах, встановлених по вершинах рівностороннього трикутника. Високовольтний електрод розташовувався безпосередньо на насінні. Фіксувалася напруга пробною, що діє. Випробування проводилися з різними висотами шару насіння.

Проводився експеримент із насінням, на якому була сточена оболонка з обох сторін торкання електрода. Пробною фіксувався візуально іскрою.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати досліджень електричних характеристик шару насіння

Здатність насіння поглинати значну кількість води суттєво впливає на їх електричні характеристики, такі як провідність та діелектрична проникність. Вода поглинається насінням внутрішньо рівномірно за обсягом. При цьому не порушується автономність насіння як компонента середовища. Для посіву використовують насіння з нормованою низькою вологістю $\approx 9\%$, що дозволяє отримати достовірні стабільні електричні характеристики насіннєвих шарів при їх передпосівній обробці ІЕП.

У таблиці 4.1 та на графіку (рисунок 4.1) представлені результати експерименту з вимірювання діелектричної проникності шару насіння цибулі, що щільно (тобто максимально) заповнює об'єм активатора.

Таблиця 4.1

Діелектрична проникність шару насіння цибулі всередині активатора
залежно від товщини на частоті $f=600$ Гц

hшари, м	0,004	0,006	0,008	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$\epsilon_{\text{слоя}}$	4,19	5,41	6,08	6,83	7,35	7,79	8,26	8,46

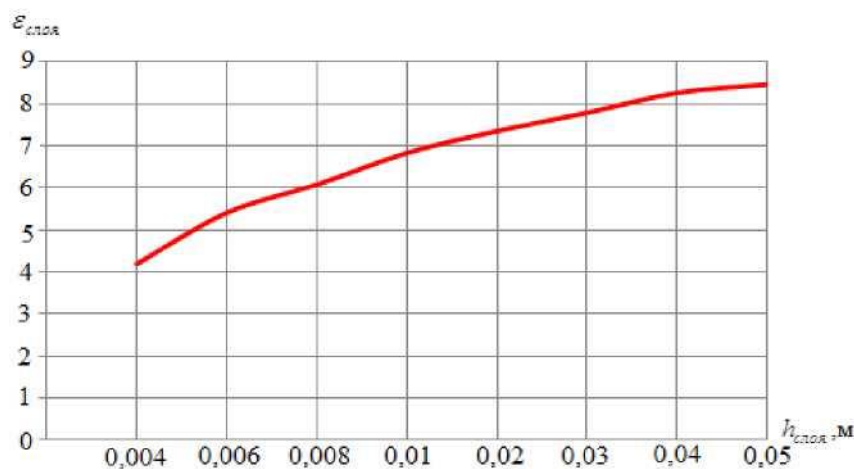


Рис. 4.1. Залежність діелектричної проникності від товщини шару насіння цибулі всередині активатора, виміряна на частоті 600 Гц

Із зазначених експериментальних результатів випливає, що діелектрична проникність шару насіння істотно залежить від його товщини. Для товщини шару насіння, що перевищує 45...50 мм, вона наближається до величини 8,5.

Вимірювання виконані для еквівалентних схем з послідовним та паралельним з'єднанням опору витoku та електричної ємності шару насіння. Результати вимірювань показують практично однакові значення ємності активатора обох еквівалентних схем.

Іншим важливим параметром шару насіння є його опір витoku при максимальному заповненні об'єму всередині активатора.

У таблиці 4.2 і рисунку 4.2 представлені експериментальні дані для електричного опору (опір «витікання») насіння цибулі для декількох товщин шару та різних величин амплітуди імпульсної напруги.

Таблиця 4.2

Експериментальні дані вимірювання електричного опору витoku (МОм) шару насіння цибулі різної товщини

Культура	Напруга, В	$h_{\text{шару}}, \text{ м}$							
		0,004	0,006	0,008	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Цибуля	100	5	9	13	30	60	90	130	170
	250	2	4	7	15	30	50	70	90
	500	1,2	2	4	6	15	25	45	60
	1000	0,8	1,5	2	3	6	13	25	35
	2500	0,5	1	1,5	2	4	6	10	15

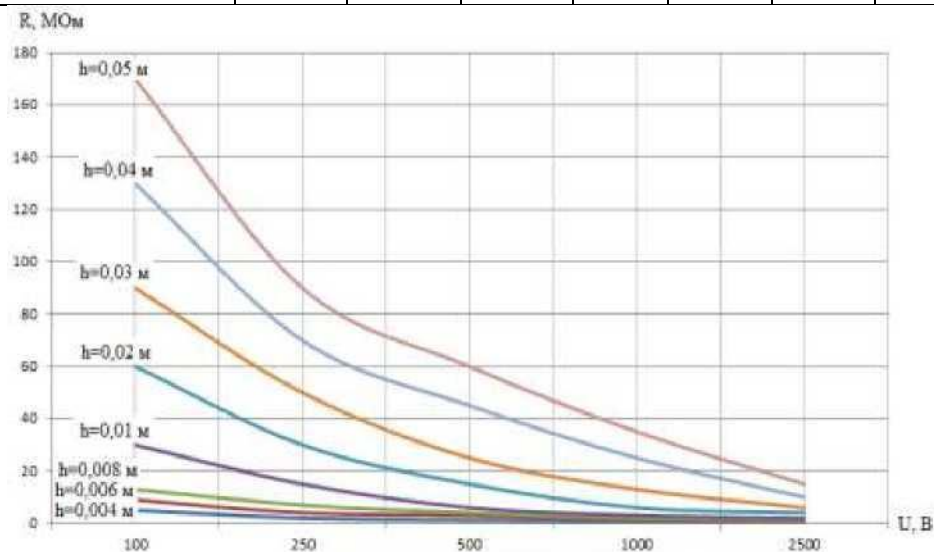


Рис. 4.2. Залежність електричного опору для шару насіння цибулі різної товщини від напруги

Залежності, наведені на рисунку 4.2, показують суттєве зниження опору насіннєвого шару цибулі за високих величин напруги на електродах конденсатора активатора. Це можна пояснити зростанням струмів витіку насіння, оскільки напруженість електричного поля збільшується від величини $2 \cdot 10^3$ В/м до $6 \cdot 10^5$ В/м при зміні товщини шару насіння в діапазоні 4...50 мм і для зміни напруг в діапазоні 100...2500 В.

Важливим електричним параметром насіння є величина напруги (напруженості електричного поля), що викликає електричний пробій і верхня його межа. Дані, отримані в експериментах, підтверджують допустимий високий рівень напруженості електричного поля технології активації насіння і впливу на мікофлору.

У цьому встановлено значний вплив контактних опорів насіння. Наприклад, для двох окремих насіння проводяться вимірювання їх опорів. Вимірювання величини загального опору при їх послідовному з'єднанні (накладення одного на інше) дає значення, що істотно перевищує суму опорів окремих насінин. Для товстого шару насіння його повний активний опір «витікання» визначається поверхневою та об'ємною провідностями окремих насінин та перехідними контактними опорами.

У таблиці 4.3 відображені експериментальні результати щодо визначення пробивної напруги окремих насінин і шару в цілому. Вимірювання виконано на промисловій частоті 50 Гц.

Таблиця 4.3

Експериментальні дані для напруги електричного пробою окремих насінин цибулі та їх шару різної товщини

h _{шару} , м	3 насінини	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
U _{проб} , кВ	2,03	4,76	12,88	21	Витримує напругу 50 кВ	
E, В/м	-	$4,76 \cdot 10^5$	$6,4 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	$\approx 1 \cdot 10^6$	

Таким чином, зі зростанням товщини шару насіння напруженість граничного

електричного поля збільшується, досягаючи значення $1-10^6$ В/м.

Оцінка пробивних значень напруги та напруженості електричного поля дозволяє оцінити межі граничних допустимих режимів впливів на насіння під час обробки. Ці значення необхідні для проектування установок та оптимізації режимів обробки.

Якщо прийняти 50 % запас за міцністю, то гранично допустима ефективна напруга обробки в установці, виміряна на частоті 50 Гц для товщини шару 50 мм, становить 17,7 кВ, тобто, досить велика.

Експериментально встановлено, що досягти позитивного ефекту в збільшенні посівних якостей насіння можна також при дуже низьких напругах ІЕП, рівних 200 В і використовуваних у запропонованій установці.

Важливим для зіставлення з результатами математичного моделювання перехідних електричних процесів активатора є безпосередні вимірювання тривалості заряджання і розрядки ємності активатора. Експеримент проводився на насінні цибулі товщиною 50 мм та амплітудою імпульсів напруги 200 В. Вимірювання проводилися класичним осцилографічним методом. Для зменшення величини напруги та компенсації вихідної ємності осцилографа, що становить 25 пФ, застосовували стандартний високовольтний подільник напруги («щуп») з коефіцієнтом розподілу 1:10. Вимірювання, виконані за осцилограмами, дали величини тривалостей фронту та зрізу» 1500 нс. Це узгоджується з результатами моделювання, представленими в §2.2 для випадку з досить великою індуктивністю кола перезаряджання активатора ($L=20$ мкГн).

4.2. Результати лабораторних дослідів з передпосівної обробки насіння з різною частотою проходження імпульсів (на прикладі цибулі)

Для раціональних режимів обробки насіння цибулі на установках "ФІД-Техніка", "СПЕКТР-1", "УПОС-1" була виконана статистична обробка експериментальних результатів, отриманих для енергії проростання. Ці дані представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Дисперсійний аналіз експериментальних даних з енергії проростання (%)
насіння цибулі

Номер спостереження	Установка		
	«ФІД-Техніка»	«СПЕКТР-1»	«УПОС-1»
1	69	68	77
2	69	68	77
3	70	71	77
4	69	70	77
5	69	70	77
6	70	72	78
7	69	74	78
8	70	74	78
9	71	75	79
10	71	74	80
11	71	74	80
12	69	68	76
13	68	68	76
14	70	71	76
15	69	70	77
16	69	70	77
17	70	72	77
18	69	74	77
19	70	74	78
20	71	75	78
21	70	74	78
22	70	74	78
23	70	68	75
Номер спостереження	Установка		
	«ФІД-Техніка»	«СПЕКТР-1»	«УПОС-1»
24	70	68	75
25	70	71	75
26	69	70	77
27	69	70	77
28	70	72	77
29	69	74	77
30	70	74	78
31	71	75	79

32	72	74	79
33	72	74	79
34	69	68	78
35	70	68	78
36	70	71	78
37	71	70	79
38	69	70	79
39	70	72	79
40	69	74	79
41	70	74	81
42	72	75	81
43	72	74	81
44	71	74	81
Контрольні значення	65,0	65,5	70,0
Абсолютне перевищення середнього значення від контрольного	5,0	6,3	7,9
Відносне перевищення середнього значення від контрольного	7,6	9,6	11,3
Дисперсія	1,0	6,1	2,4
СКВ	1,0	2,47	1,55
Коефіцієнт варіації	1,4	3,44	2,0
Критерій Кохрена	0,642		

З даних таблиці 4.4 можна дійти висновку: середнє квадратичне відхилення для установки «УПОС-1» порівняно невелике і становить 1,55 %, що свідчить про невеликий розкид даних вибірки відносної середньої величини енергії проростання, що дорівнює 77,9 %.

Використання критерію Кохрена для порівняння трьох вибірок однакового обсягу дозволяє зробити висновок про випадковий характер розбіжності між дисперсіями при вибраному рівні значимості $p=0,05$.

Проведено кореляційний аналіз для визначення ступеня впливу декількох факторів обробки: $t_{обр}$, $\tau_{дж}$, U , f . Відповідні матриці представлені у таблицях 4.5-4.7,

у тому числі впливає, що значення коефіцієнтів кореляції близькі до одиниці, отже, значущі, і тому їх слід враховувати під час побудови математичних моделей (рівнянь регресії).

У таблиці 4.5 представлена матриця кореляції для таких досліджуваних факторів: x_1 - час обробки (t), с; x_2 – тривалість імпульсу ($\tau_{\text{імп}}$), мкс; y_1 – енергія проростання, %.

Таблиця 4.5

Матриця кореляції для x_1, x_2, y_1

	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$	y_1
x_1	1					
x_2	0	1				
x_1^2	0,99	0	1			
x_2^2	0	0,98	0	1		
$x_1 x_2$	0,54	0,75	0,780	0,76	1	
y_1	0,42	0,49	0,43	0,52	0,72	1

Апроксимація експериментальних даних для енергії проростання виконана поліномом другого ступеня і дає рівняння регресії:

$$y_1 = 86,4 - 0,62x_1 + 0,23 x_2 + 0,03 x_1 \cdot x_2 + 0,03 x_1^2 + 0,03 x_2^2. \quad (4.1)$$

Якість зазначеної моделі оцінювалося за множинним коефіцієнтом кореляції R , який виявився досить високим та рівним $R = 0,86$. Це говорить про те, що не слід більше підвищувати рівень апроксимуючого полінома. Якість моделі також свідчить і високий коефіцієнт множинної детермінації $R_2 = 0,74$. Значення коефіцієнтів апроксимуючого полінома була перевірена за допомогою критерію Стюдента (з рівнем значущості 5%). Усі вони виявились значущими. Отримане критичне значення $t_{кр} = 2,093$ перевищує значення коефіцієнтів. Тому жоден з них не може бути відкинутий в апроксимуючому поліномі.

Також проведено перевірку адекватності моделі за критерієм Фішера. Обчислене значення критерію Фішера $F=122$ більше за критичне значення

$F_{кр}=3,21$, тому слід прийняти гіпотезу про статистичну значущість отриманого рівняння регресії

Для наочності на рисунку 4.3 представлена діаграма впливу часу обробки і тривалості імпульсу на значення енергії проростання.

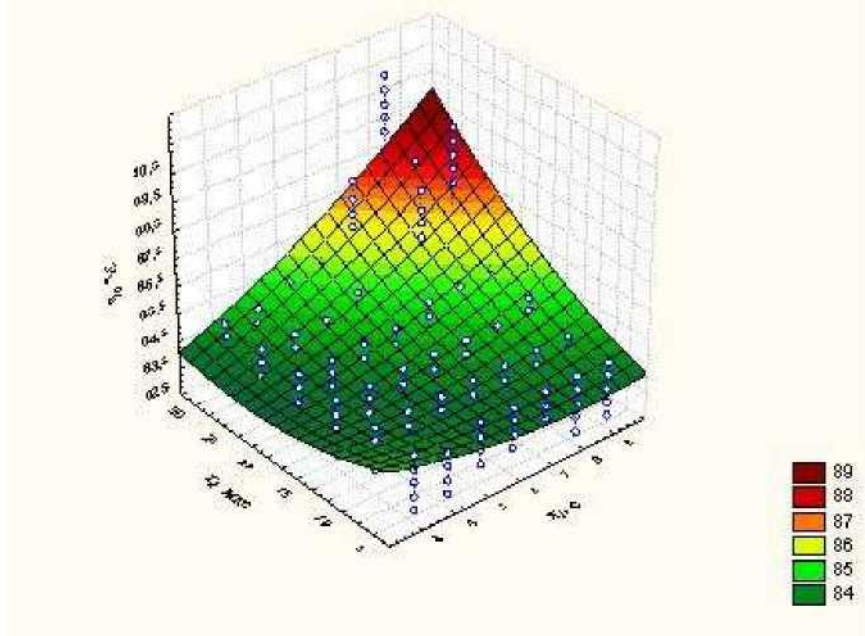


Рис. 4.3 Діаграма впливу часу обробки та тривалості імпульсу на значення енергії проростання

З діаграми випливає, що раціональними величинами часу обробки та тривалості імпульсу є: тривалість обробки $t_{обр}=8$ с, тривалість імпульсу $\tau_{имп}=30$ мкс.

Для другої моделі регресійного аналізу побудували матрицю (таблиця 4.6) кореляції для таких досліджуваних факторів: $x1$ - час обробки (t), с; $x3$ - напруга (U), В; $y1$ – енергія проростання, %.

Таблиця 4.6

Матриця кореляції для x_1 , x_3 , y_1

	x_1	x_3	x_1^2	x_3^2	$x_1 x_3$	y_1
x_1	1					
x_3	0	1				
x_1^2	0,99	0	1			
x_3^2	0	0,97	0	1		
$x_1 x_3$	0,4	0,86	0,4	0,84	1	
y_1	-0,33	0,49	-0,32	-0,47	-0,55	1

Для цієї моделі отримано рівняння регресії, що має вигляд

$$y_1 = 86,13 - 0,44 x_1 + 1,23 x_3 + 0,04 x_1 x_3 - 0,1 x_1^2 - 0,08 x_3^2. (4.2)$$

Адекватність якості моделі оцінювалася за множинним коефіцієнтом кореляції R , який виявився рівним $R = 0,81$ і досить близьким до одиниці. Таке значення коефіцієнта кореляції свідчить, що необхідно підвищувати ступінь апроксимуючого полінома. Якість моделі також свідчить і коефіцієнт множинної детермінації $R_2 = 0,66$. Значущість коефіцієнтів апроксимуючого полінома була перевірена за допомогою критерію Стюдента (з рівнем значущості 5 %). Усі вони виявились значущими.

За критерієм Фішера було проведено оцінку адекватності моделі. Обчислене значення критерію Фішера $F=136$, а критичне значення $F_{кр} = 3,21$. Оскільки $F > F_{кр}$, то гіпотезу про адекватність отриманої регресії слід прийняти.

Діаграма впливу тривалості часу обробки та амплітуди напруги на значення енергії проростання представлено рисунку 4.4.

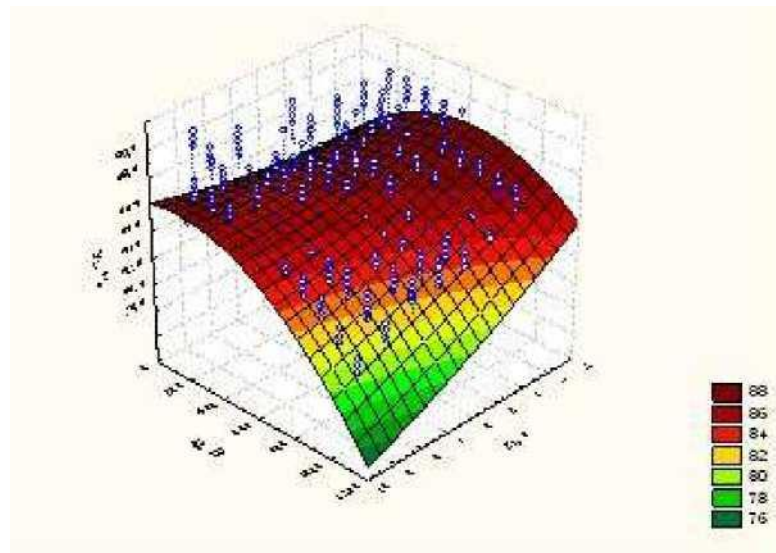


Рис. 4.4. Діаграма впливу тривалості часу обробки та амплітуди напруги на значення енергії проростання

З рисунка 4.4 отримуємо, що у моделі, що розглядається, раціональними значеннями факторів обробки, що максимально підвищують енергію проростання, є такі: час обробки $t_{обр}=8$ с, напруга $U=220$ В.

У третій моделі матриця кореляції для дослідження значущості факторів t ($x1$, с) та f ($x4$, Гц) на енергію проростання ($y1$, %) відображена в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Матриця кореляції для $x1$, $x4$, $y1$

	$x1$	$x4$	$x1^2$	$x4^2$	$x1x4$	$y1$
$x1$	1					
$x4$	0	1				
$x1^2$	0,99	0	1			
$x4^2$	0	0,98	0	1		
$x1 x4$	0,54	0,65	0,68	0,86	1	
$y1$	0,43	-0,49	-0,43	-0,32	0,52	1

Математична модель представлена у вигляді рівняння регресії та має такий вигляд:

$$y = 62,63 + 3,58x_1 + 3,36x_4 - 0,17x_1 \cdot x_4 - 0,18x_2 - 0,15x_4^2. \quad (4.3)$$

Якість моделі оцінювалася за множинним коефіцієнтом кореляції R , який виявився досить високим та рівним $R = 0,86$. Таке значення коефіцієнта кореляції говорить про те, що не слід більше підвищувати ступінь апроксимуючого полінома. Якість моделі також свідчить і коефіцієнт множинної детермінації $R^2 = 0,74$.

Значимість коефіцієнтів апроксимуючого полінома була перевірена за допомогою критерію Стюдента (з рівнем значущості 5 %). Усі вони виявилися значущими.

Обчислене значення критерію Фішера дорівнює $F=120$, а критичне значення дорівнює $F_{кр} = 3,21$. Оскільки $F > F_{кр}$, то гіпотеза про адекватність отриманої регресії має бути прийнятою.

Діаграма впливу часу обробки та частоти на значення енергії проростання представлена на рисунку 4.5.

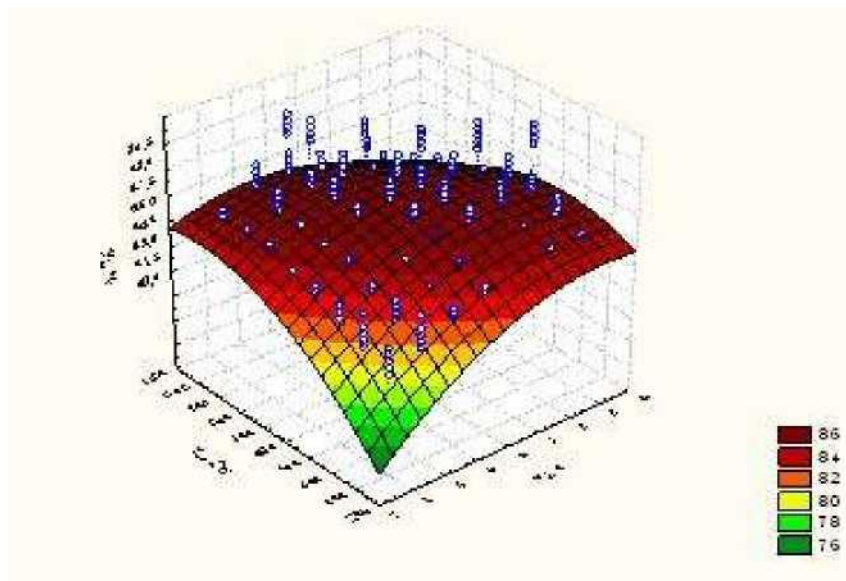


Рис. 4.5. Діаграма впливу часу обробки та частоти на значення енергії проростання

З діаграми (рис.4.5) раціональні значення t і f відповідно дорівнюють 8 с і 600 Гц.

Узагальнюючи результати трьох моделей регресійного аналізу, можна

зробити висновок, що для стимулюючого впливу на насіння цибулі необхідно

виконати їх передпосівну обробку ІЕП в режимі з такими параметрами:

- V $t_{обр} = 8 \text{ с};$
- V $\tau_{имп} = 30 \text{ мкс};$
- V $f = 600 \text{ Гц};$
- V $U = 200 \text{ В}.$

Інтегральним критерієм є амплітудна доза дії. У раціональному режимі обробки вона оцінюється за відомим співвідношенням:

$$D = E(\tau_{имп} + \tau_{фр}) f t_{обр} \quad (4.6)$$

і для зазначеного раціонального режиму обробки має значення 576 (В·с)/м, а у високовольтній установці 864 (В·с)/м.

Тому можна зробити висновок: передпосівна обробка насіння у пропонованій низьковольтній установці еквівалентна їх обробці у високовольтній установці.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НИЗКОВОЛЬТНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ

Як вихідні фактори для розрахунків економічної ефективності впливу пропонованої передпосівної обробки насіння використовувалися експериментальні відомості про збільшення врожайності, середня ціна продукції, що реалізується, сума додаткових експлуатаційних витрат.

Додаткові експлуатаційні витрати включають витрати, пов'язані з поточною експлуатацією установки при виконанні обробки посівного матеріалу (в даному випадку вони утворюються з витрат на оплату праці працівників, амортизаційні відрахування, вартість електроенергії та інші витрати) і визначаються за формулою:

$$y_3 = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{пр}} + I_3, \quad (5.1)$$

де $Z_{\text{зп}}$ - заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн;

$Z_{\text{ам}}$ - амортизаційні відрахування, грн;

$Z_{\text{пр}}$ - Витрати на поточний ремонт та обслуговування, грн;

$Z_{\text{ел}}$ - Витрати на електричну енергію, грн;

I_3 - Інші витрати (витрати на лабораторні дослідження, лабораторне налаштування обладнання), грн.

Заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається за такою формулою:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{П}} \cdot t \cdot N, \quad (5.2)$$

де $Z_{\text{П}}$ – заробітна плата працівників за 1 годину, грн;

t - час роботи обслуговуючого персоналу з розрахунку на 1 га посівної площі, год;

N – число обслуговуючого персоналу, чел.

Нарахування на заробітну плату:

$$H = \frac{Z_{\text{зп}} \cdot 34}{100}. \quad (5.3)$$

Витрати на оплату витраченої електроенергії визначалися за такою

формулою:

$$З_{ел} = P \cdot CE \cdot t, \quad (5.4)$$

де P – потужність установки, кВт;

t - час роботи установки з розрахунку обробки насіння на 1 га посівної площі, год;

CE - вартість 1кВт·год електроенергії, грн.

Амортизаційні відрахування визначалися за такою формулою:

$$З_{ам} = \frac{C_6 \cdot a}{\Gamma}, \quad (5.5)$$

де C_6 – балансова вартість установки, грн.; a - норма амортизаційних відрахувань, що дорівнює 14,3% на рік; Γ – кількість годин на рік.

Таблиця 5.1

- Вихідні дані для економічного аналізу

Найменування показника	без обробки	обробка ІЕП
Норма висіву насіння, кг/га	7	7
Врожайність, т/га	40	43
Продуктивність установки, кг/год	7200	
Середня ціна цибулі, грн/ц	700	
Потужність установки, кВт/год	1	
Балансова вартість установки, тис. грн	40	
Кількість обслуговуючого персоналу, чол	1	
Додаткові витрати при обробці насіння ІЕП на 1 га посівної площі		
Заробітна плата, ерн.	0,11	
ФОП з нарахуваннями, грн.	0,04	
Електроенергія, грн.	0,02	
Амортизація, грн.	0,03	
Разом:	0,2	

На підставі вихідних даних, наведених у таблиці 5.2, проведено розрахунок економічної ефективності передпосівної обробки насіння цибулі імпульсним електричним полем та порівняний із традиційною технологією (таблиця 5.3).

За рахунок приросту врожайності на 30 ц з 1 га рівень рентабельності виробництва зростає на 23,3%

Таблиця 5.2

Економічна ефективність передпосівної обробки насіння цибулі імпульсним електричним полем

Показник	Без обробки ІЕП	З обробкою ІЕП
Норма висіву насіння на 1 га, ц	0,07	0,07
Урожайність продукції з 1 га, ц	400	430
Валовий збір продукції, ц	40000	43000
Ціна 1 ц продукції, грн.	700	700
Собівартість 1 ц, грн	224,1	208,5
Виручка від продукції, тис. грн	28000	30100
Витрати на пр-во продукції, тис. грн	8964	8966
Прибуток, тис. грн	19036	21134
Рівень рентабельності, %	212,4	235,7

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано зразок промислової низьковольтної установки, що дозволяє знизити споживану потужність з 15 кВт до 2 кВт за рахунок зменшення напруги, що подається на електроди активатора з 1,5 кВ до 200 В. Гранична споживана потужність активатора в раціональному режимі обробки насіння становить 70 Вт.

2. Виконано обґрунтування особливостей конструкції активатора та технологічного процесу переміщення шару насіння у ньому. Для насіння цибулі раціональна товщина шару становить 50 мм, швидкість їхнього переміщення - 0,5...1,5 см/с, максимальна продуктивність – 1000...2000 кг/год (для цибулі 100 кг/год).

3. Встановлено раціональні режими передпосівної обробки (на прикладі насіння цибулі): $U_{дж} = 200$ В, $f_{имп} = 600$ Гц, $\tau_{имп} = 30$ мкс, $t_{обр} = 8$ с.

4. Розрахована амплітудна доза впливу в раціональних режимах передпосівної обробки насіння низьковольтним та високовольтним ІЕП. Їх значення відповідно дорівнюють 576 (В·с)/м та 864 (В·с)/м, що якісно пояснює допустимість застосування низьковольтного активатора для передпосівної обробки насіння.

5. Економічна ефективність застосування низьковольтної установки для передпосівної обробки насіння ІЕП досягнута за рахунок збільшення врожайності на 30 ц з 1 га. Рівень рентабельності виробництва зростає на 23,3%

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lovett J.V. Campbell D.A. Effect COC and moisture stress on sunflower// Exp. Agr. -1973. Vol.9. - P.329-336. 163. Bucur, G. Calitatile seminciare si recolta boabelor la griul de toamna in rezultatul aplicarii stimulatorilor de crestere / G. Bucur // Lucrari sti. / Univ. agrara de stat din Moldova. – Chisinau, 1987. – Vol. 5. – P. 30–32.
2. France, J. Mathematical models in agriculture / J. France, J. M. Thornley // Butterworth & Co, 1984. – 315 p.
3. Kato, R. Effects of a magnetic field on the growth of primary roots of Zea maes / R. Kato // Plant Cell Physiol. – 1988. – № 7. – P. 1215–1219.
4. Lai H. Pharmacology Biochemistry and Behavior / Lai H., Carino M. // IEEE Engeeneering in Medicine and Biology. – 1989. – V. 33, № 1 – P. 131.
5. Mierdel, G. Elektrophysik / G. Mierdel. – Berlin : VEB Verlag Technik, 1970. – 607 p.
6. The Effect of Ultrahigh frequency Electromagnetic Energy in Adenosine Triphosphatase Activity in Germinating Weed Seeds / G. R. Hooper [et al.] // Y. Amer. Soc. Hurt. Sci. – 1978. – V. 103. – № 2. – P. 173–176.
7. Ківа О. В., Ходурський В. Є. Дослідження та розробка пристрою для передпосівної обробки насіння цукрового буряка Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2010. № 4. С. 176-178.
8. Pietruszewski S., Martínez E. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review. Agrophys., 2015, 29, 377-389.
9. Martinez, E., Florez, M., Carbonell, M.V. Stimulatory Effect of the Magnetic Treatment on the Germination of Cereal Seeds. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB). 2017. Vol. 2 (1). P. 375-381.
10. Amaya J. M., Carbonell M.V., Martinez E., Raya A. Effect of stationary magnetic fields on germination and growth of seeds. Agriculture Revista Agropecuaria. 1996. Vol. 65 (773). P. 1049-1054.
11. [Kataria S.](#), [Baghel L.](#), [Kadur N. Guruprasad.](#) Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt

stress in maize and soybean. [Biocatalysis and Agricultural Biotechnology](#). 2017. Vol.10. P. 83-90.

12. [Massimo E. Maffei](#). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Front. Plant Sci.* 2014. №5. P. 445.

13. De Souza, A., Sueiro, L., Garcia, D., and Porras, E. (2010). Extremely low frequency non-uniform magnetic fields improve tomato seed germination and early seedling growth. *Seed Sci. Technol.* 38, 61–72.

14. Ramalingam, Radhakrishnan. Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2018. Vol. 24 (2). P. 343–347.

15. [Podleśna A.](#), [Bojarszczuk J.](#), [Podleśny J.](#) (2019). Effect of Pre-sowing Magnetic Field Treatment on Some Biochemical and Physiological Processes in Faba Bean (*Vicia faba* L. spp. *Minor*). [Journal of Plant Growth Regulation](#), 38, P. 1153–1160

16. Pietruszewski S. Magnetic biostimulation of spring wheat sowing material. 1999. Rozprawy Naukowe AR Lublin, Poland.

17. Waleed A. Jabail, Riyadh Ch. Abul.Hail, Hussein F. H. Effect of magnetic field on seed germination of *Triticum aestivum*. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2013. Vol.1 (5), pp. 168-171.

18. Carbonell Padrino M. V., Ramírez E. V., García V. F, Amaya García J. M. EscosuraInfluencia de campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT en la germinación de semillas de girasol. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. 2005. Vol. II, №1. P. 34 – 39.

19. Ablu El-Yozied, El-Gizawy A.M., Khalf S.M., El-Satar A., and Shalaby O.A. Effect of magnetic field treatment and irrigation water as well as N, P, and K levels on productivity of tomato plants. *J. Appl. Sci. Res.*, 2012. Vol. 8(4). P. 2088-2099.

20. Xia L., Guo J. Effect of magnetic field on peroxidase activation and isozyme in *Leymus chinensis*. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 200. 11, 699–702.

21. Regoli F., Gorbi S., Marchella N., Tedesco S., Principato G. Pro-oxidant effects of extremely low frequency electromagnetic fields in the land snail *Helix aspesa*. *Free Radic. Biol. Med.* 2005. Vol. 39. P. 1620–1628..
22. Bhardwaj J., Anand A., Nagarajan S. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. *Plant Physiol. Biochem.* 2012. Vol. 57. P. 67–73.
23. Shine M., Guruprasad K. Impact of pre-sowing magnetic field exposure of seeds to stationary magnetic field on growth, reactive oxygen species and photosynthesis of maize under field conditions. *Acta Physiol. Plant.* 2012. Vol. 34. P. 255–265.
24. Payez A., Ghanati F., Behmanesh M., Abdolmaleki P., Hajnorouzi A., Rajabbeigi E. Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and a 10-KHz electromagnetic field. *Electromagn. Biol. Med.* 2013. Vol. 32. P. 417–429.
25. Rajabbeigi E., Ghanati F., Abdolmaleki P., Payez A. Antioxidant capacity of parsley cells (*Petroselinum crispum* L.) in relation to iron-induced ferritin levels and static magnetic field. *Electromagn. Biol. Med.* 2013. Vol. 32. P. 430–441.
26. Cakmak T., Cakmak Z. E., Dumlupinar R., Tekinay T. Analysis of apoplastic and symplastic antioxidant system in shallot leaves: impacts of weak static electric and magnetic field. *J. Plant Physiol.* 2012. Vol. 169. P. 1066–1073.
27. Arturo Domínguez A., Cruz O. A. Effect of pre-sowing electromagnetic treatment on seed germination and seedling growth in maize (*Zea mays* L.). *Agron. colomb.* 2011. Vol.29, №2. P.405 – 411.
28. Pietruszewski S. Effect of Magnetic Seed Treatment on Yields of Wheat. *Seed Science and Technology*, 1993. 21. P. 621-626.
29. Stanisław Pietruszewski S., Martínez E. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review. *Int. Agrophys.* 2015. Vol. 29. P. 377-389.

30. Stange B. C., Rowlands R. E., Rapley B. I., Podd J. V. ELF magnetic fields increase aminoacid uptake into *Vicia faba* L. Roots and alter ion movement across the plasma membrane. *Bioelectromagnetics*. 2002. Vol. 23. P. 347-354.
31. Bucur G. Calitatile seminciare si recolta boabelor la griul de toamna in rezultatul aplicarii stimulatorilor de crestere. *Lucrari sti./Univ.agrara de stat din Moldova*. Chisinau, 1997. Vol.5. P. 30 – 32.
32. Pietruszewski S. Influence of pre-sowing magnetic biostimulation on germination and yield of wheat / S. Pietruszewski // *Roczn. Nauk roln.* – Ser.A, 1998. T.112, z. 3/4. S. 91–99.
33. Souza Torres A. de, Porras Leon E.; Casate Fernandez R. Efecto del tratamiento magnetico de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) sobre la germinacion y el crecimiento de las plantulas. *Investig. agr. Producc. Protecc. veget.* 1999. Vol.14, № 3. P. 437.
34. Kato R. Effects of magnetic field on the growth of primary roots of *Zea mays*. *Plant Cell Physiol*. 1988. №7. P. 1215–1219.
35. Pittman U.I. Effects of magnetic Seed treatment on yields of burley wheat and oats in southern Alberta. *Canadian Journal of plant Science* Januari, 1977. Vol. 57. P. 37–45.
36. García A. S., Reina F. G., Franco Y. P., Pérez D. D. Stimulation of germination and growth in soybean seeds by stationary magnetic field treatment. *Asian J. Agri Biol*. 2013, Vol. 1(2). P. 85-90.
37. Патент Франції 2237399, A 01 C 1/00, 1975.
38. Flóreza M. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth / M. Flóreza, M. Carbonella, E. Martínez // *Environmental and Experimental Botany*. – 2007. – V. 59, Issue 1, – P. 68–75.
39. A. Sinyavsky, V. Savchenko Treatment of potato tubers before planting in a magnetic field. *ECONTECHMOD. AN INTERNATIONAL QUARTERLY JOURNAL* 2012, Vol. 01, No. 2, 49–52.

40. Clarkson, D. T. (1974). *Ion Transport and Cell Structure in Plants*. McGraw-Hill, London.
41. Baker D.A., Hall J.L *Transport in Plant Cells and Tissues*. Essex Longman, 1988. 592 p.
42. Sinyavsky O., Savchenko V., Dudnyk A. Development and Analysis Methods of Transporter Electric Drive for Electrotechnological Complex of Crop Seed Presowing by Electromagnetic Field, *2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, 2019. P. 1-6, doi: 10.1109/CPEE47179.2019.8949143
43. Savchenko, O. Synyavskiy, A. Dudnyk, A. Nesvidomin, V. Ramsh and V. Bunko, “The Impact of a Direct Magnetic Field on the Cells,” *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2020, pp. 193-198.
44. V. Savchenko, O. Sinyavsky and A. Nesvidomin, “Pre-sowing treatment of sunflower seeds in a magnetic field,” *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2022, pp. 1-5.
45. V. Savchenko, O. Synyavskiy, M. A. Dudnyk and A. Nesvidomin, “Pre-sowing treatment of flax seeds in a magnetic field,” *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology*, KhPI Week, 2021, pp. 521–526.
46. M. Konefał-Janocha, A. Banaś-Z , M. Bester. D. Bocak, S. Budzik, S. Górny, S. Larsen, K. Majchrowski and M. Cholewa, “The Effect of Stationary and Variable Electromagnetic Fields on the Germination and Early Growth of Radish (*Raphanus sativus*),” *Pol. J. Environ. Stud.*, vol. 28, pp. 709–715, 20

