

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

УДК _____
ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

_____ /**Каплун В.В.**/
(підпис)
« _____ » _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

_____ /**Окушко О.В.**/
(підпис)
« _____ » _____ 2024р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **„РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО
КОМПЛЕКСУ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР”**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

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

_____ (підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

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

_____ (підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Гулич Д.В.
(ПІБ)

КИЇВ – 2024

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

К.Т.Н. ДОЦЕНТ

(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Гуличу Дмитру Володимировичу

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: „РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО
КОМПЛЕКСУ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР”

затверджена наказом ректора НУБіП України від _____ р. № _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 11 . 2024

Вихідні дані до магістерської роботи:

а) Результати науково-дослідницької роботи кафедри ЕЕЕ;

б) Результати навчально-дослідницької практики;

в) Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН, тощо

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз існуючих електрофізичних методів обробки насіння;

2. Теоретичні передумови обробки насіння в електричному полі високої напруженості;

3. Експериментальні дослідження електрофізичних процесів в насінній масі під впливом електричного поля високої напруженості;

4. Розробка способу обробки сої в електричному полі високої напруженості та дослідної установки;

5. Техніко-економічні показники.

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання 02.02.2024 р.

Керівник магістерської роботи

_____ (підпис)

Усенко С.М.

_____ (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Гулич Д.В.

_____ (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 77 с., 27 рис., 8 табл., 22 джерела.

Об'єкт дослідження – процес передпосівної обробки насіння у високонапруженому електричному полі.

Мета роботи – створення та аналіз електротехнологічного комплексу, який використовується для обробки насіння сої перед висіванням із застосуванням електричних полів великої напруженості. Це сприятиме підвищенню врожайності та покращенню якості отриманої продукції.

Методи дослідження та обладнання: застосовувалися методи моделювання, математичної статистики, а також теорія планування експерименту. Для проведення вимірювань використовували такі прилади, як кіловольтметр, мікроамперметри та вольтметри.

Використання технологій, що базуються на впливі сильних електричних полів, відкриває можливість зменшення використання хімічних засобів під час обробки зернових. Це не лише знижує витрати на обробку, але й значно підвищує екологічність кінцевої продукції.

Було проведено серію теоретичних та практичних експериментів, спрямованих на дослідження впливу електричного поля високої напруженості на насіння. У ході роботи встановлено, що за певних параметрів напруженості поля та електричного струму у масі насіння активуються фізичні процеси. Це, у свою чергу, спричиняє хімічні та фізичні зміни в насінні, які позитивно впливають на його посівні характеристики.

Сфера застосування – агрономія, зокрема рослинництво.

Ключові слова: насіннева маса, високонапружені електричні поля, іонізаційні процеси, напруженість електричного поля.

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	4
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ.....	8
1.1. Застосування електричного поля високої напруженості постійного струму для електрофізичної обробки сільськогосподарських культур. Технічні засоби.....	8
1.2. Застосування магнітного поля для обробки сільськогосподарської продукції. Технічні засоби	17
1.3. Застосування оптичного випромінювання для обробки сільськогосподарської продукції. Технічні засоби	25
РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ЯВИЩА В НАСІННЄВІЙ МАСІ ПІД ВПЛИВОМ ІНТЕНСИВНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ.....	29
2.1. Теоретичний аналіз механізму дії інтенсивного електричного поля на електрофізичні характеристики окремих насінин	29
2.2. Теоретичні дослідження електрофізичних властивостей насінневої маси в сильному електричному полі	35
РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР У ВИСОКОІНТЕНСИВНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ	40
3.1. Розробка установки для обробки зернових в СЕП	40
3.2. Продуктивність установки та витрати електроенергії	49
РОЗДІЛ 4. ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ПОСІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ОБРОБКИ	52

4.1. Порівняльний аналіз методів обробки насінневого матеріалу сільськогосподарських культур	52
4.2. Закономірності зміни посівних властивостей насіння сої залежно від параметрів режиму обробки	54
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ НАСІННЯ В СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ	68
5.1. Перевірка в умовах виробництва та економічна ефективність використання установки для передпосівної обробки насіння в сильному електричному полі	68
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75

ВСТУП

Однією з ключових проблем сільськогосподарської галузі в Україні є необхідність підвищення врожайності культур та впровадження енергозберігаючих рішень.

Зростання врожайності є важливим фактором у застосуванні сучасних енергозберігаючих технологій у сільському господарстві. Аналіз існуючих технологій демонструє актуальність питань, пов'язаних із відновленням аграрних ресурсів України. Це обумовлено низкою причин, серед яких варто відзначити нестачу сучасного обладнання, зменшення родючості ґрунтів, надмірне використання мінеральних добрив і вплив різноманітних антропогенних забруднень.

Окрім цього, технологічний рівень українського аграрного сектору значно поступається стандартам розвинених країн. Особливо це стосується створення безвідходних технологій для вирощування, переробки та зберігання продукції. Актуальними залишаються проблеми зниження енергетичних втрат (наприклад, зменшення споживання електроенергії на одиницю продукції) та скорочення втрат урожаю на різних етапах виробничого циклу.

Розв'язання цих завдань можливе через формування нової технологічної бази, яка забезпечить підвищення ефективності роботи аграрного сектору. Впровадження передових технологій, зокрема електротехнологій, сприятиме зниженню енергоємності виробництва, розробці високопродуктивного обладнання, вдосконаленню процесів переробки та зберігання продукції. Водночас зросте ефективність енергоспоживання в таких сферах, як обігрівання, водопостачання, ремонт і технічне обслуговування сільськогосподарської техніки. Це також сприятиме формуванню у аграріїв мислення, орієнтованого на економію ресурсів та енергії.

Ефективність електротехнічного обладнання в аграрному секторі визначається не лише його економічними та ергономічними характеристиками, але й здатністю стимулювати біологічні процеси за допомогою електромагнітних полів, випромінювань, постійного струму та струмів високої і надвисокої частоти, а також інших видів енергоносіїв. Особливо важливими є ці процеси у передпосівній обробці насіння та рослин, знезараженні перед висіванням і під час зберігання, а також у процесах живлення та захисту рослин на всіх етапах виробництва.

Впровадження електротехнологій у сільському господарстві потребує глибокого аналізу їх впливу на біологічні об'єкти. Зокрема, це стосується дослідження "біологічних ефектів" різних енергоносіїв, їх якісного та кількісного впливу на енергоефективність виробництва. Різноманіття цілей та результатів таких технологій обумовлює необхідність проведення комплексних досліджень, що охоплюють як прикладні, так і базові аспекти. Це пов'язано з тим, що основними об'єктами впливу є організми, рослини та насіння – надзвичайно складні й, на жаль, недостатньо вивчені елементи природи.

Отже, розробка та впровадження сучасних українських електротехнологій може суттєво зменшити залежність країни від імпортного обладнання, сприяти трансформації аграрного сектору у високопродуктивну галузь та забезпечити вирішення актуальних проблем на інноваційному рівні.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ

1.1 Застосування електричного поля високої напруженості постійного струму для електрофізичної обробки сільськогосподарських культур. Технічні засоби

Живі організми на нашій планеті завжди перебували під впливом природних електричних і магнітних полів, починаючи з моменту їхнього виникнення та протягом усього процесу еволюції. Рослини також адаптувалися до умов електричного поля Землі. Це поле характеризується безперервним рухом іонів у повітрі. Електрони переміщуються від верхівок рослин до їхньої основи, тоді як позитивні потоки аероіонів осідають на поверхні листя. У середині рослини молекули поживних речовин іонізуються і починають рух у зворотних напрямках: негативні іони спрямовуються вгору до листя, а позитивні – вниз. Чим більша кількість аероіонів рослина поглинає з атмосфери, тим активніше вона розвивається.

Вплив електричних полів і струмів на ріст та розвиток рослин почали досліджувати ще у XVIII столітті. Наприклад, у 1990-х роках Ремстром, вивчаючи дію електростатичних полів на рослини, пов'язав її з капілярними явищами у тканинах рослин. Його дослідження продемонстрували, що електростатичні поля здатні змінювати вміст поживних речовин у зернових і коренеплодах. Зокрема, після обробки зернових електростатичним полем вміст білка збільшився на 19,3%, а рівень цукру в цукрових буряках зріс на 13,4%. Постійне електричне поле впливає на білковий склад зерна, зокрема на

рівень клейковини, який зростає із збільшенням напруженості поля і тривалості його дії.

Дослідник Т.І. Бяземський, вивчаючи біоелектричні потенціали рослин, встановив, що електричні струми рослин мають прямий зв'язок із процесом їхнього дихання.

Наприкінці ХІХ століття І.В. Мічурін досліджував вплив електростатичних розрядів на функції пилку і визначив перспективи використання електрики для стимуляції перехресного запилення. Експерименти з пилком плодкових дерев показали, що високовольтні електростатичні поля можуть бути ефективними стимуляторами біологічної активності пилку.

Життєдіяльність рослин тісно пов'язана з електричним полем атмосфери, яке, у свою чергу, залежить від сонячної активності. Ще у 1920-х роках А.Л. Чижевський встановив зв'язок між врожайністю сільськогосподарських культур і активністю Сонця. Подальші дослідження, проведені в фітотронній камері Інституту фізіології рослин, продемонстрували, що електричне поле, яке перевищує інтенсивність атмосферного, здатне підвищувати ефективність фотосинтезу. Для оптимального використання електричних полів у стимуляції росту рослин необхідно детально дослідити їхній вплив на початкових етапах розвитку, зокрема на стадії насіння.

Ці експерименти були розпочаті А.Л. Чижевським у 1930-х роках і продовжувалися надалі. Результати показали, що схожість обробленого електричним полем насіння досягала 86,90%, у той час як необробленого – лише 74%.

З 1954 року Челябінський інститут механізації та електрифікації сільського господарства (ЧІМЕСГ) активно працює над впровадженням електронно-іонних технологій у агросектор. Дослідження інституту зосереджувалися на застосуванні електричних полів високої напруженості постійного струму для миття, сортування зерна та його обробки перед

висіванням.

Вивчення впливу електростатичних полів на розвиток посівів, проведене В.П. Крадьоновим та його колегами, виявило, що напруженість поля 3 кВ/см і час обробки 1200 секунд є оптимальними для стимуляції росту клітин і збільшення біомаси кормових дріжджів.

На сьогодні доведено, що всі живі клітини мають біоелектричний потенціал, який змінюється залежно від умов навколишнього середовища та внутрішніх процесів у клітині.

Д.А. Сабінін звернув увагу, що плазма на межі клітин є носієм електричного заряду. Поляризація протоплазматичного шару клітини спричиняє появу електростатичних сил у її протоплазмі. Потенціал цього шару досягає десятків мілівольт. За умови товщини протопласта приблизно 0,001 мм і потенціалу 50 мВ напруженість електричного поля всередині клітини становить $E = 50 \text{ В/см}$. Вплив зовнішнього електричного поля суттєво змінює потенціал клітини, що впливає на її біологічні функції та активність.

Застосування електричної енергії для виконання технічних процесів і стимулювання біологічних реакцій дозволяє уникнути необхідності перетворення енергії в інші форми, що підвищує ефективність.

У дослідженні, проведеному компанією "Хімекспо", було встановлено, що електричні поля постійного струму високої інтенсивності не мають негативного впливу на зернові культури під час обробки їх на спеціалізованому обладнанні.

Інтенсивність росту рослин у початковий період проростання залежить від початкової швидкості розвитку. Так, зелена маса пшениці сорту "Діамант", обробленої електричним полем, становила 5,67 г, у порівнянні з 4,69 г у необробленого насіння. Це свідчить про 21% приріст швидкості росту у рослин після обробки.

Насіння, яке перебуває у стані часткового спокою із низькими показниками енергії та швидкості проростання, може бути активовано за допомогою впливу електричного поля.

Результати експериментів підтверджують, що електричне поле позитивно впливає на процес проростання насіння. Протягом вегетаційного періоду рослини, оброблені електричним полем, демонстрували кращі показники швидкості росту у порівнянні з контрольними сортами. Крім того, вони виявляли підвищену стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища. Найвищу ефективність обробки досягнуто при використанні насіння з вологістю 13-15%.

Н.В. Кусенс із колегами підкреслюють, що на етапі проростання насіння вирішальну роль відіграють початкові реакції та проміжні метаболіти, які відбуваються в зародках. Оскільки метаболізм здійснюється в рідкому або колоїдному середовищі, дослідники вивчали вплив електростатичного поля на здатність насіння поглинати воду та на врожайність пшениці. Під час експериментів використовувалося електростатичне поле напруженістю 4,5–6,0 кВ/см, при цьому найкращі результати були досягнуті за напруженості 6,0 кВ/см.

Крім того, було встановлено зв'язок між біоелектричним потенціалом насіння, напруженістю поля та тривалістю впливу, що коливалася від 10 до 60 хвилин. За даними дослідників, залежність біопотенціалу від напруженості поля носила екстремальний характер із максимальними значеннями при напруженості 5,0 кВ/см, що мало найбільший вплив на водопоглинальну здатність насіння.

Ф.Ю. Ізаков та В.А. Окулова досліджували вплив обробки електричним полем на посівні характеристики та врожайність у кількох поколіннях насіння. Результати показали, що перше покоління насіння, отримане з обробленого електричними полями коронного розряду, потребувало додаткової обробки перед наступним висіванням, оскільки без повторної електричної обробки його ефективність знижувалася.

Подальші дослідження В.А. Окулової підтвердили, що рослини, оброблені високовольтним електричним полем (ВПЕП), росли швидше за контрольні. Приріст склав від 5,3% до 13,3%. У дослідних сортів також були

довші колосся, а кількість колосків зростає до 10,4 порівняно з 8,6 у контрольній групі.

Маса 1000 зерен у всіх дослідних сортів перевищувала показники контрольної групи. Кількість рослин, які дожили до збирання врожаю, також була вищою у дослідних варіантах – на 102–113%.

В.Н. Шмігель, В.Г. Рахманін та інші дослідники встановили, що обробка насіння електричними полями високої інтенсивності постійного струму, включаючи коронний розряд і електростатичні поля, позитивно впливає на посівні характеристики насіння та врожайність. Було відзначено, що обидва типи електричних полів демонструють однакову ефективність.

Автори провели експерименти з електричною обробкою зерна, розташованого у багат шаровій структурі. Найкращі результати були отримані, коли насіння піддавалось електростатичній обробці після чотиритижневого періоду вилежування перед висівом. Рослини на дослідних ділянках проростали дружно та рівномірно, демонструючи високий, щільний стеблостій на етапі бутонізації, що забезпечило отримання колосся з високим вмістом зерна.

Оптимальними режимами обробки насіння виявилися наступні параметри: напруга на робочому електроді 20 або 28 кВ, товщина шару насіння – 2 або 3 см відповідно, відстань між верхнім електродом і насінням – 1 см. За таких умов напруженість поля в насіннєвій масі досягала 3,5 і 2,9 кВ/см, а в повітряному проміжку – 17,5 і 14,3 кВ/см відповідно.

Якість і кількість зерен, отриманих після обробки насіння, викликають значний науковий інтерес. Для оцінки цих параметрів було проведено експерименти із визначення вмісту білка в зернах пшениці м'якої озимої. У дослідях підтримувалися однакова напруженість поля (5 кВ/см), тривалість обробки (5 секунд) і густина висіву (840 зерен на м²). Для обробки застосовували два типи полів: однорідне електростатичне поле та неоднорідне поле коронного розряду.

Результати досліджень показали, що напруженість поля є ключовим

параметром, який впливає на вміст білка. Для підтвердження цього зерна поміщали в герметичні пробірки, щоб усунути вплив зарядів та іонів повітря. У таких умовах вміст білка зріс з 14,96% до 15,48%. У разі обробки в однорідному полі заряджання зерен відбувалося лише за контакту з електродами, тому використання ізоляційного шару ПВХ для ізоляції електродів дозволило підвищити вміст білка до 15,92%.

Різницю між результатами обробки у полях коронного розряду та електростатичних полях автори пояснюють неоднорідністю коронного поля, викликаною варіаціями напруги в зоні електродів, що відрізняються від середньої напруженості поля.

Науковці відзначають, що негативні заряди сприяють збільшенню вмісту білка в насінні, тоді як позитивні заряди мають протилежний вплив. У разі обробки електростатичним полем на позитивному електроді вміст білка вищий за умови використання ізоляційних матеріалів, оскільки вони перешкоджають проникненню позитивних зарядів.

Порівняльний аналіз впливу електрообробки на врожайність і вміст білка показує схожу динаміку змін обох показників, але з певними відмінностями. Напруженість електричного поля, що забезпечує максимальний вміст білка, не завжди є оптимальною для підвищення врожайності, і навпаки. Таким чином, обробка насінневого та товарного зерна повинна здійснюватися за різних режимів електрообробки.

Ще однією важливою особливістю є залежність вмісту білка та якості насіння від знака заряду зерна. Позитивний заряд, як правило, знижує ефективність впливу електричного поля на вміст білка, хоча при невеликих дозах (наприклад, половина циклу ректифікації) його вплив на врожайність може бути не меншим, ніж при негативному заряді. У разі збільшення позитивного заряду врожайність знижується порівняно з оптимальними умовами, але все одно залишається вищою за контрольні показники. Це підтверджує, що знак заряду більше впливає на вміст білка, ніж на врожайність.

В.Н. Шмігель зазначає, що поля коронного розряду мають стимулюючий вплив при коротких експозиціях (3 с), тоді як менш інтенсивні однорідні електростатичні поля демонструють позитивний ефект при тривалішій дії (2,5 хв).

Ф.Я. Ізаков та А.П. Блонська встановили, що передпосівна обробка зернових у електричному полі стабільно підвищує врожайність на 10-15%. Проте механізми впливу електричного поля на посівні характеристики насіння залишаються недостатньо вивченими. Для визначення ключових параметрів електричного поля дослідники проаналізували напруженість поля, величину і знак заряду ядра насінини, а також форму кривої випрямленої напруги. Було виявлено, що саме напруженість поля є основним фактором, який впливає на якість насіння. Водночас ефективність обробки знижується, якщо напруженість перевищує 5 кВ/см.

Вивчалася також структура врожайності залежно від форми кривої напруги під час обробки насіння в статичних магнітних полях із напруженістю 5 кВ/см. Для експериментів використовувалися установки АКИ-50 (однапівперіодне випрямлення) та ТУ-180 (двонапівперіодне випрямлення). Було помічено, що за вищої напруги позитивні заряди краще утримуються на насініні, що впливає на її розвиток. Використання ПВХ-ізоляції позитивного електрода забезпечує захист насіння від позитивного заряду, що сприяє підвищенню виживаності рослин і врожайності за однакових параметрів електричного поля.

В.А. Окулова зазначає, що тип випрямляючого пристрою суттєво не впливає на залишкові позитивні ефекти електричного поля, хоча пульсуюча форма напруги показала кращі результати.

Дослідження також виявило, що електричні поля впливають на біологічну активність насіння навіть за відсутності електризації ядра. Це призводить до збільшення врожайності. Додатково відзначено, що іонізація повітря в електричному полі та інтенсивна зарядка насіння суттєво підвищують цей ефект.

В.І. Нечаєв із колегами досліджували вплив іонізованого повітряного потоку поза електричним полем на насіння. Результати показали, що зміна питомої концентрації носіїв струму від $50 \cdot 10^7$ 1/см³ до $98 \cdot 10^7$ 1/см³ за відсутності електричного поля мала незначний вплив на початковий ріст насіння.

Порівняльні дослідження обробки насіння в різних газах (повітрі, азоті та кисні) показали, що найкращі результати для врожайності та розвитку тканин пшениці були досягнуті при обробці в середовищі азоту. Дослідники припускають, що цей позитивний ефект пояснюється впливом негативних іонів азоту.

Таблиця 1.1.

Залежність врожайності та її структури від середовища, в якому насіння оброблялось

Середовище	Весняно – літня виживаність у % до контролю	Продуктивність однієї рослини у % до контролю	Абсолютна вага, г	Середній врожай, ц/га
Повітря (без обробки)	100	100	26,1	20,6
Повітря	111,1	107,7	27,5	27,1
Азот	113,7	120,2	27,9	29,8
Кисень	97,6	102,2	25,8	22,2

А.І. Сальников та його колеги досліджували обробку повітряно-сухого насіння гречки сорту Немчинівська та насіння різних сортів огірків електростатичними полями постійного струму. Для експериментів насіння розміщувалося шарами по кілька зернин на круглий нерухомий стіл (перший електрод), виготовлений з нікельованої латуні, а другий електрод, який мав такий самий діаметр, міг переміщуватись, що дозволяло змінювати відстань між електродами для досягнення необхідної напруженості поля. Найкращі

результати були досягнуті для насіння гречки при напруженості 1 кВ/см та експозиції 90 секунд, а також для насіння гречки при напруженості 5 кВ/см за 30 і 60 секунд експозиції. Для огірків сортів Неросимі 40, VIP-517 і Майський оптимальними були умови при напруженості 3 кВ/см і експозиції 60 секунд, а для сорту Марфінський — 3 кВ/см при 90 секундах експозиції.

О.Г. Долгових також відзначив позитивні результати обробки насіння овочевих культур високовольтними електростатичними полями. Насіння поміщали між електродами конденсатора, до якого подавалася напруга 1,5 кВ. Наприклад, у випадку з насінням капусти врожайність зеленої маси збільшилася на 30% порівняно з контролем, також спостерігалось підвищення схожості.

Обробка насіння постійним струмом (ЕХЕК) має кілька переваг порівняно з іншими електрофізичними впливами. Наприклад, при обробці насіння іонізуючим випромінюванням, імпульсним світлом, ультразвуком, змінним і радіочастотним струмом не спостерігалися летальні дози. У рослин, що виростили з обробленого насіння, не було виявлено патологічних змін. Крім того, обробка насіння в електричному полі постійного струму вимагає лише невеликої кількості електроенергії, що робить цей метод найбільш перспективним з точки зору мінімізації витрат на обробку та можливості механізації й автоматизації всіх операцій.

Особливості застосування електронно-іонної технології в сільському господарстві залежать від природи оброблюваного матеріалу, який є потенційно живими частинками або частинками, що впливають на живий матеріал. У разі успішного вивчення механізмів впливу електричних полів на насіння, електронно-іонні технології можуть стати необхідними в агросекторі. Тому вивчення впливу електричних полів на якість посіву та врожайність культур, вирощених з обробленого насіння, є важливим напрямком досліджень.

Незважаючи на велику кількість експериментальних даних, результати часто виявляються суперечливими, і дослідники ще не дійшли консенсусу

щодо оптимальних режимів і методів обробки. Сучасна обробка насіння поки не враховує його електрофізичні властивості.

Високовольтні електростатичні поля застосовуються як для стимуляції біологічних процесів, так і для сепарації в електростатичних сепараторах для зернових і овочевих культур.

1.2. Застосування магнітного поля для обробки сільськогосподарської продукції. Технічні засоби

Дослідження обробки в змінних магнітних полях показали стійке збільшення врожайності та поліпшення вегетації рослин. На відміну від інших електрофізичних впливів, які чутливі до пилу, обробка в градієнтному магнітному полі (ГрМП) не зазнає впливу пилу. Це пов'язано з низьким енергоспоживанням при обробці в ГрМП, а також тим, що за межами зони обробки не спостерігається шумового магнітного поля (магнітна індукція складає лише 0,01 мТл на відстані 0,5 м від зони обробки). Це робить процес абсолютно безпечним для обслуговуючого персоналу.

Процес обробки є безпечним для людей, тварин і навколишнього середовища. Індукція магнітного поля в установках для магнітної обробки сільськогосподарської продукції варіюється від 0,006 до 0,04 Тл. Багаторічні польові випробування показали, що обробка магнітним полем насіння ячменю, пшениці, кукурудзи та сої призводить до збільшення врожайності на 10-15%.

Вибір режиму магнітної обробки ґрунтується на припущенні, що біологічні ефекти магнітних полів залежать не від їхньої абсолютної напруженості, а від змін магнітного потоку в просторі чи часі.

Для магнітної обробки сільськогосподарської продукції було розроблено кілька типів обладнання, включаючи пристрої, що використовують постійні магніти, електромагніти, а також комбіновані системи, що поєднують постійні магніти й електромагніти. Класифікація такого обладнання наведена на рисунку 1.1.

Переваги систем на постійних магнітах включають простоту конструкції, низькі експлуатаційні витрати та відсутність потреби в електричній проводці. Вони не споживають електроенергію, не завдають шкоди навколишньому середовищу і є безпечними для оператора.

Обладнання, що використовує електромагніти, є більш складним за конструкцією і вимагає більших витрат на експлуатацію, але дозволяє досягти вищої магнітної індукції, яку можна регулювати для досягнення оптимальних результатів.



Рис.1.1 – Класифікація установок для електромагнітної обробки сільськогосподарської продукції

Дослідження магнітної обробки сільськогосподарської продукції та розробка відповідного обладнання проводились численними вченими, серед яких Н.Ф. Бондаренко, А.П. Ірха, Р.В. Крон, С.Д. Кутіс, G. Bucur, M.V. Carbonell, K. Kornarzynski, S. Pietruszewski, Rochalska M., A. de Souza Torres, Kato R., Pittman U.I. та інші.

В ННЦ "ІМЕСГ" було розроблено електромагнітний стимулятор для підвищення енергії проростання насіння. Цей стимулятор складається з електромагніту (рис. 1.2) і працює від однофазної мережі з напругою 220 В та

частотою 50 Гц.

Напруженість магнітного поля на центральній лінії соленоїда можна визначити за наступною формулою:

$$H = \frac{IW}{2} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1), \quad (1.1)$$

де H – напруженість магнітного поля, А/м; W – кількість витків у соленоїді, шт.; I – струм, що проходить через соленоїд, А; α_1, α_2 – кути, згідно рис. 1.3, рад.

У цьому пристрої густина енергії магнітного потоку змінюється як у радіальному, так і в осьовому напрямках [41]. Питоме енергоспоживання пристрою складає 5 Вт/кг.

Цей стимулятор дозволяє підвищити врожайність зернових культур на 15-25%. Продуктивність установки варіюється від 10 кг на рік (для насіння овочів) до 1000 кг на рік.

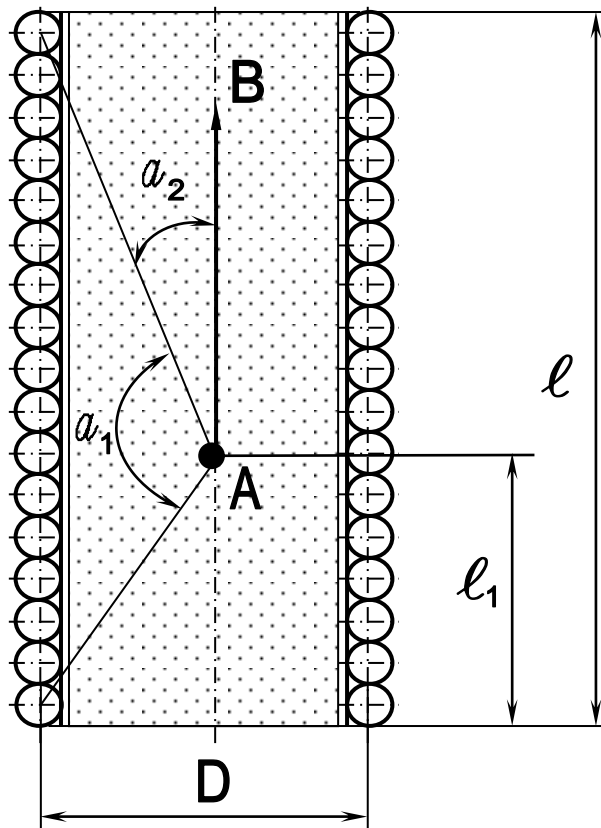


Рис. 1.2 – Схема робочого органу електромагнітного стимулятора

Також проводились дослідження передпосівної обробки насіння за

допомогою акустичного генератора частоти ГЗ-33, який працює на частоті струму 20 кГц і використовується в поєднанні з електромагнітом. Пристрій, розроблений в Кубанському національному аграрному університеті, складається з котушки у вигляді соленоїда, намотаної на 500 витків дроту діаметром 1,2 мм. Котушка розташована на фанерній рамці діаметром 60 см, в яку можна помістити мішечки з насінням або ж розсипати насіння через соленоїд. З'ясовано, що оптимальний час опромінення для обробки нерухомого насіння становить 4-5 хвилин для всіх досліджених культур.

Також був розроблений пристрій для стимуляції життєдіяльності біологічних об'єктів за допомогою впливу електромагнітного поля напруженістю 1-1000 В з одночасним подаванням струму силою від 1 до 400 мкА. Тривалість впливу коливалася від 10 секунд до 2 годин. Електроди підключаються до біологічного об'єкта, де подається струм, і одночасно здійснюється вплив електромагнітного поля через котушку, що знаходиться в ланцюзі електрода. Напруга на електродах подається через понижуючий трансформатор, який регулює напругу в діапазоні від 3 до 12 В.

Дослідження також включали обробку точок росту рослин імпульсними магнітними полями, де число імпульсів не перевищувало 100. Для цього використовувались два магнітні індуктори (феритові тороїди), які були синхронізовані для пуску імпульсів. Індуковані магнітні поля в індукторах мали значення 0,26 Тл і 0,72 Тл, а тривалість процедури становила 40 секунд.

У системі низькочастотної електромагнітної обробки насіння оброблене насіння поміщали в котушку і витримували в магнітному полі при частоті і експозиції, специфічних для кожної культури. Недоліками цієї методики є низька продуктивність через обмежені розміри котушки та обмежена ефективність впливу електромагнітного поля на насіння.

Для покращення ефективності обробки насіння перед посівом, його піддавали впливу постійного магнітного поля з напруженістю 200-900 А/м в поєднанні з частотно-модульованими коливаннями в дуже низькочастотному діапазоні (напруженість поля 120-1400 А/м) протягом 40-60 хвилин.

Для цього використовувалася установка, що складається з генератора ГЗ-118, частотоміра F5041, генератора несучої частоти L31, який також виконує функцію модулятора частоти, осцилографа С1-69 для контролю напруги на виході підсилювача, підсилювача 25В-202С, багат шарового котушкового випромінювача, контейнера для завантаження насіння і постійного магніту.

Випромінювачем була котушка з 2500 витків, внутрішнім діаметром 3 см і площею поперечного перерізу 30 см², з активним опором 130 Ом. Постійний магніт створював магнітне поле потужністю 250 А/м. Несуча частота становила 1 кГц, а частота модуляції напруги в дуже низькочастотному діапазоні підбиралась окремо для кожної культури. Для обробки насіння використовували магнітну камеру як контейнер.

Синусоїдальні коливання в діапазоні дуже низьких частот подавалися з виходу генератора на вхід частотоміра та генератора несучої частоти, де вони модулювались. Далі коливання передавались на підсилювач і від нього — на опромінювальну апаратуру.

Частота під час обробки насіння становила 250 Гц, індуктивність випромінювача була 0,3 Гн, середня напруженість магнітного поля — 660 А/м, а час опромінення — 50 хвилин. Схожість насіння після обробки зросла на 27% порівняно з контролем.

Також було розроблено пристрій для передпосівної обробки насіння низькочастотним електромагнітним полем. Пристрій містить випромінювач, з'єднаний електрично з джерелом низькочастотних електромагнітних коливань, випромінювання якого спрямоване на насіння. Джерело має регульовану частоту в діапазоні 8-19 Гц, форму сигналу, що відповідає внутрішньосферному перетворенню оброблюваного насіння, та потужність випромінювання.

Пристрій також включає блок керування роботою джерела, що з'єднаний з комп'ютером. Комп'ютер керує через шини налаштуваннями частоти і форми сигналу в трьох режимах: без випромінювання сигналу, з випромінюванням сигналу, а також для безпосереднього налаштування і випромінювання

сигналу.

Окрім того, було розроблено пристрій для обробки насіння, який використовує імпульсні електромагнітні поля та електрогідравлічні ефекти (рис. 1.3). Насіння разом з розчином мікроелементів 1 поміщають у ванну 2 з алмазного матеріалу (нержавіючої сталі), навколо якої розташована обмотка 3, з'єднана з електродом 5 випромінювача 4, що заповнений водою і розміщений на дні ванни 2. Обмотка 3 та електрод 5 підключені до джерела імпульсного струму 6.

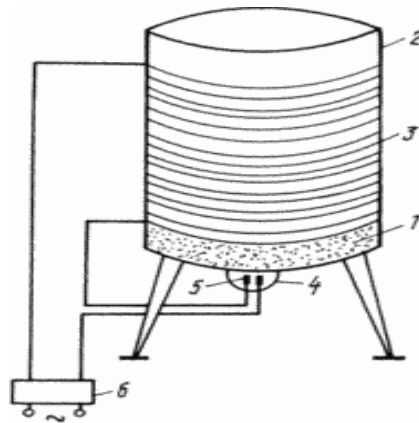


Рис. 1.3 – Пристрій для обробки насіння імпульсним електромагнітним полем і електрогідравлічним ефектом

При включенні джерела імпульсного струму (6) в випромінювачі (4) виникає електрогідравлічна дія. Потужний імпульс струму, що проходить через обмотку (3), викликає великі механічні коливання в корпусі ванни (2) і утворення імпульсного електромагнітного поля всередині цього корпусу. Завдяки такій комбінації механічних коливань і електромагнітних впливів ванна (2) зазнає механічних коливань через роботу електрогідравлічного випромінювача (4), а також магнітно-імпульсних процесів, що виникають при проходженні імпульсів струму через обмотку (3). Це комбіноване впливання значно підвищує амплітуду і частотний діапазон коливань ванни (2), що дозволяє мікроелементам глибше проникати в поверхневі шари насіння, сприяючи поліпшенню якості обробки. Оскільки ванна є антимагнітною, насіння обробляється в електромагнітному полі, що також підвищує

ефективність обробки.

Для передпосівної обробки насіння магнітним полем та ультрафіолетовим випромінюванням розроблений пристрій, що містить циліндричний корпус (1), який складається з двох секцій. Одна секція (2) виготовлена з алмазного матеріалу, а інша, нижня секція (3), — з металу. Обмотка складається з ряду однакових котушок (4), з'єднаних протилежно, і розташована в секції (2) корпусу (1). Пристрій оснащений джерелом ультрафіолетового випромінювання (5), яке встановлено в корпусі вздовж поздовжньої осі (6) металевій секції (3) за допомогою кріпильних елементів (7). На внутрішній полірованій поверхні (8) корпусу в шаховому порядку розміщені металеві штифти (9), а зовнішня поверхня корпусу (10) виконана ребристою для покращення ефективності обробки. Крім того, корпус (1) має захисну кришку (11). У верхній частині корпусу розташований накопичувальний бункер для зручності завантаження насіння.

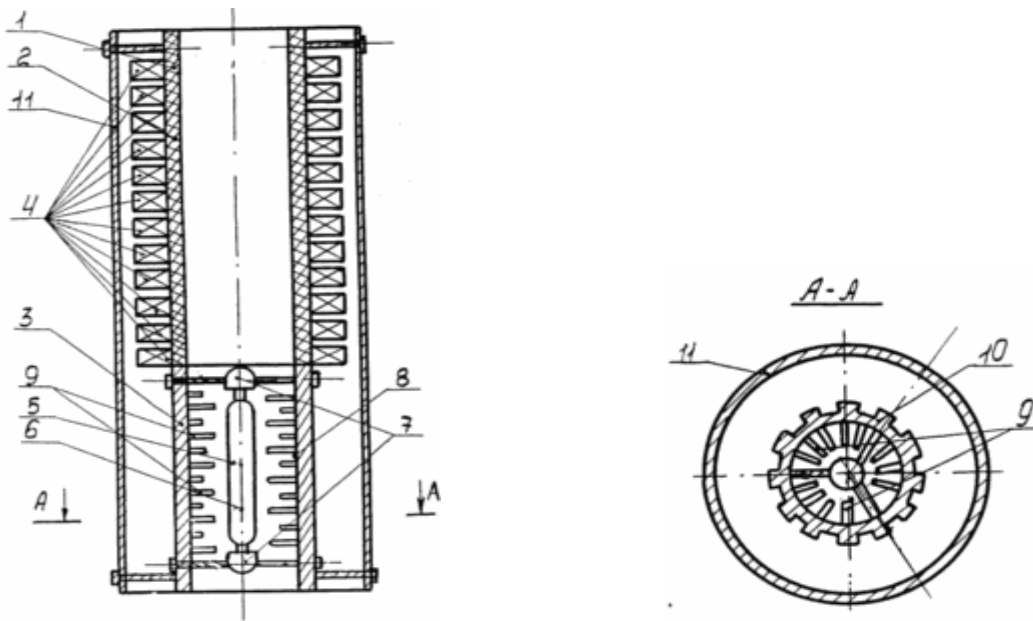


Рис. 1.4 – Установка для передпосівної обробки насіння у магнітному полі та ультрафіолетовими променями

Обмотки, які включають котушку (4) та джерело ультрафіолетового випромінювання (5), підключені до джерела змінного струму. У верхній частині алмазної секції (2) корпусу (1) розташований накопичувальний

бункер, з якого насіння спочатку надходить самопливом у порожнину цієї секції. Тут воно потрапляє під вплив поздовжнього пульсуючого магнітного поля, яке створюється котушкою (4). Далі насіння переходить у порожнину металевої секції (3), де піддається ультрафіолетовому опроміненню.

Для забезпечення рівномірності опромінення на внутрішній поверхні (8) металевої секції (3) розміщені металеві штифти (9), які змінюють положення насіння в просторі зони опромінення. Окрім цього, використовується відбите світло від полірованої поверхні (8), що підсилює рівномірність обробки.

Послідовне та зворотне перемикання кількох котушок, наприклад, 12, на змінну напругу значно покращує магнітну активацію насіння під час обробки. Це забезпечує підвищення неоднорідності магнітного поля та збільшення просторового градієнта, які є ключовими факторами ефективного впливу на біологічні об'єкти, включаючи насіння.

При такій схемі роботи котушок градієнт магнітної індукції вздовж траєкторії руху насіння досягає 10-15 мТл/см. Для забезпечення необхідної індукції магнітного поля на котушки подається змінна напруга різної величини.

Таким чином, пристрій виконує комплексну обробку насіння: спочатку воно проходить через зону впливу неоднорідного магнітного поля, а потім рівномірно опромінюється ультрафіолетовим випромінюванням, що сприяє знезараженню всієї поверхні насіння та покращенню його якості.

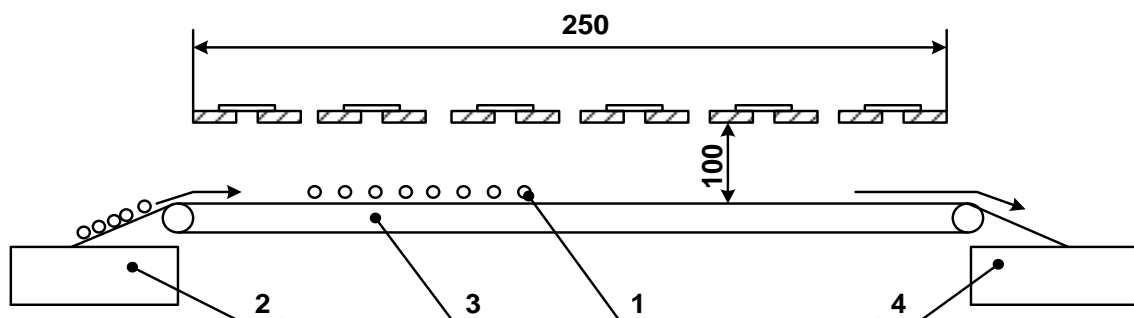


Рис. 1.5 – Пристрій для обробки посівного матеріалу в градієнтному магнітному полі

Система обробки насіння соняшника складається з бункера, засувки та магнітного модуля. Магнітний модуль включає циліндр з циліндричними магнітами, які закріплені всередині за допомогою болтів і діелектричних вставок. Конструкція циліндра має отвори, що дозволяють регулювати кількість магнітів та відстань між ними.

Під час експериментальних досліджень були визначені оптимальні параметри для обробки насіння соняшника в змінному магнітному полі: градієнт магнітного поля становив 0,88 мТл/мм, використовувалися два магніти з відстанню між ними 8 см, а переміщення насіння здійснювалось від північного до південного полюса магнітів. У результаті обробки було досягнуто збільшення врожайності сортів соняшника, таких як Козачий, Майстер, а також гібриду Сигнал, на 1,9–2,6 ц/га залежно від сорту.

Обладнання для магнітної обробки сільськогосподарської продукції відзначається простою конструкцією, енергоефективністю та не потребує спеціальної підготовки обслуговуючого персоналу. На відміну від інших методів обробки, використання систем із постійними магнітами є безпечним, оскільки не передбачає операцій, пов'язаних із застосуванням хімічних, радіоактивних або електричних впливів, що можуть бути шкідливими для працівників.

1.3. Застосування оптичного випромінювання для обробки сільськогосподарської продукції. Технічні засоби

Методи обробки сільськогосподарської продукції за допомогою оптичного випромінювання охоплюють використання сфокусованих імпульсів, лазерів, сонячного світла, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання.

Лазерна обробка є одним із найефективніших способів використання світлової енергії. Лазерна стимуляція активно застосовується в біологічних і медичних дослідженнях, однак її механізми й досі не повністю зрозумілі. Основною перевагою лазерного випромінювання є його вибірковість: воно

впливає лише на "проблемні" ділянки біологічних систем, не зачіпаючи "здорові" області. При цьому ефекти спостерігаються лише за дуже низьких рівнів інтенсивності та поглинутої енергії.

Лазерна стимуляція має переважно інформаційний характер, активуючи різноманітні біологічні процеси, які можуть мати як позитивний, так і негативний вплив. Інформаційні ефекти лазерного випромінювання є економічно вигідними, оскільки забезпечують максимальну ефективність при мінімальних витратах енергії.

Дослідження підтверджують, що лазери впливають як на клітинні структури, так і на окремі клітини. Проте встановити точну відповідність між енергетичними рівнями атомів та молекул і енергією світлових квантів, а також знайти фотосенсибілізатори в біологічних тканинах, не вдалося через складність і відкритість біологічних систем. Такі системи обмінюються з навколишнім середовищем речовинами, енергією й інформацією. Відкриті системи є складними й недостатньо вивченими, що ускладнює визначення їх елементів і процесів самоорганізації.

Селективність лазерної стимуляції можна пояснити накопиченням зайвих продуктів біологічних реакцій, які змінюють структуру біополімерів у клітинах. Такі зміни збільшують дипольний момент молекул і, відповідно, фоточутливість. Таким чином, патологічний стан клітини підвищує її чутливість до лазерного випромінювання, забезпечуючи його вибірковість. Наприклад, клітини з фоторецепторами мають пласку, дископодібну структуру, що сприяє їх більшій фоточутливості.

Лазерна обробка економічно вигідна завдяки низькому енергоспоживанню (50–200 Вт) та простоті технології. Конструкція квантового генератора дозволяє змінювати параметри опромінювання, такі як потужність, тривалість імпульсу, частота та резонанс. Стимуляція насіння лазерами підвищує схожість і енергію росту до 20%, що збільшує врожайність на 11–12%. Промислові лазерні установки потужністю 90–110 мВт забезпечують продуктивність 300–500 кг/год. Проте недоліками цього методу

є висока вартість обладнання, нестабільність результатів і недостатня вивченість процесів.

Застосування сфокусованого сонячного світла також має позитивний вплив на насіння, збільшуючи його схожість на 12–15% і покращуючи проникність мембран, що сприяє поглинанню поживних речовин. Проте цей метод мало використовується через технічні труднощі.

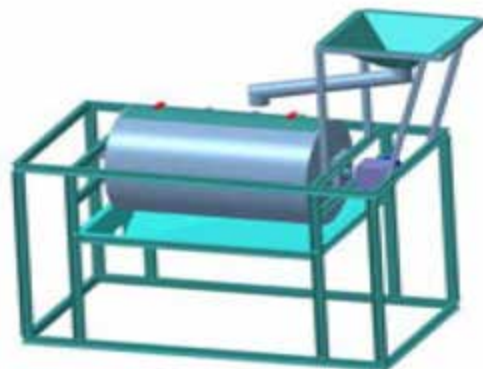
Інфрачервоне випромінювання поєднує теплові й фотоелектричні ефекти завдяки високій проникаючій здатності. Воно викликає нагрівання насіння, що збільшує його схожість та енергію росту на 11%. Перевагами цього методу є простота обладнання (інфрачервоні лампи та нагрівачі) і невисока вартість. Проте через високе енергоспоживання його застосовують дедалі рідше.

Ультрафіолетове опромінення широко використовується в закритому ґрунті для знезараження насіння, ґрунту та повітря, а також для боротьби з хворобами рослин. Цей метод підвищує врожайність на 10–15%. УФ-обладнання просте й недороге, з низьким енергоспоживанням (15–30 Вт) і коротким часом обробки (5–30 хвилин). Наприклад, харківське підприємство "ХЕЛКО" виробляє установки АУФ-1К та СН-100 для передпосівного опромінення насіння ультрафіолетом, що підвищують його врожайність і стійкість до хвороб.



Рис. 1.6 Установа для передпосівної обробки насіння АУФ-1К

Ультрафіолетовий опромінювач СН-100 УФ використовується для передпосівної обробки насіння за допомогою ультрафіолетового випромінювання. Така обробка сприяє збільшенню врожайності сільськогосподарських культур на 10–50% без застосування хімічних засобів. Крім того, покращується схожість насіння, підвищується енергія проростання, скорочуються строки дозрівання на 3–15 днів, а також зростає стійкість рослин до зовнішніх впливів. Продуктивність пристрою становить 500 кг/год, а споживання електроенергії — 0,5 кВт/год.



а)

б)

Рис.1.7 Установка СН -100УФ для передпосівної обробки насіння

а- загальний вигляд; б- схематичний вигляд.

Насіння завантажується у барабан через спеціальний завантажувальний люк. При запуску барабана джерело ультрафіолетового випромінювання автоматично активується. Завдяки розташуванню УФ-ламп і оптимальній швидкості обертання барабана забезпечується рівномірне опромінення насіння ультрафіолетовими променями. Усі процеси системи контролюються за допомогою пульта управління.

РОЗДІЛ 2

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ЯВИЩА В НАСІННЄВІЙ МАСІ ПІД ВПЛИВОМ ІНТЕНСИВНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

2.1. Теоретичний аналіз механізму дії інтенсивного електричного поля на електрофізичні характеристики окремих насінин

Передпосівна обробка є ключовим етапом у сільськогосподарському виробництві, спрямованим на покращення посівних властивостей насінневого матеріалу. Існує близько сотні різноманітних методів такої обробки, серед яких виділяються електротехнології, що базуються на використанні електрофізичних впливів. Сучасна наука розробила чимало електротехнічних методів і пристроїв, які сприяють стимуляції життєдіяльності рослин, зокрема насіння, що дозволяє підвищити обсяги та якість отриманої продукції.

Методи, що використовують високовольтні електричні поля, характеризуються низькими енерговитратами, простотою реалізації та екологічною безпекою. Вони мають великий потенціал для застосування в

рослинництві. Проте, як зазначалося в першому розділі, механізми дії високовольтних електричних полів на біологічні об'єкти ще недостатньо вивчені. Відсутність математичних моделей або достовірно підтверджених гіпотез ускладнює розробку ефективних методів обробки насіння різних культур. Тому в цьому розділі розглядаються процеси, які відбуваються в одній насініні під впливом інтенсивних електричних полів.

З погляду електрофізики, зерно має іонні заряди, які виникають лише у водному середовищі; у сухому стані вони є нейтральними. Через це насіння в абсолютно сухому вигляді демонструє низьку електропровідність і діелектричну проникність, що робить його відмінним діелектриком.

У такому стані зерно фактично не піддається впливу магнітних полів, що дозволяє йому довго зберігатися без втрати біологічних властивостей. Така "захисна функція" природи сприяє збереженню насіння в сухому стані, запобігаючи впливу аномальних природних електричних і магнітних полів. Завдяки цьому насіння може зберігати життєздатність десятиліттями за належних умов зберігання. Наприклад, знайдене під час археологічних розкопок насіння зберігало здатність проростати навіть через століття. Відомо, що насіння бобових залишалось життєздатним понад 100 років, а насіння вівса та ячменю, збережене у фундаменті будівлі в Нюрнберзі, проростало навіть через 133 роки.

Ф.Е. Реймерс вказує на важливість збереження насіння цінних сортів в анабіозі. Для цього його рекомендується висушувати до мінімальної вологості та зберігати при низьких температурах. Як зазначає Н.А. Аскоченська, рівень вологості в сухому насінні зазвичай становить 4–14%. Наприклад, навіть у найбільш сухому вигляді ячмінь зберігає 8–10% вологи, необхідної для підтримки клітинної структури.

Однак підвищення вологості насіння може викликати вихід зі стану спокою. Для проростання вологість має досягати 30–50%, що суттєво підвищує його електропровідність і діелектричну проникність. У цьому стані міжклітинна рідина, яка є високопровідним сольовим розчином, виступає

захисним бар'єром для клітин, оберігаючи ядро від зовнішніх полів.

При розміщенні зерна у зовнішньому електричному полі носії заряду починають рухатись, формуючи на протилежному боці зерна індукований заряд, знак якого протилежний початковому. Такий процес детально можна описати, моделюючи зерно як еліпсоїд у поздовжньому перерізі (рис. 2.1).

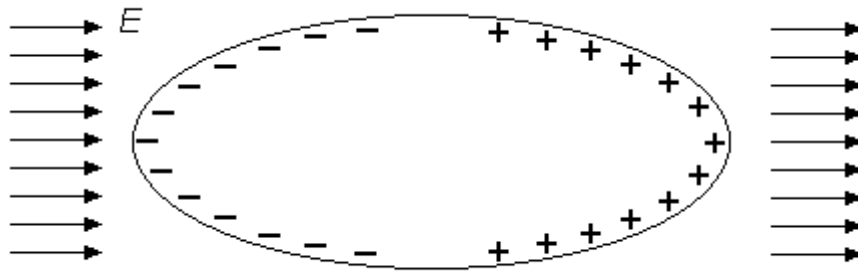


Рис. 2.1. Зерно в електричному полі.

Електричне поле, створене індукованими зарядами, має напрямок, протилежний зовнішньому електричному полю. У міру накопичення зарядів на протилежному боці зерна сила зовнішнього електричного поля всередині зерна поступово слабшає. Цей перерозподіл зарядів триває доти, доки вплив зовнішнього поля всередині зерна не буде повністю нейтралізовано. Такий процес аналогічний компенсації електричного поля у провідниках, однак у зерні це відбувається за участю міжклітинної рідини. Міжклітинна рідина, насичена солями розчинених речовин, є провідником другого роду.

З огляду на це, експериментальні дослідження підтвердили, що обробка насіння електричним полем без контакту з електродами не дає помітного ефекту.

Структура насінини може бути проаналізована на прикладі зернини сої. З ботанічної точки зору зерно сої складається з трьох основних частин: зародка, ендосперму і оболонки, кожна з яких виконує специфічну функцію (рис. 2.2).

Зародок і ендосперм оточені капсулою, утвореною кількома шарами клітин. До них належать насіннева оболонка, перикарпій і покривна оболонка

(рис. 2.3). У природному стані насіннева оболонка (теста) виступає напівпроникною мембраною. Вона дозволяє воді проникати всередину зерна, утримуючи розчинені в ній речовини, і водночас запобігає їх вимиванню. Наприклад, оболонка утримує 10% розчин сірчаної кислоти, тоді як соляна кислота проникає у зерно лише у невеликих кількостях. Нерозчинні органічні кислоти також можуть проникати через оболонку методом дифузії. Таким чином, напівпроникна оболонка відіграє критично важливу роль у життєвому циклі насінини, що є типовою властивістю для більшості насіння.

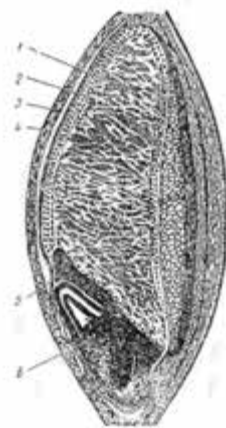


Рис. 2.2. Поздовжній переріз насінини сої: 1 – ендосперм; 2 – алейроновий шар; 3 – плодова оболонка; 4 – насінна оболонка; 5 – щиток; 6 – зародок.

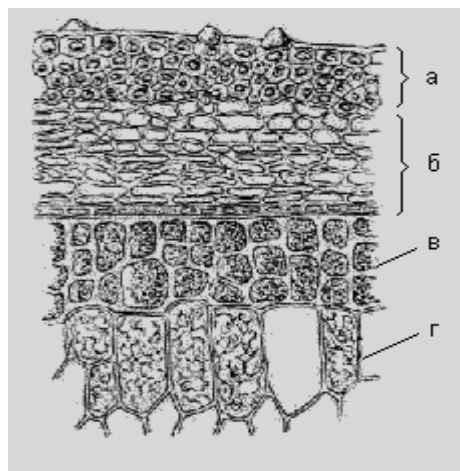


Рис. 2.3. Будова оболонки: а - полов'яна оболонка; б – плодова й насінна

оболонки; в – шар алейронових клітин; г – крохмальні зерна ендосперму.

Не всі види насіння демонструють однаковий рівень напівпроникності. Наприклад, насіннева оболонка уповільнено пропускає такі речовини, як хлорид натрію, сульфат міді, гліцерин, цукор і соляну кислоту. Іони потрапляють у зерно і взаємодіють з його клітинами через тріщини в насінневій оболонці. Насіннева оболонка покрита перикарпієм, який міцно зростається з нею. Перикарпій, у свою чергу, має зовнішнє покриття у вигляді плодоніжки, що під час розвитку та дозрівання захищає внутрішню структуру зерна від механічних пошкоджень. Варто зазначити, що лущиння не повністю вкриває зерно і не закриває обидва його кінці. У зрілому стані насіннева та плодова оболонки не мають отворів і повністю захищають ядро.

Кожна клітина ядра оточена мембраною, яка характеризується певним опором і поверхневою ємністю. Активний транспорт іонів натрію та калію створює різницю концентрацій цих іонів з обох боків мембрани, що викликає потенціальну різницю. У стані спокою внутрішня частина клітини зазвичай має негативний заряд відносно зовнішньої. Д.А. Сабінін звертає увагу на те, що таке уявлення є спрощеним. На основі спостережень за переважним поглинанням катіонів було зроблено висновок, що негативний заряд на поверхні клітини є найпоширенішим. Однак, при десорбції катіонів або поглинанні аніонів протоплазмі можна приписати позитивний заряд через перезарядку клітинної поверхні.

Протопласти клітин складаються здебільшого з білків та ліпідів. Білкові молекули розглядаються як багатовалентні іони, заряд яких залежить від участі карбоксильних і амінних груп в утворенні амідно-пептидних зв'язків. Ці групи взаємодіють з іонами солей та електролітами, утворюючи заряджені області, які реагують на зміну складу навколишнього середовища. Це важливо для аналізу впливу електричних полів високої напруженості на насіння.

Після дії електричного поля напівпроникна оболонка насіння знову стає непроникною, зберігаючи міжклітинну рідину зі зміненою концентрацією. Це

викликає зміни трансмембранного потенціалу між клітинами і рідиною, що тимчасово пригнічує нормальну клітинну активність. Для переходу в стабільний стан у клітинах та міжклітинній рідині мають відбутися біохімічні зміни.

Протоплазма, яка є рідким середовищем, оточена молекулярною граничною мембраною. Її взаємодія з іонами зовнішнього середовища відбувається на межі розділу фаз. Будь-які зміни у складі середовища впливають на заряд мембрани, що призводить до змін адсорбції іонів.

Після обробки насіння в електричному полі виникають специфічні процеси. Наприклад, якщо всередині клітини накопичується надлишок іонів натрію, а поза клітиною спостерігається їх дефіцит, то іони починають дифундувати через мембрану за градієнтом концентрації. Це створює різницю потенціалів: зовнішня поверхня клітини отримує позитивний заряд, а внутрішня — негативний. У результаті виникає рівновага, коли потоки іонів натрію в обох напрямках стають однаковими.

На рисунку 2.4 представлено змодельовану клітинну мембрану: у початковий момент усередині клітини накопичуються іони натрію, тоді як ззовні їх кількість невелика. Після досягнення рівноваги зовнішня частина клітини містить більше позитивно заряджених іонів, тоді як внутрішня зберігає переважно негативний заряд.

Цей механізм узгоджується з молекулярним процесом, відомим як "паранекроз" — неспецифічна відповідь клітин на зовнішній вплив. Клітина функціонує як динамічна система, у якій концентраційна рівновага встановлюється через дифузійні процеси і транспорт іонів. Загальна електрична поляризація клітини формується внаслідок взаємодії багатьох структур, які визначають її впорядковану гетерогенність.

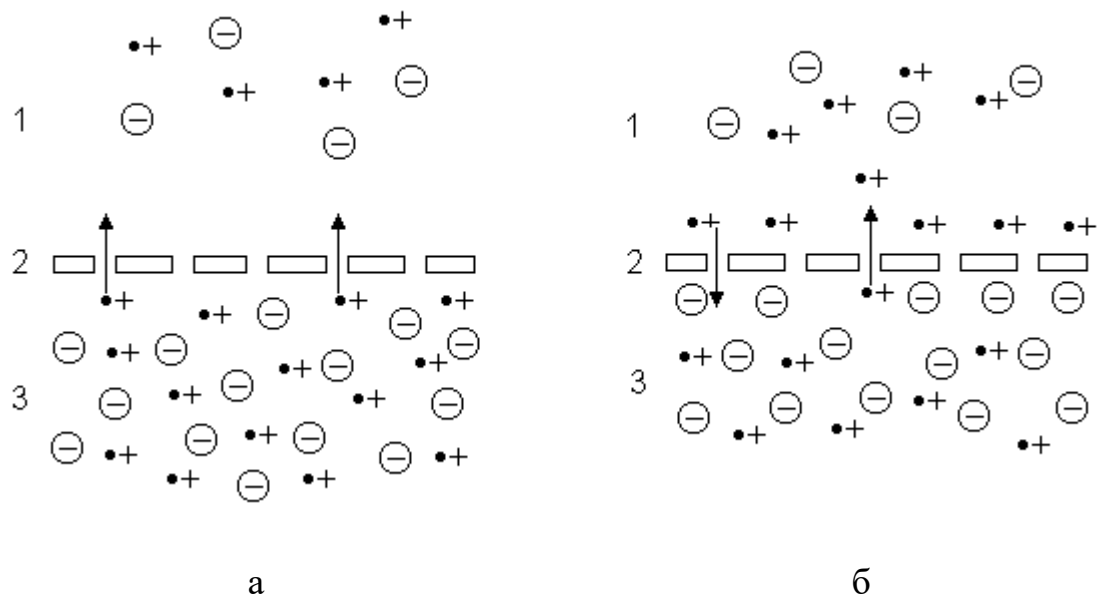


Рис 2.4. Процес відновлення стабільного стану між клітиною та міжклітинною рідиною: а – стан після обробки; б – кінцевий стан динамічної рівноваги; 1 – розчин міжклітинної рідини з низькою концентрацією іонів; 2 – напівпроникна мембрана; 3 – розчин із високою концентрацією іонів усередині клітки.

Будь-який фізичний або хімічний вплив, що змінює швидкість процесів, які забезпечують гетерогенність клітинного середовища, викликає порушення цієї рівноваги. Залежно від інтенсивності транспортних процесів і масштабу відхилення від норми, клітина може стабілізуватися на певному рівні, поступово відновлюючи баланс за рахунок мембранних функцій. У разі значного впливу можливе незворотне пошкодження клітин, що призводить до їх загибелі.

Щоб усунути зворотне гальмування, необхідно активувати мембранні функції, сприяючи відновленню просторової гетерогенності клітинного субстрату. Процес повернення до нормального стану залежить від багатьох чинників, таких як ступінь і характер впливу, організація структури клітини, температура та інші умови.

2.2. Теоретичні дослідження електрофізичних властивостей насіннєвої маси в сильному електричному полі

Джеймс Клерк Максвелл зазначав: "Коли електрорушійна сила впливає на діелектричне середовище, вона спричиняє стан, відомий як електрична поляризація. В ізотропних матеріалах це явище описується як електричне зміщення в напрямку дії електрорушійної сили. Поляризація супроводжується виникненням поверхневих зарядів у кожному об'ємному елементі діелектрика, що можна розглядати як сукупність таких елементів. Поверхневий заряд позитивний з боку дії електрорушійної сили та негативний на протилежному боці".

Він також зазначив, що дія електрорушійної сили на провідні середовища спричиняє виникнення електричного струму. Однак діелектрики, як правило, є недосконалими ізоляторами, демонструючи певний ступінь провідності. Це призводить до того, що у багатьох середовищах, які характеризуються слабкими діелектричними властивостями, спостерігаються явища, пов'язані з діелектричною індукцією.

Зернові маси є прикладом таких середовищ. У них одночасно протікають процеси електричної індукції та струмопровідності. Частинки зернових мас можна класифікувати як діелектрики, що демонструють іонну поляризацію. Наявність вільних зарядів у таких діелектриках спричиняє слабкий струм провідності (наскрізний струм). Якщо до діелектрика після завершення поляризації прикласти постійну напругу, через нього проходитиме лише струм провідності. Час, необхідний для виникнення іонної поляризації, становить приблизно 10^{-13} с.

Оскільки точне визначення поглиненого струму є складним завданням, опір діелектрика зазвичай обчислюють як відношення прикладеної напруги до струму, виміряного через хвилину після подачі напруги. Цей струм фактично є струмом провідності.

Проте зернова маса є гетерогенною системою, що складається з двох компонентів — насіння та повітря. При подачі напруги в пустотах між зернами

може протікати розрядний струм. Цей струм визначається наявністю вільних зарядів у порожнинах, на поверхні насіння, а також струмопровідного пилу.

Таким чином, загальний струм у зерновій масі можна подати як суму струму провідності та розрядного струму. Для густини струмів це співвідношення записується наступним чином:

$$J_{zc} = J_n + J_p, \quad (2.1)$$

де J_{zc} – повний струм у насінневій масі;

J_n – струм провідності;

J_p – розрядний струм.

Виходячи з виразу (2.1), рівняння безперервності густини струму провідності можна представити у вигляді:

$$J_{zc} = E_{zm}\gamma_{zm} + E_n\gamma_n, \quad (2.2)$$

де E_{zm} і E_n – напруженість електричного поля відповідно в насінневій масі й повітрі;

γ_{zm} і γ_n – питома електропровідність відповідно насінневій маси і повітря.

Питома електропровідність насінневої маси, як і інші електричні характеристики, не має фіксованого значення і змінюється під впливом різноманітних чинників. До таких чинників належать біологічний склад насіння, рівень його вологості, температура, ступінь засміченості та величина прикладеної напруги. Загальне вираження для питомої електропровідності можна подати у наступному вигляді:

$$\gamma_{zm} = f(BC, W, T, Z, E) \quad (2.3)$$

де BC – біологічний склад;

W – вологість;

T – температура;

Z – забрудненість;

E – напруженість електричного поля.

Електропровідність насіння можна розглядати як складову двох типів: поверхнева провідність та об'ємна провідність, які мають різні механізми формування.

Поверхнева провідність обумовлена адсорбційними властивостями насіння. Формування адсорбційної плівки вологи на поверхні залежить від фізико-механічних характеристик насінини та її поверхневого стану. Якщо поверхня зерна шорстка або забруднена, то провідність може суттєво знизитися. Значний вплив на поверхневу провідність має вологість повітря. Волога, що міститься в атмосфері, осідає на зерні, утворюючи тонкий шар води. Ця плівка може мати високу провідність через домішки, які дисоціюють у воді, створюючи іони.

За відсутності адсорбційного шару поверхнева провідність була б незначною порівняно з об'ємною. Проте за умов наявності вологи або інших домішок, адсорбованих на поверхні зерна, поверхнева провідність може значно перевищувати об'ємну.

Об'ємна провідність визначається властивостями самого насіння, зокрема його біологічним складом, рівнем вологості та температурою.

За стандартних умов зберігання та обробки поверхнева провідність для одного виду культури має порівнянні значення за однакової вологості та температури. Натомість об'ємна провідність може варіюватися навіть для насіння однієї культури, що зумовлено різницею у біологічному складі.

Склад насіння зернових культур залежить від багатьох чинників, таких як сорт, регіон вирощування, особливості ґрунту та кліматичні умови. Особливий вплив мають кліматичні чинники, які визначають рівень загального вмісту азоту і співвідношення різних білкових фракцій у зерні. Наприклад, кількість білка у

зернових значною мірою залежить від рівня зволоження ґрунту протягом періоду вегетації.

Зазначені фактори впливають на електропровідність насіння, що, своєю чергою, визначає оптимальні режими обробки. Тому єдиний режим обробки не може бути однаково ефективним для всіх партій насіннєвого матеріалу навіть у межах однієї культури.

Параметри обробки мають відповідати електрофізичним характеристикам конкретної партії насіння, які можуть значно відрізнятися між собою.

Огляд літератури показує, що попередні дослідники не враховували цей важливий фактор. Вони пропонували режими обробки для різних культур, не зважаючи на їхні електричні характеристики, що призводило до низької повторюваності результатів. Через це методи не здобули широкого застосування.

Для досягнення максимального біологічного ефекту під час обробки необхідно визначити критерії, які дозволять узгоджувати параметри процесу з питомою електропровідністю зернової маси.

РОЗДІЛ 3.

СТВОРЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР У ВИСОКОІНТЕНСИВНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ

3.1. Розробка установки для обробки зернових в СЕП

У розробленому методі обробка зернової маси здійснюється за допомогою сильного електричного поля (СЕП).

Для досягнення оптимального режиму спочатку визначають вологість зерна. Відповідно до цього встановлюються параметри обробки, зокрема час впливу та рівень напруги між електродами.

Процес обробки передбачає подачу зернової маси в камеру, де вона піддається впливу електричного поля високої напруженості після активації установки.

Переваги цього способу обробки:

- екологічна безпечність;
- збереження структури насіння;
- нижчі енерговитрати порівняно з методами, які використовують хімічні препарати.

Для впровадження методу необхідно інтегрувати його в існуючий технологічний процес. Структуру технологічної лінії представлено на рисунку 3.1.

Перед початком обробки проводять вимірювання вологості зернової маси, на основі якого визначають параметри обробки та налаштовують установку. Можливі два варіанти реалізації процесу:

1. **Перший варіант.** Насіння завантажується в камеру обробки. Після активації установки автоматично вмикається джерело високої напруги, подаючи струм на електроди. Насіння обробляється сильним електричним полем. По завершенні встановленого часу обробки засувка відкривається автоматично, і насіння вивантажується. Після цього завантажується нова партія, і процес повторюється.

2. **Другий варіант.** Насіння також завантажується в камеру обробки, де автоматично вмикається джерело високої напруги, а напруга подається на електроди. Вихідна заслінка відкривається під заданим кутом, забезпечуючи рух зерна через камеру. Час обробки визначається періодом, протягом якого зерно переміщується від верхньої до нижньої частини електродів. Рух насіння регулюється кутом відкриття заслінки, розміром вихідного отвору камери та інтенсивністю роботи електромагнітного вібратора. Цей варіант забезпечує безперервний процес обробки.

Розроблена система є екологічно чистою, не порушує біологічну структуру насіння, характеризується низьким енергоспоживанням та меншими витратами порівняно із хімічними методами передпосівної обробки.

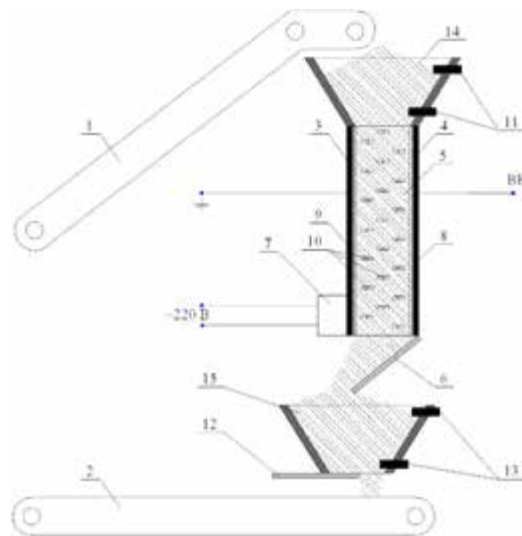


Рис. 3.1 - Схема технологічної лінії для обробки насіння в сильному електричному полі

Процес обробки насіннєвого матеріалу відбувається за наступним алгоритмом. Після активації електроживлення запускається завантажувальний транспортер 1, який подає насіння в завантажувальний бункер 14. Звідти насіння переміщується в камеру обробки 5, при цьому автоматично закривається вивантажувальний затвор 6.

Коли камера обробки наповнюється, на електроди 3 і 4 подається напруга відповідного рівня для створення сильного електричного поля. Одночасно

вмикається електромагнітний вібратор 7, який забезпечує рівномірний витік насіння з камери. Рівень наповнення завантажувального бункера контролюється за допомогою датчика рівня 11. Якщо зерно заповнює бункер до верхньої позначки, спрацьовує верхній датчик, який зупиняє роботу завантажувального транспортера 1. При досягненні нижнього рівня зерна спрацьовує нижній датчик, який дає сигнал для відновлення подачі насіння.

Після завершення обробки в камері насіння транспортується у вивантажувальний бункер. Рівень насіння в цьому бункері також контролюється датчиком рівня 13. Якщо бункер не заповнений, вивантажувальний затвор 12 залишається закритим. Коли насіння досягає верхньої позначки, верхній датчик подає сигнал для відкриття затвора та запуску вивантажувального транспортера 2. Після зниження рівня зерна до нижньої позначки нижній датчик автоматично закриває затвор і вмикає транспортер.

Функціональна схема роботи установки для обробки насіння у сильному електричному полі (СЕП) наведена на рисунку 3.2.

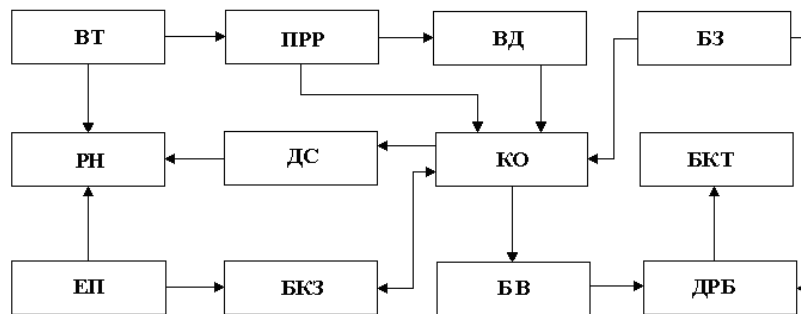


Рис. 3.2. Функціональна схема лінії обробки насіння в СЕП: ЕП – електронний програматор; РН – регулятор напруги; ВТ – високовольтний трансформатор; ПРР – перемикач режиму роботи; ВД – випрямляч на діодах; ДС – датчик струму; КО – камера обробки; БКЗ – блок керування засувкою; БКТ – блок керування транспортерами; ДРБ – датчики рівня бункерів, БЗ – бункер завантажувальний, БВ – бункер вивантажувальний

Також було розроблено алгоритм роботи технологічної лінії в автоматичному режимі. (рис. 3.3).

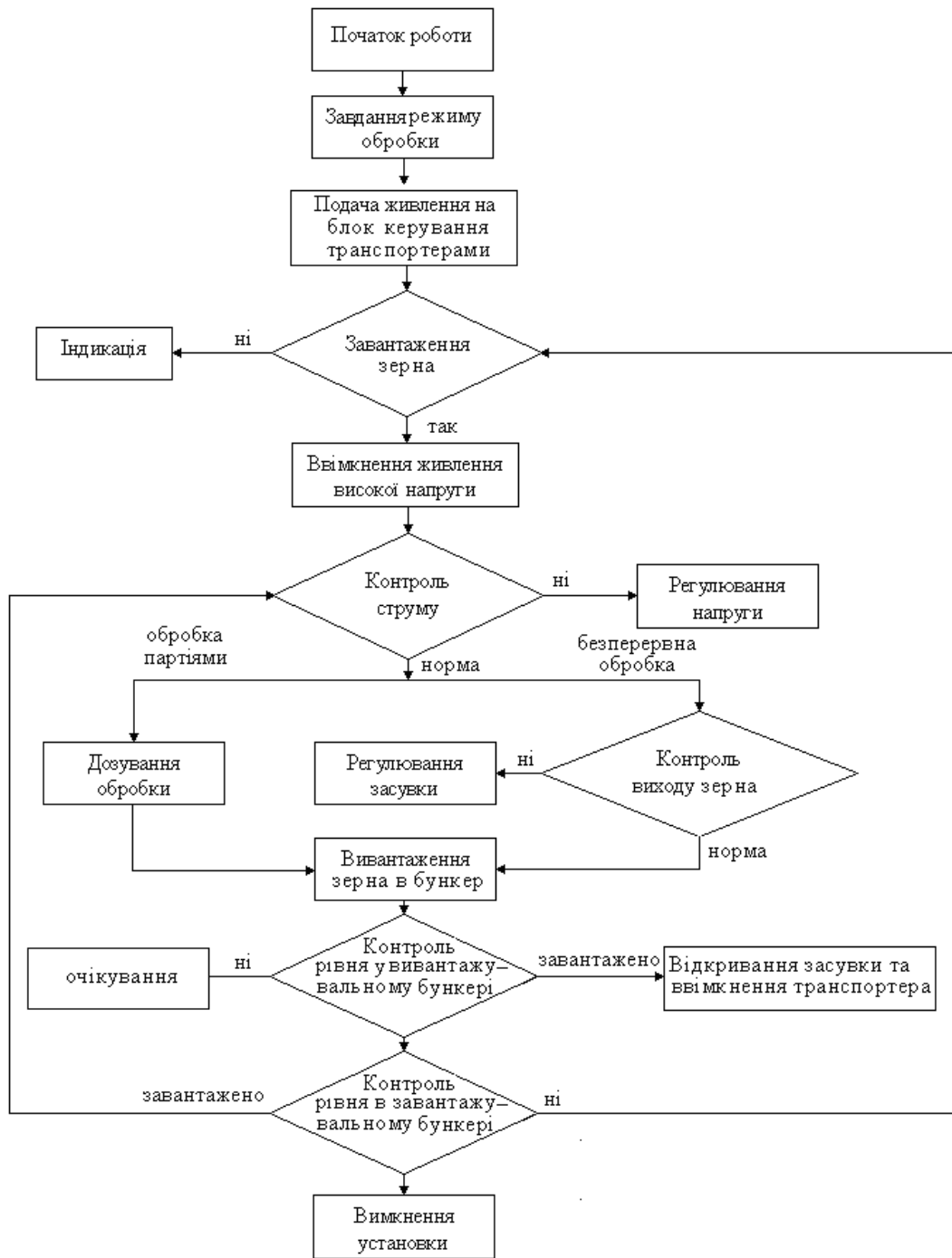


Рис. 3.3. Блок-схема алгоритму роботи технологічної лінії для передпосівної обробки насінневої маси

Конструкція системи передбачає можливість заземлення зовнішніх електродів камери, які одночасно виконують функцію корпусу. Це рішення дозволяє скоротити витрати на виробництво, усуваючи необхідність у використанні додаткового захисного кожуха. Таким чином, знижується матеріаломісткість системи, що призводить до зменшення її ваги.

Електрична частина включає блок керування та схему живлення для низькочастотного зміщення. Також система обладнана високовольтним трансформатором із підвищувальним блоком. Електрична схема представлена на рисунку 3.4.

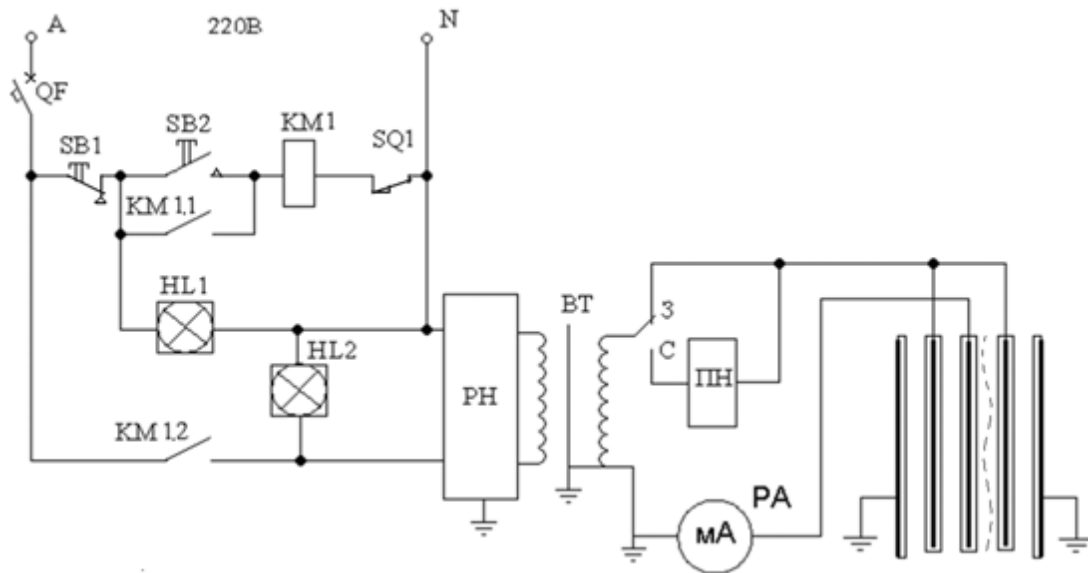


Рис. 3.4. Електрична схема установки для обробки насіння в СЕП

При активації автоматичного вимикача QF на пристрій подається напруга, що супроводжується загорянням індикаторної лампи EL1. При натисканні кнопки SB2 напруга подається на котушку магнітного пускача KM, в результаті чого контакти KM1 і KM2 замикаються, про що інформує індикаторна лампа EL2. Після цього живлення передається на високовольтний трансформатор BT.

Для вибору режиму роботи пристрою передбачено перемикач, який дозволяє переключатися між режимами "знезараження" і "стимуляція". У режимі знезараження перемикач встановлюється в положення "З", що забезпечує подачу змінної високої напруги на електроди. У режимі стимуляції перемикач переводиться в положення "С", при якому напруга подається на електроди через підсилювач напруги ПН, забезпечуючи подачу постійної напруги.

Для безпеки роботи в електричному ланцюзі апарата передбачено кінцевий вимикач SQ. Він автоматично вимикає електроживлення пристрою, якщо шафа відчиняється під час його роботи.

Установка виконана у вигляді мобільної компактної конструкції, що включає пересувну основу, високовольтне джерело живлення, пульт керування

та камеру обробки. Схема роботи та зовнішній вигляд установки представлені на рисунках 3.5 та 3.6.

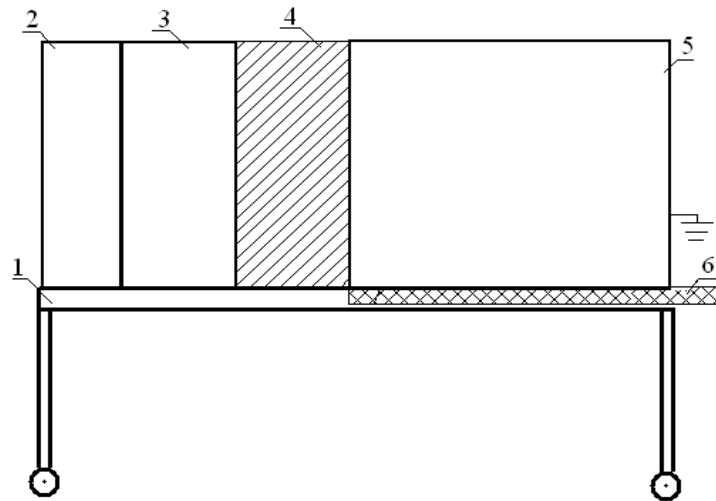


Рис. 3.5. Схема установки для обробки насіння: 1 – мобільна основа; 2 – пульт керування; 3 – джерело високої напруги; 4 – захисний кожух; 5 – камера обробки; 6 – засувка



Рис. 3.6. Зовнішній вигляд установки для обробки зернових в сильному електричному полі

Пересувна конструкція має габарити 1500x900x500 мм і є основою для монтажу всього обладнання, що входить до складу установки.

Джерело високої напруги складається з однофазного підвищувального трансформатора ОСВ – 1,5 220/15000 та спеціального пристрою для помноження напруги, які були розроблені та виготовлені для цієї установки.

Таблиця 3.1

Технічна характеристика трансформатора ОСВ – 1,5 220/15000

Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення параметра
Первинна напруга	В	220±6%
Частота мережі живлення	Гц	50
Номінальна потужність	кВА	1,5
Вторинна напруга при номінальному навантаженні	В	15000±5%
Струм холостого ходу	мА	500
К.К.Д., не менше	%	95
Габаритні розміри, не більше	Мм	240×230×480
Вага, не більше	Кг	55,0

Високовольтні трансформатори та підвищувальні помножувачі розміщуються у спеціальних герметичних шафах, що забезпечують їх захист від доступу під час роботи пристрою. Візуальний вигляд трансформатора та підвищувального помножувача представлено на рисунках 3.7 і 3.8 відповідно.



Рис. 3.7. Високовольтний трансформатор сухий ОСВ-1,5 220/15000



Рис. 3.8. Каскадний помножувач напруги

Після високовольтного трансформатора у схемі передбачено перемикач режимів роботи, який дозволяє обирати між режимами "стимуляція" та "знезараження". Вихід контакту перемикача, встановленого в положенні "З", підключається безпосередньо до високовольтного електрода, тоді як вихід з положення "С" спрямовується спочатку на каскадний підвищувальний помножувач, а потім — до електрода.

Регулювання режиму обробки здійснюється через зміну напруги, яка подається на первинну обмотку трансформатора. Для налаштування режиму була визначена залежність між напругою на вторинній обмотці трансформатора та напругою, що подається на первинну обмотку. Ця залежність, отримана під час вимірювань у режимі холостого ходу, наведена на рисунку 3.9.

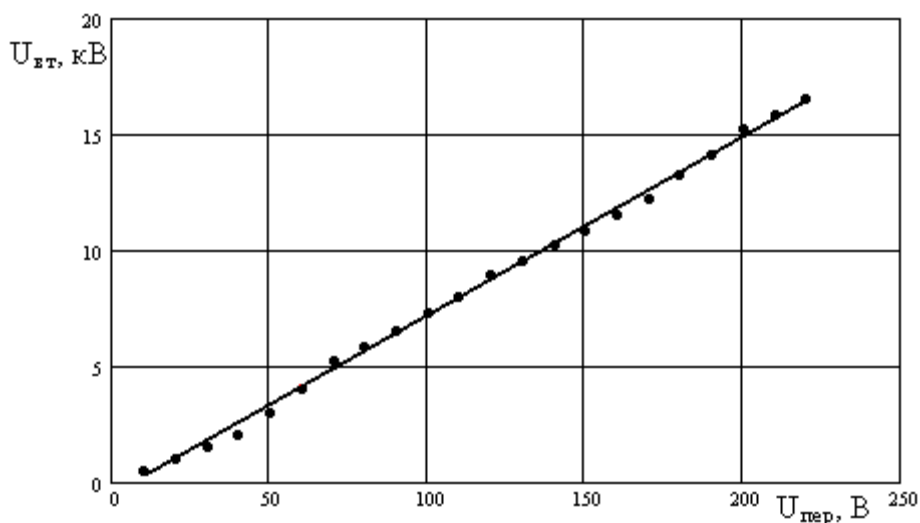


Рис. 3.9. Залежність вторинної напруги трансформатора від первинної

Камера для обробки виготовлена з діелектричних матеріалів і оснащена плоскими високовольтними електродами. Кількість електродів може змінюватися залежно від потреб, причому у створеному експериментальному прототипі було використано 15 електродів. Площа пластинчастих електродів визначається номінальним струмом живлення, а відстань між електродами залежить від рівня високої напруги. Зовнішні електроди заземлюються на нульовий потенціал і виконують функцію захисного кожуха. Схематичне зображення камери наведено на рисунку 3.10, а її зовнішній вигляд представлено на рисунку 3.11.

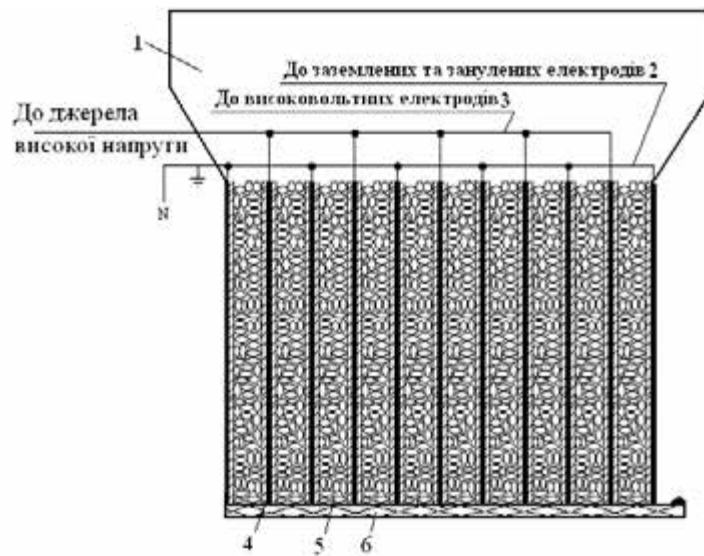


Рис. 3.10. Схема камери обробки де, 1 – бункер; 2 – заземлені електроди; 3 – високовольтні електроди; 4 – пластини з діелектричного матеріалу; 5 – зернова маса; 6 – засувка



Рис. 3.11. Зовнішній вигляд камери обробки

У режимі стимуляції насіння на електроди подається висока постійна напруга, що зумовлено її позитивним біологічним впливом на насіння. Для знезараження зернового матеріалу застосовується сильне електричне поле змінного струму, оскільки воно дозволяє досягти більшої інтенсивності часткових розрядів порівняно з постійним струмом, що сприяє утворенню вищих концентрацій озону. Для активації режиму стимуляції перемикач переводять у положення "С". Після завантаження насіння в камеру пристрій активується, і на високовольтні пластинчасті електроди подається постійна висока напруга. У камері насіння піддається впливу електричного поля постійного струму. Щоб забезпечити оптимальний режим обробки для різних культур, необхідно регулювати щільність струму. Наприклад, для обробки насіння сої щільність струму має становити 30-90 мА/м². Після завершення експозиції насіння автоматично вивантажується з камери обробки.

3.2. Продуктивність установки та витрати електроенергії

Результативне впровадження запропонованої установки можливе за умови забезпечення високої продуктивності та мінімізації собівартості обробки насіння. Ці ключові параметри були визначені для розробленої системи. Продуктивність установки обчислюється за формулою:

$$Q = \frac{G}{t}, \quad (3.1)$$

де Q – продуктивність, кг/год.; G – маса насіння, кг; t – час обробки, год.

Масу обробленого насіння визначаємо:

$$G = k \cdot \gamma \cdot V, \quad (3.2)$$

де V – об'єм насіння, що проходить через установку за час обробки, м³; γ – густина насінневої маси, кг/м³; k – коефіцієнт заповнення об'єму насінням.

Обсяг насіння, що підлягає обробці, визначається з урахуванням габаритів камери обробки, швидкості транспортування насіння через камеру та тривалості впливу:

$$V = v \cdot S \cdot t, \quad (3.3)$$

де v – швидкість руху насіння через камеру обробки, м/год.; S – площа перерізу камери обробки, м².

Для визначення перерізу камери, можемо визначити площу однієї секції, помноживши на їхню кількість, у розробленій установці 14 секцій:

$$S = 14 \cdot h \cdot l, \quad (3.4)$$

де h – відстань між електродами, м; l – ширина електрода, м.

Час обробки також залежить від вологості насіння. Тому:

$$t = \frac{D}{K}. \quad (3.5)$$

З наведеного вище ми бачимо, що продуктивність установки можемо розрахувати за рівнянням:

$$Q = k \cdot \gamma \cdot v \cdot S. \quad (3.6)$$

Згідно з виконаними розрахунками, запропонована установка здатна обробляти насіння з вологістю 14–14,5% із продуктивністю 838–876 кг/год. Продуктивність залежить від розміру камери обробки, яку можна збільшити, проте для цього знадобиться використання трансформатора більшої потужності.

Вартість обробки визначається витратами на електроенергію, що залежать від характеристик насіння. Зокрема, підвищення вологості насіння спричиняє збільшення сили струму, що своєю чергою призводить до зростання енергоспоживання установки. Найкращі результати досягаються при обробці насіння з кондиційною вологістю 14–14,5%. Для такої вологості витрати електроенергії на обробку 1 тонни насіння складають 1,29 кВт-год.

Споживання енергії для обробки залежить від вологості насіння, його обсягу та встановлених робочих параметрів. На рисунку 3.12 наведено залежність споживання електроенергії від обсягу обробленого насіння.

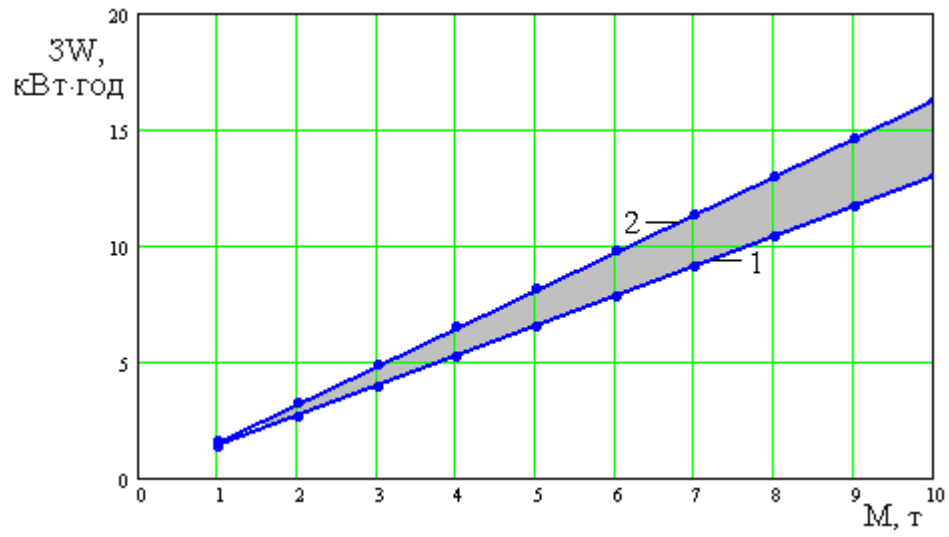


Рис. 3.12. Витрати електроенергії на обробку насіння: 1 – вологістю 14 %; 2 – вологістю 14,5 %

РОЗДІЛ 4.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ПОСІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ОБРОБКИ

4.1. Порівняльний аналіз методів обробки насіннєвого матеріалу сільськогосподарських культур

Технологія та спеціальне обладнання для обробки насіння сільськогосподарських культур за допомогою високовольтних електричних полів, розроблені кафедрою, призначені для передпосівної та складської обробки насіння різних культур: зернових, кормових, квіткових, а також насіння дерев і чагарників.

Для кожного виду насіння створюється оптимальний режим обробки, що сприяє покращенню ряду характеристик, таких як:

- схожість;
- енергія проростання;
- схожість у польових умовах;
- стійкість рослин до грибкових і бактеріальних захворювань;
- прискорення росту та розвитку;
- збільшення врожайності.

Запропонована технологія має низьке енергоспоживання, не викликає мутагенних змін у насінні або рослинах, є екологічно чистою та біологічно безпечною. При її використанні не застосовуються хімічні речовини чи вплив шкідливої енергії на насіння.

Ця методика має низку переваг завдяки комплексному багатofакторному впливу на насіння, що перевершує інші відомі методи, такі як:

- хімічна обробка;
- обробка електричним полем коронного розряду;
- іскровий розряд;
- вплив електричним струмом;
- іонізуюче випромінювання;

- ультрафіолетове, інфрачервоне та лазерне випромінювання;
- ультразвук.

Методи обробки насіння у високовольтних електричних полях мають комплексний вплив на всі частини насінини, включаючи захисну оболонку, ендосперм, зародок, міжклітинну рідину та клітини. Це зумовлено впливом таких факторів:

1. електричні поля високої напруженості;
2. електричні струми;
3. іонізаційні процеси;
4. озон;
5. атомарний кисень;
6. іони повітря;
7. температурні зміни;
8. стерилізуючий ефект.

Запропонована технологія не включає:

9. різких (ударних) впливів механічного, хімічного, електромагнітного, світлового чи іншого енергетичного характеру;
10. використання шкідливих хімічних речовин;
11. генетичних змін у структурі насіння.

Таблиця 4.1

№	Назва технології	Фактори впливу на насіння										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	Хімічна обробка	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-
2.	Електричне поле коронного розряду	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-
3.	Іскровий розряд	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-
4.	Електричний струм	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	Іонізуюче	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

6.	Ультрафіолетове випромінювання	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+
7.	Інфрачервоне випромінювання	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
8.	Лазерне	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+
9.	Ультразвук	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
11.	обробки насіння в електричному полі високої напруженості	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-

(+) – присутній при обробці насіння; (-) – відсутній при обробці насіння.

4.2. Закономірності зміни посівних властивостей насіння сої залежно від параметрів режиму обробки

Якісний посівний матеріал є найефективнішим засобом для підвищення врожайності. Лабораторна схожість вважається одним із ключових показників для оцінки посівних властивостей насіння. Це пояснюється тим, що процес проростання насіння є складним з морфологічної та біохімічної точок зору і суттєво залежить від умов навколишнього середовища. Вплив зовнішніх факторів може уповільнити біохімічні зміни та викликати зміни біологічних характеристик проростків. Таким чином, насіння виконує не лише функцію збереження і відтворення виду, але й служить механізмом адаптації до умов вирощування.

Природні та антропогенні фактори, які впливають на проростання насіння і розвиток проростків, спричиняють значні зміни у фізіологічних і біохімічних процесах. Ці зміни багато в чому визначають здатність насіння забезпечувати високі врожаї. Саме тому період проростання викликає особливу увагу науковців, адже він відкриває широкі перспективи для теоретичних досліджень і практичного застосування.

Таблиця 4.2

Польова схожість насіння сої

Сорт	Варіант обробки (Повторення)	Середнє по
------	---------------------------------	------------

								повто- ренням
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль								
1	Елена	33	36	32	34	34	35	34,0
2	Артеміда	39	36	40	37	37	39	38,0
3	Київська 98	45	45	41	38	38	31	39,7
I варіант обробки електричними полями								
1	Елена	44	43	32	36	39	38	38,7
2	Артеміда	41	42	42	40	42	37	40,7
3	Київська 98	40	36	40	41	41	35	38,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
II варіант обробки електричними полями								
1	Елена	37	42	36	43	42	35	39,2
2	Артеміда	42	44	46	38	36	40	41,0
3	Київська 98	47	42	46	40	41	40	42,7
Ризогумін								
1	Елена	43	41	39	36	37	44	40,0
2	Артеміда	41	41	42	43	37	40	40,7
3	Київська 98	50	48	43	44	47	40	45,3
Мікосан-Н								
1	Елена	19	26	21	32	31	33	27,0
2	Артеміда	17	37	30	26	27	41	29,7
3	Київська 98	39	29	43	41	37	39	38,0
Бактеріальний препарат (<i>Bradirizobium Japonica 364b</i>)								
1	Елена	29	28	37	33	35	31	32,2

2	Артеміда	36	31	34	41	25	43	35,0
3	Київська 98	30	35	36	42	38	37	36,3
Cu								
1	Елена	38	35	26	37	23	31	31,7
2	Артеміда	31	30	32	22	32	35	30,3
3	Київська 98	38	36	34	31	33	36	34,7
Fe								
1	Елена	22	25	26	23	29	36	26,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Артеміда	33	35	38	42	37	32	36,2
3	Київська 98	33	42	35	36	28	39	35,5
Ag								
1	Елена	34	37	38	30	40	38	25,0
2	Артеміда	36	37	23	37	41	36	35,0
3	Київська 98	24	21	25	19	29	32	36,7
Максим XL 035 FS								
1	Елена	28	33	44	27	45	32	34,8
2	Артеміда	33	32	28	33	30	30	31,0
3	Київська 98	33	31	25	24	22	27	27,0
Полідез								
1	Елена	15	15	19	27	14	12	17,0
2	Артеміда	26	17	26	31	32	26	26,3
3	Київська 98	20	18	35	29	28	30	26,7

Обробка насіння сої біостимуляторами росту та фізичними методами, такими як вплив сильного електричного поля постійного струму, суттєво

впливає на польову схожість. У дослідженні насіння сої, оброблене біостимулятором "Лізофін" з подальшим впливом електричного поля перед посівом, продемонструвало найвищі показники польової схожості. У цьому варіанті з 50 висіяних насінин проростало в середньому 40-45 одиниць. Після обробки ризогуміном цей показник склав 40-42 насінини, а при застосуванні тільки електричного поля — 39-42 одиниці.

Обробка насіння препаратом "Максим XL 035 FS" забезпечила польову схожість у межах 27-35 одиниць, тоді як використання протруйника "Полідес" знизило цей показник до 17-27 насінин із 50 висіяних.

У контрольному варіанті для сорту "Київська 98" польова схожість становила 39,7 одиниць. При обробці електричним полем у варіантах дослідження I та II вона дорівнювала 38,8 та 42,7 одиниць відповідно, а при застосуванні ризогуміну — 45,3 одиниці. Обробка препаратом "Мікосан-Н" забезпечила схожість у 38,0 одиниць, а бактеріальним препаратом *Bradyrhizobium Japonica 364b* — 36,3 одиниці. Використання іонів міді, заліза та срібла забезпечило схожість у 34,7, 35,5 та 36,7 одиниці відповідно, а обробка "Максим XL" і "Полідес" дала найнижчі показники — 27,0 та 26,7 одиниць відповідно.

Площа листової поверхні має вирішальне значення для формування врожайності завдяки фотосинтетичній активності рослин. Найефективніша площа формується в період від цвітіння до утворення зелених бобів і становить 40-50 тис. м²/га. Невелика площа листової поверхні знижує ефективність використання фотосинтетично активної радіації (ФАР) та погіршує структуру врожаю. Водночас надмірне збільшення площі листя також небажане, оскільки це призводить до затінення нижніх ярусів листя, їхнього опадання та зниження ефективності фотосинтезу.

Серед усіх досліджених варіантів найкращі результати формування площі листової поверхні забезпечили обробка насіння біопрепаратами, фізичними методами та використання "Максим XL 035 FS". Натомість обробка

препаратом "Полідес" негативно вплинула на формування листової поверхні проростків сої.

Таблиця 4.3

Площа листової поверхні рослин сої, тис.м²/га

Сорт	Варіант обробки насіння										
	Контроль	I варіант обробки електричними полями	II варіант обробки електричними полями	Ризогумін	Мікосан-Н	Бактеріальний препарат (Bradirizobium Japonica 364b)	Cu	Fe	Ag	Максим XL 035 FS	Полідес
третій трійчастий листок											
Елена	9,8	9,7	9,9	9,8	9,0	9,7	9,9	9,5	9,0	9,8	8,7
Артеміда	10,3	10,7	10,8	10,8	10,1	10,4	10,6	10,1	10,0	10,4	9,8
Київська 98	11,4	11,3	11,8	11,5	11,4	11,6	11,4	11,2	11,6	11,5	10,1
початок цвітіння											
Елена	23,8	23,5	24,1	23,6	22,4	23,5	22,3	21,1	21,4	23,8	22,2
Артеміда	25,0	24,7	25,2	24,9	23,6	24,8	23,5	23,1	22,7	25,4	23,7
Київська 98	26,4	26,2	26,9	26,1	24,1	26,2	24,8	24,0	24,6	26,6	23,9
кінець цвітіння											
Елена	41,6	41,3	42,0	40,6	40,6	41,1	39,7	39,8	38,8	41,6	39,9
Артеміда	42,2	42,5	42,8	42,0	41,1	42,5	41,6	41,4	40,6	42,7	40,5
Київська 98	43,1	43,3	43,6	42,8	42,5	42,9	42,4	42,3	41,1	43,6	42,5
повний наливання насіння											
Елена	45,9	45,8	45,9	44,9	44,9	44,6	44,3	44,1	43,6	44,0	42,3
Артеміда	46,8	47,1	47,5	46,6	45,2	46,8	45,9	45,8	44,3	46,5	45,7
Київська 98	48,0	48,2	48,5	47,5	47,3	47,5	47,0	47,2	46,2	48,0	46,9

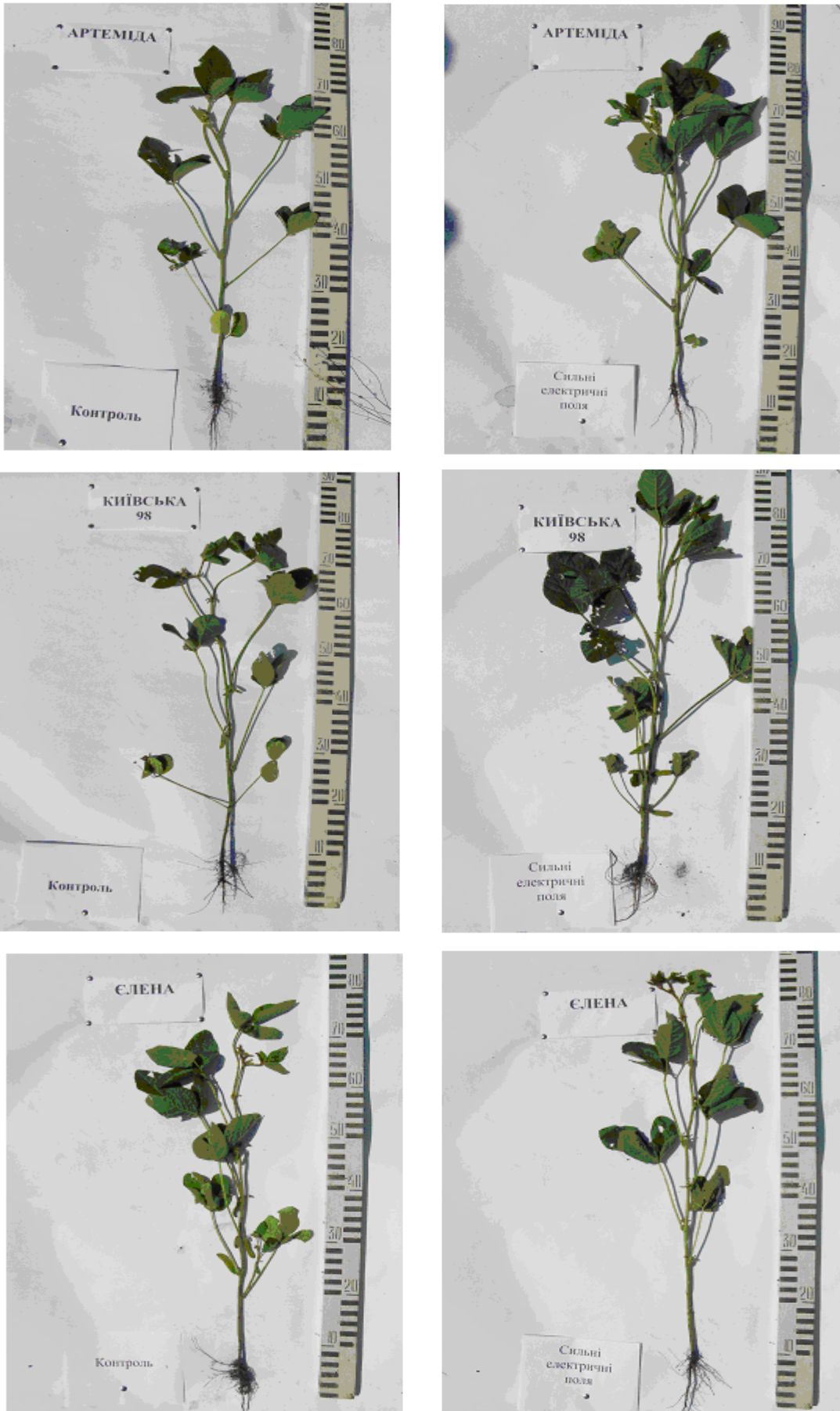


Рис. 4.1. Зовнішній вигляд сої.

Стійкість сої до основних захворювань

Останніми роками площі, засіяні соєю в Україні, поступово збільшуються, однак рівень врожайності залишається низьким. Основними обмежувальними чинниками є недостатня механізація виробничих процесів і дефіцит енергії, що стримує розширення посівних площ і підвищення врожайності культури. Окрім цього, соя є вразливою до різних грибкових, бактеріальних і вірусних хвороб, які знижують врожайність і якість продукції на 70–80%, що спричиняє значні економічні втрати.

Фузаріоз

Збудниками фузаріозу є гриби роду *Fusarium* Link et Fr., зокрема *F. gibbosum* Vilian та інші. Хвороба вражає рослини протягом усього вегетаційного періоду та проявляється у вигляді некрозів сім'ядолей, відмирання точок росту, корневих гнилей, в'янення, плямистостей на листках і стеблах, а також гнилей бобів і зерна.

Найбільший ризик зараження фузаріозом припадає на період проростання насіння. Виділяють три основні типи ураження:

1. **Тип 1:** Насіння не проростає, гниє, утворюється білий або рожевий наліт.
2. **Тип 2:** Проростки мають деформації, нерівномірне потовщення і гинуть після досягнення поверхні ґрунту.
3. **Тип 3:** Сім'ядолі вкриваються коричневими виразками, які при підвищеній вологості стають біло-рожевими через спороношення гриба.

Аскохітоз

Збудник аскохітозу — гриб *Ascochita sojaecola* Adr. Хвороба поширюється найбільше у період від цвітіння до формування плодів і на ранніх стадіях дозрівання.

- На сім'ядолях з'являються темно-коричневі вдавнені плями або виразки з концентричною зональністю.
- На листках утворюються світло-коричневі округлі плями до 1 см у діаметрі з темними краями і концентричними чорними крапками.

- Уражені стебла покриваються сіруватими видовженими плямами з пікнідами.
- На бобах плями набувають сіруватого або коричневого забарвлення з пустулами, у важких випадках боби біліють і вкриваються гнійними плівками.

Бактеріоз

Збудниками бактеріозу є бактерії родів *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*. Насіння, уражене бактеріозом, може виглядати здоровим, але має білуваті або тьмяні плями, виразки та тріщини. У вологих умовах таке насіння стає слизьким, гниє і втрачає здатність проростати. Сім'ядолі вкриваються нальотом, що згодом перетворюється на клейку масу з неприємним запахом.

Оцінка ураження

Рівень ураження сої основними патогенами оцінювали за п'ятибальною шкалою на основі візуального огляду:

- **5 балів:** Максимальний розвиток патогенів, ураження на 75% площі.
- Пошкодження *Fusarium spp.* оцінювали під час проростання, а плямистості та в'янення — протягом усього вегетаційного періоду.
- Пошкодження бактеріями визначали за енергією проростання та схожістю насіння в лабораторних умовах.

Результати

Ураженість сої за різних варіантів передпосівної обробки насіння становила від 1% до 24% площі посіву кожного сорту (табл. 4.4). Найнижчий рівень ураження був зафіксований у ранньостиглого сорту "Єлена". Сорти "Артеміда" та "Київська 98" мали вищий рівень ураження через триваліший вегетаційний період.

Таблиця 4.4

Ураження рослин сої хворобами за різної обробки насіння

Сорт	Варіант обробки насіння
------	-------------------------

	Контроль	I варіант обробки електричними полями	II варіант обробки електричними полями	Ризогумін	Мікосан-Н	Бактеріальний препарат (Bradirizobium Japonica 364b)	Cu	Fe	Ag	Максим XL 035 FS	Полідез
Фузаріоз											
Елена	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Артеміда	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1
Київська 98	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Аскохітоз											
Елена	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Артеміда	2	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2
Київська 98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бактеріоз (шт. уражених насінин з 50 шт.)											
Елена	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12
Артеміда	4	0	0	0	0	0	2	0	0	1	24
Київська 98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	21

Продуктивність сої та якість посівного матеріалу

Визначальним показником будь-яких агрономічних досліджень є врожайність. Досягнення високих урожаїв можливе лише за умови оптимального поєднання всіх факторів і умов, що впливають на життєдіяльність рослин. Використання комплексу агротехнічних методів у дослідженнях дозволяє глибше проаналізувати процес формування врожаю та оцінити значення досліджуваних параметрів (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Структура врожаю сої за різної обробки насіння

№ п/п	Сорт	Висота рослини, см.	Довжина кореневої системи в шарі ґрунту 0-30 см.	Кількість бульбочок, шт.	Висота прикріплення нижнього боба, см.	Кількість продуктивних вузлів стебла, шт.	Кількість бобів на одній рослині, шт.	Довжина бобів	Кількість насіння в бобі, шт.	Маса 1000 насінин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Контроль										
1	Київська 98	66,8	22,4	-	18,1	7	13	4,0	2	203,3
2	Єлена	64,5	20,0	-	13,3	10	14	4,6	3	196,3
3	Артеміда	65,8	23,4	-	18,6	8	14	3,5	2	163,3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I варіант оброки електричними полями										
4	Київська 98	78,6	17	-	17,8	9	13	4,3	3	208,3
5	Єлена	76,8	19,8	-	20,2	8	14	3,8	2	211,3
6	Артеміда	61,8	16,6	-	20,6	6	12	3,7	2	220,6
II варіант оброки електричними полями										
7	Київська 98	76,6	20,6	1	17,6	9	15	4,4	3	208,3
8	Єлена	64,7	23,1	-	17,8	8	15	3,8	2	217,3
9	Артеміда	62,3	22,1	-	18,2	7	16	3,9	2	198,4
Ризогумін										
22	Київська 98	80,3	22,1	-	17,1	10	17	4,5	3	222,0
23	Єлена	85,6	21,7	-	18,6	10	18	4	2	221,3
24	Артеміда	75,0	22,6	-	19,4	7,2	17	4,2	2	174,2
Мікасан-Н										
25	Київська 98	62,8	25,2	-	15,8	7	10	4,3	3	204,55
26	Єлена	58,8	14,7	-	16,8	8	19	3,7	2	196,3
27	Артеміда	57,6	20,0	-	12,4	8	15	4,7	2	153,3

Бактер преп.(Bradirizobium Japonica 364B)										
19	Київська 98	87,8	19,2	-	14,2	8	15	3,9	3	191,3
20	Єлена	81,8	16,6	-	22,4	6	12	3,5	2	214,9
21	Артеміда	61,2	17,6	-	15,2	8	15	4,6	2	196,3
Cu										
10	Київська 98	65,6	20,5	-	12,4	9	24	4,1	3	188,3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	Єлена	64,2	25,4	-	11,2	9	15	4,8	3	223,3
12	Артеміда	66,6	19,8	-	14,8	12	30	3,8	2	198,3
Fe										
13	Київська 98	57,2	15,14	-	17,4	6	9	3,7	3	148,3
14	Єлена	84,2	20,0	-	13,4	8	18	5,3	2	225,3
15	Артеміда	55	17,4	-	18,4	7	13	4,2	3	138,3
Ag										
16	Київська 98	62,1	18,8	-	14,4	9	15	4,4	3	194,7
17	Єлена	52,6	13,1	-	14,8	7	13	4,9	3	217,3
18	Артеміда	60,4	22,4	-	21,4	7	13	4,1	2	190,3
Максим XL 035 FS										
31	Київська 98	60,9	14,5	-	18,5	6	9	3,3	2	155,3
32	Єлена	69,4	18,6	-	15,5	7	13	3,8	2	175,8
33	Артеміда	57,4	15,5	-	11,4	10	21	3,7	2	180,63
Полідез										
28	Київська 98	68,4	15,1	-	19,4	7	11	4,0	2	175,6
29	Єлена	57,9	17,8	-	20,2	6	10	3,7	2	184,2
30	Артеміда	60,4	18,4	-	22,6	7	13	3,8	2	172,3

Дослідження посівних якостей насіння сої за різних варіантів обробки (табл. 4.6) продемонструвало, що використання біологічних та фізичних

факторів сприяло підвищенню енергії проростання та лабораторної схожості насіння, тоді як обробка протруйниками показала значно нижчі результати.

Особливо варто відзначити інтенсифікацію росту насіння після обробки електричними полями високої напруженості постійного струму. У цьому випадку енергія проростання насіння сої майже досягала рівня лабораторних показників, коливаючись у межах 92-98%. Найвищі посівні якості були зафіксовані у сорту Київська 98, особливо після обробки біологічним стимулятором росту лізофіном (100%) та під впливом фізичного фактора – високовольтного електричного поля (97-98%).

Таблиця 4.6

**Посівні якості насіння сої, вирощене за різної обробки
перед сівбою**

п/ п	Сорт	Енергія проростання, %		Лабораторна схожість, %		Середнє значення, %
		3	4	5	6	
1	2	3	4	5	6	7
Контроль						
1	Київська 98	92	90	97	96	97
2	Єлена	88	90	94	95	95
3	Артеміда	91	94	99	98	99
I варіант обробки електричними полями						
1	Київська 98	92	96	97	97	97
2	Єлена	95	95	99	99	99
3	Артеміда	93	95	96	95	96
II варіант обробки електричними полями						
1	Київська 98	98	97	98	97	98
2	Єлена	98	96	100	98	99
3	Артеміда	97	96	98	97	98
Ризогумін						

1	Київська 98	98	96	100	100	100
1	2	3	4	5	6	7
2	Єлена	93	90	99	99	99
3	Артеміда	98	98	100	98	99
Мікосан-Н						
1	Київська 98	85	74	92	94	93
2	Єлена	83	90	95	94	95
3	Артеміда	91	87	92	90	91
Бактер преп.(Bradirizobium Japonica 364B)						
1	Київська 98	96	91	96	93	95
2	Єлена	87	90	92	95	94
3	Артеміда	88	87	94	96	95
Cu						
1	Київська 98	85	82	97	100	99
2	Єлена	91	90	100	98	99
3	Артеміда	86	82	100	95	97
Fe						
1	Київська 98	92	94	95	94	95
2	Єлена	89	95	99	100	100
3	Артеміда	87	94	92	100	96
Ag						
1	Київська 98	95	91	100	98	99
2	Єлена	90	92	97	96	97
3	Артеміда	90	90	95	95	95
1	2	3	4	5	6	7
Максим XL 035 FS						

1	Київська 98	95	90	100	98	99
2	Єлена	99	96	100	100	100
3	Артеміда	95	92	97	97	97
Полідез						
1	Київська 98	0	0	0	0	0
2	Єлена	0	0	0	0	0
3	Артеміда	0	0	0	0	0

Врожайність сільськогосподарських культур залежить від низки факторів, таких як схожість, енергія проростання та маса 1000 насінин. На ці показники суттєво впливають погодні умови, строки посіву, густина посіву, а також методи та строки внесення добрив. Використання великого, однорідного, повністю сформованого насіння без механічних пошкоджень і уражень хворобами, у поєднанні з іншими агротехнічними заходами, сприяє отриманню високоякісного зерна, яке забезпечує високий урожай.

Аналіз результатів виробничих випробувань дозволяє зробити такі висновки:

1. Обробка насіння сої біологічними препаратами та під впливом сильного електричного поля позитивно впливає на польову схожість насіння.
2. Передпосівна обробка насіння лізофуміном і обробка у високовольтних електричних полях постійного струму забезпечували більшу площу листової поверхні, підвищену стійкість до основних патогенів і вищу загальну продуктивність сортів.
3. Загалом, передпосівна обробка біопрепаратом ризогумін і вплив високовольтного електричного поля постійного струму мали позитивний вплив на ріст, розвиток, продуктивність і посівні якості насіння сої. У дослідженнях найкращі показники площі листової поверхні, структури врожаю та посівних якостей насіння були досягнуті середньораннім сортом Київська 98.

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ НАСІННЯ В СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ

5.1. Перевірка в умовах виробництва та економічна ефективність використання установки для передпосівної обробки насіння в сильному електричному полі

Економічна ефективність використання установки для обробки насіння в електричному полі постійного струму високої напруги

Оцінка економічної ефективності установки здійснювалася згідно з "Методикою визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику" (1995) та "Методикою визначення економічної ефективності використання результатів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сільському господарстві".

Порівняльна основа: За базу порівняння прийнято відсутність технічних засобів для обробки насіння в електричних полях постійного струму високої інтенсивності. Вихідні дані було зібрано під час виробничих випробувань. Ціни для розрахунків взяті за період 2008–2019 рр. в Україні.

Показники для оцінки:

Чистий дисконтований прибуток (ЧДП): інтегральний ефект, який характеризує загальний фінансовий результат проекту.

Індекс прибутковості (ІП): співвідношення доходів до інвестиційних витрат.

Внутрішня норма рентабельності (ВНР): ставка дисконтування, при якій проект стає економічно нейтральним (ЧДП = 0).

Період окупності: час, за який інвестиції повертаються.

Формула для розрахунку ЧДП з використанням ставки дисконтування (E):

$$\text{ЧДП} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1 + E)^t} - K, \quad (5.1)$$

де R_t – результати, які досягаються на кроці t ; Z_t – витрати, які здійснюються на кроці t (без капітальних вкладень); T – тривалість розрахункового періоду; E – постійна норма дисконту; K – капітальні вкладення.

Результати, що досягаються у будь-якій рік, розраховуються за формулою:

$$R_t = R_{no} + R_{он} + R_{зн} + R_n, \quad (5.2)$$

де R_{no} – вартість заощаджених коштів на закупівлю препаратів для передпосівної обробки насіння; $R_{он}$ – вартість додатково отриманого насіння; $R_{зн}$ – вартість збереженого насіння при зберіганні; R_n – вартість заощаджених фунгіцидів і протравлювачів.

У цьому випадку капітальні інвестиції призначені лише для початкового етапу роботи і розраховуються за наступною формулою:

$$K = B_{уст}, \quad (5.3)$$

де $B_{уст}$ – вартість установки.

Норма дисконту приймається постійною і дорівнює $E = 0,15$.

Показник рентабельності є відношенням загального чистого прибутку до капітальних інвестицій і розраховується за такою формулою:

$$ПП = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1 + E)^t}. \quad (5.4)$$

Індекс прибутковості тісно зв'язаний з ЧДП, якщо ЧДП позитивний, то $ПП > 1$ і навпаки. Якщо $ПП > 1$, проект ефективний, якщо $ПП < 1$ – неефективний.

Внутрішня норма прибутковості (ЕВН або ВНП) — це ставка дисконтування, за якої приведені доходи (ефекти) від інвестицій дорівнюють приведеним витратам (капітальним вкладенням). Іншими словами, це така ставка, при якій чистий дисконтований прибуток (ЧДП) дорівнює нулю.

Рівняння для визначення ВНП:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{BH})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K}{(1 + E_{BH})^t}. \quad (5.5)$$

Якщо внутрішня норма прибутковості (ВНП) дорівнює або перевищує необхідний рівень прибутковості, очікуваний інвестором, то проект вважається економічно доцільним і може бути прийнятий до реалізації. У разі, якщо ВНП є нижчою за встановлений рівень прибутковості, інвестування в проект вважається недоцільним.

Термін окупності визначається як найменший часовий період від моменту початку реалізації проекту, після якого інтегральний ефект стає невід'ємним.

На рисунках 5.1 та 5.2 представлено графіки, що відображають зміну чистого дисконтованого прибутку та індексу рентабельності залежно від тривалості розрахункового періоду. Аналіз здійснювався для установки, призначеної для обробки насіння у високовольтному електричному полі постійного струму, з урахуванням п'ятирічного періоду експлуатації при обробці 10 тонн насіння сої.

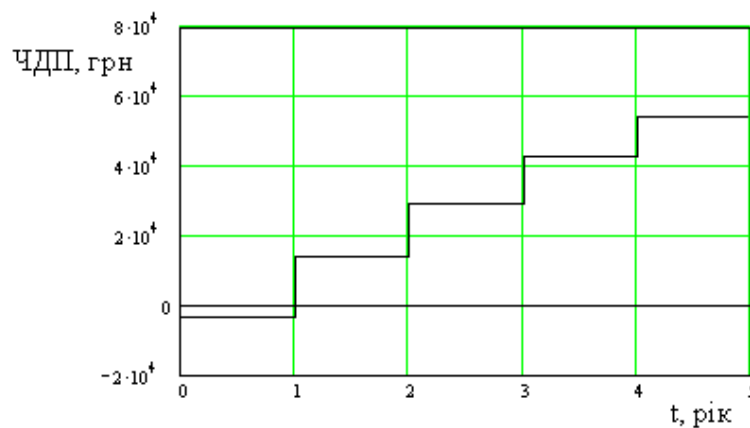


Рис. 5.1. Чистий дисконтирований прибуток у залежності від тривалості розрахункового періоду

Чистий дисконтований прибуток (ЧДП) враховує концепцію вартості грошей у часі. Як видно з рисунка 5.1, на другому році ЧДП стає позитивним, що свідчить про ефективність реалізації проекту.

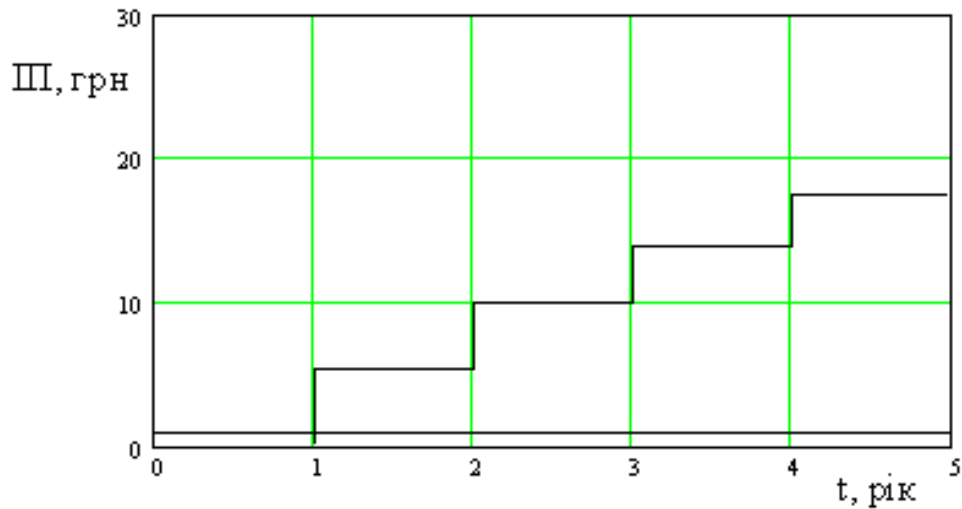


Рис. 5.2. Індекс прибутковості

На другому році функціонування індекс прибутковості переходить у позитивну зону, що свідчить про термін окупності проекту в один рік. Методологія аналізу проектів передбачає оцінку інвестиційних ризиків. Для врахування невизначеності та ризиків під час оцінки ефективності проекту використовується вся доступна інформація, включаючи ту, яка не має формального відображення у вигляді розподілу ймовірностей.

Динамічні ризики пов'язані з непередбаченими змінами бюджету проекту через управлінські рішення або зміну ринкових та політичних умов, тоді як статичні ризики виникають через можливу втрату або пошкодження майна внаслідок недоліків реалізації проекту.

Для аналізу враховуються такі ключові фактори, що впливають на реалізацію фінансованого проекту:

- коливання рівня інфляції та ставок дисконтування;
- зміни витрат на підготовку насіння, його товарної вартості, витрат на посів, а також вартості фунгіцидів і протруйників;

- можливі відхилення результатів від прогнозованих значень під час обробки насіння у високовольтному електричному полі постійного струму.

Щоб оцінити вплив цих факторів на ЧДП, проведено аналіз чутливості доходів у межах $\pm 10\%$ та для дворічного періоду реалізації проєкту. Для аналізу ризиків, пов'язаних із впровадженням станції, застосовано метод Монте-Карло. Цей підхід використовує імітаційну модель, яка генерує різноманітні сценарії, що відповідають встановленим обмеженням для початкових змінних. Очікуваний інтегральний ефект проєкту оцінюється на основі ймовірнісного значення показника ефективності (у цьому випадку ЧДП).

$$\text{ЧДП} = \sum_{t=0}^T (N_{no} \cdot B_{no} + G_{\partial n} \cdot B_{\partial n} + G_{zn} \cdot B_{zn} + N_n \cdot B_n - 3_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (5.6)$$

де N_{no} – кількість заощаджених препаратів для передпосівної обробки насіння;

B_{no} – вартість 1кг препарату; $G_{\partial n}$ – вага додатково отриманого насіння; $B_{\partial n}$ – вартість 1т товарного насіння; G_{zn} – вага заощадженого посівного насіння; B_{zn} – вартість 1т посівного насіння; N_n – кількість заощаджених протравлювачів; B_n – вартість 1кг фунгіцидів і протравлювачів.

Генерація серії випадкових сценаріїв із рівноймовірною зміною факторів у межах $\pm 20\%$ від базових значень дозволяє отримати гістограму розподілу чистого дисконтованого прибутку. Ця гістограма була сформована на основі 500 прогонів і представлена на рисунку 5.3.

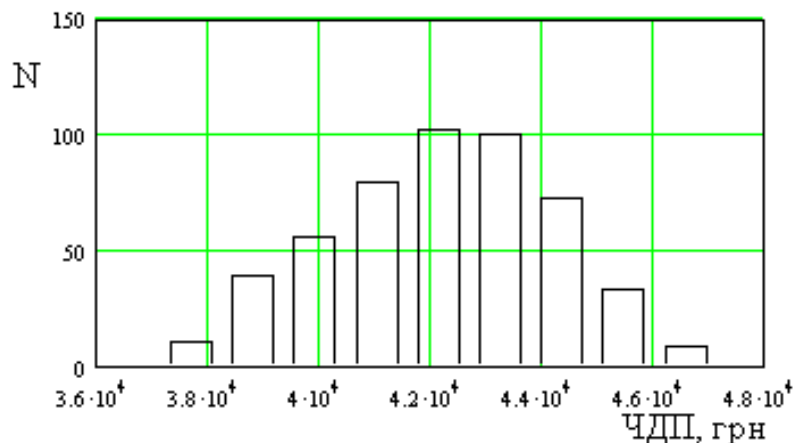


Рис. 5.3. Гістограма розподілу випадкових значень чистого дисконтованого прибутку: N – кількість прогонів

При прийнятих параметрах моделі, коефіцієнт очікуваних втрат визначається за формулою:

$$K_B = \frac{B}{B + \Pi}, \quad (5.7)$$

де B – очікувані втрати (сума всіх від’ємних результатів, помножених на вірогідність їх утворення); Π – очікувані прибутки (сума всіх позитивних результатів, помножених на вірогідність їх утворення).

Із ймовірністю 0,95 встановлено, що очікуваний коефіцієнт втрат становить $K_B = 0$. Це дозволяє зробити висновок про незначний рівень ризиків, пов'язаних із використанням установки для обробки насіння сільськогосподарських культур у високовольтних електричних полях постійного струму.

ВИСНОВКИ

На основі отриманих теоретичних і експериментальних результатів сформульовано такі загальні висновки:

1. Проведений аналіз існуючих технологій передпосівної обробки насіння за допомогою електрофізичних методів підтверджує, що використання електричних полів високої напруженості є екологічно чистим і ефективним способом підготовки насіння до посіву.

2. Теоретичні та експериментальні дослідження виявили, що вплив електричних полів постійного струму високої напруженості спричиняє в насінні фізичні та хімічні зміни, які позитивно впливають на його посівні властивості.

3. Аналіз отриманих результатів засвідчив, що стимулюючий ефект після обробки насіння електричними полями високої напруженості постійного струму суттєво підвищує енергію проростання. При цьому рівень енергії проростання насіння сортів сої після обробки досягав 92-98%, що відповідає показникам лабораторних умов. Найкращі посівні якості були зафіксовані у насіння сорту Київська 98, яке демонструвало максимальні результати після обробки біостимулятором росту лізофіном (100%) та електричним полем (97-98%).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аскоченская Н.А. Водный режим в покоящихся семенах / Н.А. Аскоченская // Биохимические и физиологические исследования семян. – 1979. – С. 94 – 104.
2. Андрейчук В.К. Электрофизические методы предпосевной обработки семян различных сельскохозяйственных культур / В.К. Андрейчук, А.Е. Реднев, И.А. Потапенко // Применение электротехнических устройств в АПК. Научные труды КГАУ. – 2000. – Вып. 381 (409). – С. 74 – 78.
3. Бадретдинов Б.Ф. Электротехнология и урожайность сельскохозяйственных культур / Б.Ф. Бадретдинов, А.А. Тюр, Я.М. Каюмов // Электрификация сельского хозяйства. – 2000. – Вып. 2. – С. 90 – 92.
4. Бажал М.І. Вплив параметрів зовнішнього середовища на електричну стабільність біомембрани / М.І. Бажал // Наукові праці НУХТ. – 2002. – Вип. 11. – С. 22 – 25.
5. Баран А.Н. Об описании стимулирующего действия электрического тока на процессы биосинтеза / А.Н. Баран // Электронная обработка материалов. – 1994. – № 3(177). – С. 58 – 62.
6. Бабич А.А. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность сои при известковании, внесении минеральных удобрений и инокуляции в условиях Лесостепи Украины / А.А. Бабич, В.Ф. Петриченко // Вестник с.-х. науки. – 1992. – № 5. – С. 110-117.
7. Берека О.М. Дослідження напруженості електричного поля початкової іонізації в залежності від вологості насіння / О.М. Берека // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково–виробничий журнал. – 2007. – № 2(21). – С. 21 – 24.
8. Берека О.М. Температурна камера для пророщування ячменю на базі термоелектричного холодильника / О.М. Берека, Л.С. Червінський, М.П. Салата // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково – виробничий журнал. – 2003. – № 3. – С. 26 – 29.

9. Берека О.М. Обробка насіння сільськогосподарських культур в сильних електричних полях / О.М. Берека // Збірник наукових праць Уманського аграрного університету. – 2008. – Ч.1, Вип. 69. – С. 34 – 40.
10. Биофизика живых систем: от молекулы к организму / Под ред. И.Д. Волоотовского. – Мн.: Белсэнс, 2002. – 204с.
11. Застосування озону в сільському господарстві / О.М. Берека, Л.С. Червінський, М.П. Салата, І.П. Назаренко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2006. – Вип. 42. – С. 32 – 37.
12. Вплив температури на електричні властивості зернової маси ячменя пивоварного / О.М. Берека, Л.С. Червінський, М.П. Салата [та ін.] // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2004. – Вип. 24. – С. 143 – 147.
13. Архипов М.В. Фотометрические методы диагностики устойчивости растений / М.В. Архипов // Биофизика растений и фитомониторинг. Сб. науч. трудов АФИ. – 1990. – С. 186 – 208.
14. Вплив обробки в полі коронного розряду на результати пророщування пивоварного ячменю / О.М. Берека, Л.С. Червінський, М.П. Салата, І.П. Назаренко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2004. – Вип. 17. – С. 30 – 33.
15. Берека О.М. Електросинтез озону в насіннєвій масі / О.М. Берека // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – 2008. – Т. 5, Вип. 8. – С. 37 – 43.
16. Електростатична модель молекули озону / [Антонченко В.Я., Гончарук В.В., Ільїн В.В., Семяновський В.Н.]. – К.: ІТФ, 1993. – 12 с.
17. Берека О.М. Пророщування пивоварного ячменю в електростатичному полі високої напруги / О.М. Берека, Л.С. Червінський, М.П. Салата // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково – виробничий журнал. – 2003. – № 2. – С. 9 – 12.
18. Бондаренко Н.Ф. Исследование биофизико-химических процессов в торфяниках / Н.Ф. Бондаренко, П.П. Гончар-Зайнин, О.М. Данченко //

- Научно-технический бюллетень по агрономической физике. – 1975. – № 24. – С. 18 – 21.
19. Берека О.Н. Оптические электротехнологии / О.М. Берека, Л.С. Червінський // Сохранение окружающей среды – важнейшая проблема современности. – Орал, Казахстан, 2005. – Ч. 1. – С. 29 – 31.
 20. Дослідження впливу електростатичного поля високої напруги та іскрового розряду на рН і ОВП води / О.М. Берека, Л.С. Червінський, М.П. Салата, С.М. Усенко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково – виробничий журнал. – 2005. – № 4(13). – С. 61 – 66.
 21. Вплив електростатичного поля високої напруги та іскрового розряду на оптичний коефіцієнт пропускання водопровідної води / О.М. Берека, Л.С. Червінський, Ю.М. Чикін, С.М. Усенко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково – виробничий журнал. – 2005. – № 3(12). – С. 62 – 68.
 22. Берека О.М. О биологической эквивалентности источников излучения / О.М. Берека, А.А. Квицинський // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2002. – Вип. 49. – С. 7 – 9.