

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

УДК 621.3:631.24(477.81)

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

Каплун В.В.

(підпис)

« ____ » _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

Окушко О.В.

(підпис)

« ____ » _____ 2026 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: **„ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛЬНИХ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ В ТЕХНОЛОГІЯХ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ”**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Троханяк В.І.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Усенко С.М.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Поліщук К.С.

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
електротехнологій

к.т.н. доц. _____ **Окушко О.В.**
(підпис)
« _____ » 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТЦІ**

Поліщуку Константину Сергійовичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова _____

Тема магістерської роботи: **„Дослідження застосування сильних електричних полів в технологіях обробки зернових”**

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

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 05 . 2026

Вихідні дані до магістерської роботи: Технічна документація.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз існуючих електрофізичних методів обробки зернових;
2. Теоретичні передумови обробки зерна в електричному полі високої напруженості;
3. Експериментальні дослідження електрофізичних процесів в зерновій масі під впливом електричного поля високої напруженості;
4. Дослідження обробки зернової маси в електричному полі високої напруженості та дослідної установки;
5. Техніко-економічні показники.

Дата видачі завдання **02.11.2025 р.**

Керівник магістерської роботи

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

(підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Поліщук К.С.
(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 84 с., 24 рис., 6 табл., 21 джерел.

Об'єкт дослідження – процес обробки зерна в електричному полі високої напруженості.

Мета роботи – дослідження застосування електричних полів високої напруженості для обробки зерна, що дозволить підвищити врожайність та забезпечить збереження якості продукції при зберіганні.

Методи дослідження та апаратура: моделювання, методи математичної статистики, теорії планування експерименту та ін.; кіловольтметр, мікроамперметри, вольтметри.

Застосування технологій з використанням сильних електричних полів для обробки зернових дозволяє зменшити використання хімічних засобів. Це дозволить заощадити на процесах обробки та значно покращити екологічність продукції.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження обробки зернових в електричному полі високої напруженості з метою покращення його посівних якостей, знищення шкідливої мікрофлори та обробки з метою дезинсекції. Встановлено, що при відповідному значенні напруженості електричного поля в зерновій масі виникають іонізаційні процеси. Наслідком яких є хімічні реакції утворення озону, відомого своїми бактерицидними властивостями. Визначені залежності питомої характеристики іонізаційних процесів та концентрації озону від напруженості електричного поля.

Галузь застосування – рослинництво.

ЗЕРНОВА МАСА, ЕЛЕКТРИЧНІ ПОЛЯ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ, ІОНІЗАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ, НАПРУЖЕНІСТЬ ПОЛЯ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
Розділ 1. Аналіз сучасних методів та засобів обробки зерна	7
1.1. Сучасний стан обробки зерна	7
1.2. Аналіз електрофізичних методів та засобів обробки зернових	10
Розділ 2. Теоретичні передумови застосування сильних електричних полів у технологіях обробки зернових	20
2.1. Електричні розряди в повітрі	20
2.2. Обґрунтування розрядних процесів у зерновій масі під дією сильного електричного поля постійного струму	23
2.3. Теоретичні дослідження застосування сильних електричних полів у технологіях передпосівної обробки	27
2.4. Синтез озону в зерновій масі під дією сильних електричних полів та його вплив на живі організми	29
Розділ 3. Дослідження електрофізичних процесів у зерновій масі під дією електричного поля високої напруженості	32
3.1. Розробка методики та дослідної установки для обробки зернових у сильних електричних полях	32
3.2. Дослідження електрофізичних процесів у зерновій масі	34
3.3. Дослідження впливу сильного електричного поля на зернову масу	43
Розділ 4. Розробка способів обробки зернових в сильних електричних полях	52
4.1. Розробка установки для обробки зернових в сильних електричних полях	62
4.2. Встановлення ефективних режимів	66
4.3. Продуктивність установки та витрати електроенергії	63

Розділ 5. Економічна ефективність та виробнича перевірка застосування установок для обробки зернових в сильних електричних полях	68
5.1. Виробнича перевірка застосування установки для передпосівної обробки в сильному електричному полі	68
5.2. Виробнича перевірка застосування установки для знезаражуючої обробки в сильному електричному полі	73
5.3. Техніко-економічні показники роботи установки при обробці зернової маси	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МХП – мікрохвильове поле.

УФВ – ультрафіолетове випромінювання.

ЕМП – електромагнітне поле.

СЕП – сильне електричне поле.

ІП – іонізаційні процеси.

ПХІП – питома характеристика іонізаційних процесів.

КО – концентрація озону.

ПЕВ – питома енергія впливу.

НВЧ – надвисока частота.

ІЧВ – інфрачервоне випромінювання.

ЕПВНЗС – електричне поле високої напруженості змінного струму.

ЧР – часткові розряди.

ПНІП – початкова напруженість іонізаційних процесів.

ЕП – енергія проростання.

ЗП – здатність до проростання.

ГСП – густина струму провідності.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ

1.1. Сучасний стан технологій обробки зернових

Збільшення виробництва може бути досягнуте шляхом максимального використання потенціалу насіннєвого матеріалу, тоді як збереження його якості та належного стану залежить від зменшення шкоди, завдаваної різноманітними шкідливими організмами.

За даними ФАО, щороку комахи-шкідники знищують до 15 відсотків світових запасів зернових, а в деяких країнах цей показник сягає 30, і навіть 50 відсотків [15]. В нашій же державі щорічні втрати при зберіганні сягають близько 4 мільйонів тонн зернових [15]. Зерно, пошкоджене шкідниками, втрачає до 35 відсотків своєї маси.

Зерно, уражене комахами-шкідниками, окрім втрати ваги, забруднюється продуктами їхньої життєдіяльності. Якщо з такого зерна виготовляти хліб, то він погано випікається і має низьку якість. Отруйні солі, якими насичується пошкоджене зерно, проникають у борошно, а звідти у хліб, і, потрапляючи в організм людини, можуть спричиняти різноманітні недуги. Продукти, уражені зерновими жуками, набувають крезольного запаху, який тримається тривалий час. Споживання продуктів, що містять будь-які сліди діяльності шкідників, є небезпечним для здоров'я людини.

Особливо згубною є діяльність шкідників для насіннєвого фонду, оскільки вона призводить до зміни його кондиційних характеристик. Насіння, пошкоджене кліщами та борошноїдами, втрачає здатність до проростання.

Серед інших чинників, що негативно впливають на якість зернових, слід відзначити життєдіяльність різноманітних мікроорганізмів, бактерій та пліснявих грибів, що знаходяться на поверхні зернівок. Ці мікроорганізми, за сприятливих умов, здатні до стрімкого розвитку, що призводить до погіршення якісних показників зернових.

Саме з вищезазначених причин дезінсекція зерна під час його зберігання та переробки є вкрай важливим питанням.

Прояви життєдіяльності мікроорганізмів у зерновій масі можуть бути такими:

- зменшення маси та погіршення технологічних властивостей;
- втрата ознак свіжості, тобто погіршення таких показників, як колір, смак, запах;
- акумуляція токсинів;
- підвищення температури, що згодом спричиняє повну його деградацію;
- зниження товарних та посівних якостей через пошкодження зародків.

Мікрофлора зернової маси накопичується вже під час жнив. Окрім мікрофлори, на зернах накопичуються елементи мікробної фауни ґрунту. Так, зерна, вилучені з колоса стерильним пінцетом, містили 1530 мікробіологічних одиниць на 1 грам, витягнуті вручну після обмолоту колосу – 5400 мікробіологічних одиниць на 1 грам, а зерна, отримані після комбайнового обмолоту – 63000 одиниць мікрофлори на 1 грам.

На зернах різних культур виявляється понад 60 різновидів грибів. Їх розвиток є однією з головних причин погіршення посівних та продовольчих властивостей зерна [10]. До того ж, відомо, що деякі види пліснявих грибів синтезують токсини. За наявності токсинів понад 5 міліграмів на 1 кілограм зернової маси, її заборонено використовувати навіть як корм для тварин.

На даний момент у практиці застосовуються хімічні, біологічні та фізико-механічні методи обробки зернових (рис. 1.1).

Біологічні методи обробки зернових. Розвиток біологічних підходів для боротьби зі шкідниками рухається у декількох напрямках: досліджуються комбінації пестицидів із бактерицидними засобами; вивчаються хижаки з класу кліщів та комах, а також природні паразити шкідників, з метою оцінки їхньої здатності до адаптації та масштабного застосування; розробляються методи пригнічення репродуктивної функції. Однак, незважаючи на значний обсяг проведених досліджень, біологічні методи використовуються значно рідше, ніж інші відомі засоби. Це зумовлене специфікою зернової маси як об'єкта. Наприклад, якщо ввести в зернову масу паразитів, хижаків або стерильних самців, то вона стає менш придатною для харчових цілей через її забруднення та зниження якості.



Рис. 1.1. Існуючі способи обробки зернових

Хімічна обробка є однією з найбільш уживаних. Вона базується на застосуванні різноманітних хімічних субстанцій [36]. Щодо хімічних реагентів, що знаходять застосування у технологіях роботи із зерном, сформовано певний набір вимог. Вони мають бути високоефективними отрутами, проте їхні властивості не повинні змінюватися під впливом зовнішніх чинників середовища: освітлення, температурного режиму, вологості тощо. Найважливіше – вони не повинні погіршувати біохімічні, харчові та сходові показники зерна і похідних продуктів; не лишати після себе сторонніх запахів чи небезпечних побічних продуктів реакцій; бути безпечними для людей і тварин. На жаль, практично жоден із сучасних препаратів не відповідає цим критеріям.

Робота з зерном за допомогою хімікатів вимагає значних витрат на виробництво, зберігання та логістику. Тривале використання отрутохімікатів руйнує природний біологічний баланс, оскільки вони акумулюються у живих істотах, що негативно впливає на здоров'я населення.

Серед суттєвих мінусів застосування хімічних підходів виділяють розвиток у шкідників несприйнятливості до тих речовин, що використовуються тривалий час [15].

Фізичний метод обробки зернової маси. До цієї категорії методів належить сортування зерна (сепарація), використання прийомів, спрямованих на охолодження чи нагрівання зерна, а також застосування електрофізичних способів обробки.

Механічна санація зернової маси може дати бажаний результат лише у прохолодну пору року, коли під час сортування відбувається додаткове охолодження зерна. Використання низьких, але смертельних для шкідників температур, є доцільним у регіонах із відповідними кліматичними умовами.

Значно результативнішим є використання високих, смертельних температур. За високих температурних показників, одночасно зі знезараженням, відбувається і сушіння зерна. Підвищення температури зернової маси можна здійснити кількома шляхами нагріву: конвекція, теплопередача, опромінення інфрачервоними променями, використання енергії високої частоти (ВЧ) та надвисокої частоти (НВЧ). Слід зауважити, що для гарантованого винищення всіх шкідників та мікроорганізмів необхідно досягти температури зернової маси на рівні 65–70°C [19]. Однак нагрів до такої позначки може спричинити помітне зниження схожості насіннєвого матеріалу. Отже, найбільш виправданим є застосування вибіркового (селективного) термічних методів, які не завдають шкоди агрономічним якостям насіння. Серед таких технологій нагрівання найпоширенішим є так званий діелектричний нагрів, у якому задіяні енергії ВЧ та НВЧ діапазонів.

1.2. Аналіз електрофізичних методів та засобів обробки зернових

Обробка зернових матеріалів у електромагнітних полях. Актуальність застосування енергії електромагнітних полів для роботи з зерновим матеріалом зростає з кожним днем. Фізична сутність даного методу полягає у теплових та біологічних ефектах, що активізуються у масі зерна при контакті з електромагнітними полями. Численні експерименти засвідчили: обробка насіння у магнітному полі здатна збільшити врожайність зернових культур до 12%, а овочевих – на 14–17%.

У деяких сценаріях обробки зернових МХП спостерігалось незначне підвищення білків (на 5–8%), тоді як концентрація амінокислот у тих самих випадках знижувалася (на 7–11%). В інших режимах обробки зростала активність фосфатази (на 15–20%), а активність окисно-відновних ферментів, залучених до анотомічного циклу та гліколізу, також збільшувалася, але меншою мірою (на 5–8%). Інші науковці схиляються до думки, що механізм дії МХП насамперед пов'язаний з його впливом на параметри білкових біокатализаторів і стан функціональних груп (аміно-, сульфгідрильних, дисульфідних, карбоксильних груп, тощо) у каталітичних центрах ферментативних областей. Як відомо, саме стан функціональних груп білкових молекул визначає функціональну активність біокатализаторів [16].

Широке впровадження НВЧ-обробки зернових стримується через відсутність належних промислових установок для використання у виробничих умовах [11]. Ще одним суттєвим недоліком мікрохвильової технології є низька надійність генераторів (магнетронів), які досить часто виходять з ладу.

Застосування мікрохвильових технологій також поширене для дезінсекції комах-шкідників у збережених зернових масах. При впливі високочастотних та надвисокочастотних електромагнітних полів тіло комах миттєво нагрівається до високих, смертельних для них температур. При цьому саме зерно не встигає нагрітися до критичної позначки. Це пояснюється високою селективністю такого типу нагріву: об'єкти з вищою вологістю прогріваються значно швидше.

Також доведено, що при застосуванні низьких доз обробки ВЧ-полями спостерігається стерилізація комах. Це призводить до порушення процесів їх розмноження та, відповідно, до зменшення їхньої популяції.

За даними харківських науковців, високочастотне електромагнітне випромінювання демонструє високу ефективність у знищенні комірних шкідників. При енергії імпульсу 0,25 – 0,94 Дж/см² ефективність ліквідації комірних шкідників коливалася від 42,5 % до 96,2%. Час опромінення варіювався від 5 до 60 с, частота випромінювання становила 47,7 МГц, а частота імпульсів – 2 імп./с. В інших режимах обробки, з частотою 2450 МГц, питомою потужністю 0,8 – 2,8 Вт/см³ та часом обробки 5 – 120 с, знищення комірних довгоносиків сягало 68,3 – 100 % [35].

Окрім того, для знешкодження комірних шкідників активно застосовується діелектричний нагрів, який ґрунтується на ефекті різної швидкості прогрівання тіл з різною вологістю під впливом високочастотного електричного поля [13].

При використанні діелектричного нагріву для обробки зернових культур необхідно брати до уваги такі аспекти: інтенсивність електричного поля, його частоту, а також швидкість нагріву оброблюваного матеріалу. За даними зарубіжних дослідників, найбільш дієвий частотний діапазон лежить у межах від 10 до 100 МГц. Саме в цьому діапазоні електрофізичні властивості комах та зернової маси розрізняються найсуттєвіше, а отже, і поглинання енергії ними є максимальним.

Електричний струм. Біологічна дія електричного струму може мати два абсолютно протилежні ефекти: стимуляцію життєдіяльності мікроорганізмів або ж бактерицидний вплив. Який саме ефект буде досягнуто, залежить першочергово від фізичних параметрів струму, режимних характеристик та типів мікроорганізмів. Найкращий бактерицидний результат відмічається при температурі 16–40 °С [21]. Це дозволяє знищувати певні групи мікроорганізмів, тоді як за інших відомих методів нагрівання, у цьому ж температурному інтервалі розвиток мікроорганізмів посилюється.

Згідно з низкою досліджень, електричний струм підвищує інтенсивність обміну речовин у насіннєвому матеріалі, посилює активність ферментів та рівень дихання, а також сприяє розпаду складних органічних речовин, таких як крохмалі та жири, на простіші моноцукри, що слугують живленням для зародка. Відомо, що короткочасна дія електричного струму виводить живі організми зі стану спокою, прискорює розвиток, що, своєю чергою, позитивно впливає на покращення посівних якостей насіння та врожайності [14].

Обробка сільськогосподарської продукції електромагнітним випромінюванням. Опромінення ультрафіолетом є дієвим механізмом, що знаходить застосування як у рослинництві, так і у тваринництві.

За результатами досліджень різних вчених, відомо, що короткочасне опромінення насіння УФ-випромінюванням у певних дозах має стимулюючий вплив на ріст рослин. Для зернових культур (ячмінь, пшениця, овес) ефективна доза обробки становить 1,0 – 5,0 кВт·с/м², а для насіння кукурудзи – 1,6 – 3,0 кВт·с/м², для вівса – 5,0 кВт·с/м². Автори також підкреслюють позитивний

вплив опромінення насіння на зростання їхньої врожайності. Найкращих результатів досягли при обробці недостиглого насіння. Обробка незрілого ячменю, схожість якого становила до 31 %, показала значно кращу ефективність, хоча ефект проявився не відразу після обробки, а лише через 1,5 – 2 місяці зберігання. Насіння ячменю з контрольної партії мало енергію проростання 14,5 та схожість 31 %. Після УФ-опромінення енергія проростання зросла до 75 %, а схожість – майже до 86 %. Також суттєво підвищилася активність ферментів в обробленому насінні. Опромінення активізує синтез амінокислот, які були майже відсутні у контрольних зразках, а також сприяє збільшенню вмісту вуглеводів та білків.

Значення світлової енергії у житті рослин та їх потенційній продуктивності завжди було предметом вивчення для багатьох науковців. Взаємозв'язок між ростом рослин та світлом завжди був однією з найпріоритетніших проблем у природознавстві.

Опромінення насіння та рослин концентрованим сонячним світлом є поширеним заходом для підвищення врожайності багатьох сільськогосподарських та овочевих культур. Періодичний вплив сфокусованого світла на посівний матеріал, розсаду чи дорослі рослини сприяє покращенню їхнього росту, особливо на початкових етапах розвитку, а також проявляється у підвищенні загальної продуктивності рослин [3].

Вплив імпульсного концентрованого сонячного випромінювання на пшеничне насіння дозволив вивести мутантні рослини з кращою скороспілістю, коротшою соломиною та вищою продуктивністю. Таким чином, видиме випромінювання відкриває нові перспективи для створення нових сортів, які ефективно культивуються в умовах посушливих регіонів. Плоди таких рослин містять більше аскорбінової кислоти, цукрів та каротину.

Видиме червоне випромінювання ефективно стимулює проростання насіння овочевих культур. Натомість інфрачервоне випромінювання, навпаки, гальмує розвиток рослин. За даними досліджень, можлива стимуляція ростових процесів насіння до 85 % після опромінення червоним видимим світлом, та пригнічення на 25 % при обробці інфрачервоними променями.

На думку низки науковців, краще проростання насіння під червоним світлом видимого спектру зумовлене утворенням ферменту, залученого до руйнування ендоспермного шару, що обмежує розвиток зародка. Також

завдяки видимому червоному світлу синтезується гіберелін – природний стимулятор росту. У темний час доби відбувається зворотний процес.

Ефект від обробки насіння перед посівом інфрачервоним випромінюванням, зумовлений переважно тепловою дією. Ключовими параметрами цього методу є температура нагрівання насіння та тривалість впливу. Спосіб нагрівання насіння за допомогою ІЧ-випромінювання якісно відрізняється від нагрівання іншими відомими методами. Під впливом інфрачервоного випромінювання ендосперм і зародок нагріваються завдяки електромагнітній енергії, а не через просторове перенесення теплової енергії, як це відбувається при звичайному нагріванні. Це дає змогу контролювати та впливати на явище теплового збудження молекулярних біохімічних груп у клітинних структурах [3].

Після піддавання насіннєвого матеріалу впливу ІЧ-випромінювання спостерігається пригнічення шкідливої мікрофлори на поверхні насіння. Однак при цьому важливо стримувати зростання температури матеріалу, щоб уникнути пошкодження рослини.

Ультразвук. Найбільш відчутна ефективність обробки насіннєвого матеріалу ультразвуком відзначена для бобових культур. Збільшення схожості пояснюють зниженням твердості насіння. У досліджуваних партіях, де схожість зросла на 15 – 18 % порівняно з контролем, кількість твердого насіння була меншою на 40 – 60 %. Це свідчить, що ультразвук сприяє проростанню твердого насіння, але водночас негативно впливає на м'яке насіння. При цьому також фіксувалося збільшення частки насіння, що загнило, та недобре розвинених паростків.

Загалом, серед ключових недоліків перелічених вище електрофізичних методів обробки зернових насінин є технологічна складність процесу, мала глибина проникнення у шар насіння та висока енерговитратність.

Електричне поле високої напруженості постійного струму. Наразі доведено, що в кожній клітині присутній біоелектричний потенціал, величина та знак якого можуть змінюватися залежно від багатьох факторів. Величина цього потенціалу залежить як від параметрів зовнішнього середовища, так і від процесів, що відбуваються всередині самої клітини.

Дослідницькі дані показують, що внаслідок обробки в електричному полі високої напруженості (ЕПВН) розвиток рослин прискорюється, випереджаючи контрольну групу на 5,3 – 13,3 %.

Для стимулювання процесів росту, обробка зернових насінин у ЕП може забезпечити приріст урожаю до 10 – 15 %. У контексті обробки насіння постійним струмом у ЕПВН, цей метод має суттєві переваги порівняно з іншими електрофізичними підходами:

- В ЕПВН відсутня можливість досягнення летальної дози. Натомість для ультразвуку, змінного струму, іонізуючого випромінювання, ВЧ-струмів та імпульсного концентрованого світла встановлені певні летальні дози, небезпечні для насіння;
- У рослин, вирощених із насіння, обробленого в сильному електричному полі, не спостерігається патологічних змін;
- Обробка в сильному електричному полі вимагає мінімальних витрат електроенергії;
- З точки зору потенціалу для механізації, автоматизації всіх етапів і мінімізації витрат на обробку, застосування сильного електричного поля є найбільш перспективним.

На сьогоднішній день, незважаючи на велику кількість проведених досліджень, результати часто суперечливі, а думки вчених щодо необхідних параметрів та режимів обробки різняться. Така низька відтворюваність результатів викликає недовіру до цих методів обробки серед практиків. Першопричиною цієї ситуації є ігнорування електрофізичних характеристик насіння під час обробки, які, у свою чергу, залежать від температури, вологості та ступеня забрудненості насіння.

Електричне поле високої напруженості змінного струму. Експерименти демонструють, що електричне поле високої напруженості промислової частоти ($f = 50$ Гц) може використовуватися як для санітарної обробки зернової маси від шкідливих мікроорганізмів, так і для стимулювання процесів росту зернових. Було встановлено, що насіння різних культур мають унікальні властивості, отже, для досягнення позитивного результату потрібні різні режими обробки.

Найкращі показники спостерігалися щодо енергії проростання, особливо ефективно це проявилось на насінні з низькою початковою

схожістю. У пшениці з високою вихідною схожістю енергія проростання зростала на 3 – 8 %, а у пшениці з початковою схожістю 41 % приріст сягав 11 – 54 % [7]. При обробці насіння люпину, яке мало високу початкову схожість (в лабораторних умовах сходила практично кожна насінина), цей метод забезпечив кращу синхронність проростання.

Лабораторні дослідження показують, що обробка в електричному полі прискорює проростання насіння соняшника на 15 – 20 %, а насіння сої — на 28 – 34 %, хоча за показниками енергії проростання та загальної схожості оброблене насіння майже не відрізнялося від необробленого.

Однією з головних перешкод для широкого впровадження цього методу є недостатня стабільність отриманих результатів та значні розбіжності в експериментальних даних, що не дає впевненості у гарантованому отриманні максимального приросту врожаю.

Електрофізичні методи обробки зерна із застосуванням озонування.

Отримання озону методом електросинтезу здобуло найширше поширення. Цей спосіб поєднує можливість генерації озону у високих концентраціях з високою продуктивністю та відносно низькими енергетичними витратами.

У промисловості озон виробляють із повітря або кисню в озонаторах під впливом електричного розряду. Оскільки O_3 є менш зрідженим, ніж O_2 , їхнє розділення не становить значної складності. Для медичної озонотерапії озон отримують виключно з чистого кисню. Озон також утворюється при опроміненні повітря потужним ультрафіолетовим випромінюванням, що імітує процес, який відбувається у верхніх шарах атмосфери, де сонячне випромінювання формує та підтримує озоновий шар.

Під терміном "озонатор" загалом розуміють пристрій для генерування озону. Сучасні озонатори, які використовують електричний розряд у повітрі чи кисні, складаються з генераторів озону та джерел живлення. Вони є частиною ширших озонаторних установок, які, окрім самих озонаторів, включають додаткове обладнання: системи для очищення та осушення робочого газу (повітря чи кисню), системи охолодження, компресори, а також вимірювальні прилади.

У результаті численних досліджень використання різноманітних типів газового розряду для електросинтезу озону, найбільше поширення отримали апарати, що застосовують три форми розряду.

Бар'єрний розряд н здобув найбільшого розповсюдження, являючи собою значну сукупність імпульсних мікророзрядів у газовому проміжку завдовжки 1–3 мм між двома електродами, розділеними одним чи двома діелектричними бар'єрами, при живленні електродів змінною високою напругою частотою від 50 Гц до кількох кілогерц;

Розряд поверхневий формою подібний до бар'єрного, став поширеним протягом останнього десятиліття завдяки своїй простоті та надійності. Подібно, це сукупність мікророзрядів, що розвиваються вздовж поверхні твердого діелектрика при живленні електродів змінною напругою частотою від 50 Гц до 15–40 кГц.

Імпульсний розряд, як правило, є стримерним коронним розрядом, що виникає у проміжку між двома електродами при живленні електродів імпульсною напругою тривалістю від сотень наносекунд до одиниць мікросекунд.

З великої кількості різноманітних сучасних конструкцій озонаторів, що використовують електричний розряд для продукування озону, найбільш поширеними стали озонатори із так званим бар'єрним розрядом. Потужність одного бар'єрного озонатора може варіюватися від грамів до 15 кг озону за годину.

Бар'єрним розрядом іменують розряд у вузькому газовому зазорі між плоскими чи коаксіальними електродами, де один (або обидва) вкритий шаром твердого діелектрика. Коли до електродів подається змінна напруга з амплітудою, що перевищує напругу пробою газового проміжку, в ньому з'являється розряд, який складається з великої кількості окремих іскор, дискретних у просторі й часі.

Ефективнішим щодо продуктивності озону є бар'єрний-поверхневий розряд (БПР). Існує чимало модифікацій БПР, що різняться ефективністю та режимами роботи.

Проте озонаторні установки на базі бар'єрного розряду мають низку недоліків. Насамперед, це вихід з ладу озонаторних камер. Оскільки озон є одним із найсильніших окислювачів, в озонаторній камері відбувається

інтенсивне зношування її компонентів. Зазвичай, першим виходить з ладу діелектричний бар'єр — найбільш уразлива частина озонаторної камери. Окрім дії озону, бар'єр піддається руйнуванню, спричиненому як мікророзрядами, так і безпосередньо електричним полем. Механізм деградації бар'єру внаслідок електричної ерозії та електричного пробою свідчить, що значно продовжити термін його служби за рахунок матеріалу самого бар'єру неможливо. Потрібно шукати інші шляхи вирішення задля збільшення ресурсу роботи озонаторних установок.

Отже, практичне застосування озонаторів, що базуються на бар'єрному розряді, спричиняє певні ускладнення. У зв'язку з цим виникає потреба у використанні безбар'єрних озонаторів. Відомо два типи безбар'єрних озонаторів, що функціонують на електричному розряді: це коронні озонатори та озонатори на іскровому розряді.

Водночас відомо, що коронні озонатори працюють з низькою концентрацією озону, меншою за 1 г/м^3 , і в найкращому випадку можуть бути застосовані лише для обробки повітряного середовища. Представлені результати стосуються роботи генераторів озону на основі імпульсного коронного розряду, де відзначається збільшення концентрації озону до 5 г/м^3 . Однак ці результати є суперечливими, до того ж реалізація подібних джерел живлення є складною і на даний час практично нездійсненою.

Одним із можливих шляхів вирішення проблем із ресурсом та надійністю роботи озонаторних установок є застосування рухомих бар'єрів. Реалізація рухливості стає можливою при використанні бар'єра з рідким діелектриком в озонаторній установці. Запропонований метод забезпечує створення озонатора з довшим терміном служби.

Технічним наслідком є безперервне оновлення діелектричного бар'єра в робочому процесі, що дає змогу досягти поставленої мети.

Інший спосіб подолання проблем із ресурсом і надійністю озонаторних установок — використання обертових бар'єрів. Однак такі пристрої не отримали широкого застосування. Тут є багато причин. Більшість факторів, що призводять до виходу з ладу діелектричного бар'єра, пов'язані із самим бар'єром, як-от властивості матеріалу, так і стан його поверхні та поверхневого шару. Тому обертання лише електродів не здатне розв'язати ключові питання, що стосуються працездатності озонаторних камер.

Озонування при зберіганні харчових продуктів. Використання повітряного озонатора для дезінфекції складських приміщень для харчових продуктів, а також самих продуктів харчування, дає змогу:

- знищити плісняву та бактерії, що спричиняють псування продукції;
- уникнути застосування хлоровмісних речовин та вологої обробки;
- значно подовжити термін зберігання продуктів без втрати їхньої свіжості та високих поживних характеристик;

При щоденній обробці озоном овочів та фруктів терміни їх зберігання зростають удвічі.

Обробка харчових продуктів озонованою водою ефективно використовується для подовження термінів їхнього зберігання.

Одним із перспективних методів обробки є електросинтез озону під впливом часткових розрядів, які виникають у газових або повітряних включеннях діелектрика, що утворюються під час його виробництва. Через те що діелектрична проникність повітря у включенні суттєво менша, ніж у самому діелектрику, при певній напрузі напруженість поля у повітряному включенні перевищить напруженість поля у самому діелектрику, що спричинить появу ЧР. Під їхнім впливом проходять хімічні реакції синтезу озону та оксидів азоту, які можуть негативно впливати на ізоляцію, руйнуючи її.

У дослідженнях, проведених на кафедрі електроприводу та електротехнологій НУБіП України під керівництвом проф. Береки О.М., встановлено можливість виникнення часткових розрядів у повітряних включеннях зернової маси, розміщеної у потужному електричному полі. Під дією ЧР відбуваються реакції утворення озону [14, 17, 20].

Механізм появи часткових розрядів у зерновій масі значно складніший, ніж у твердих діелектриках. Це насамперед пов'язано з великою кількістю повітряних включень, різницею в їхніх розмірах, а також нестабільними фізичними властивостями зернової маси (вологість, температура).

РОЗДІЛ 2.

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ

2.1. Електричні розряди в повітрі

Зернова суміш являє собою поєднання зерна та повітряного середовища. Під час природного засипання частка самого зерна коливається в межах 50 – 70 %, решта об'єму зайнята повітрям. Отже, спершу ми маємо зосередитись на явищах, що розгортаються у повітрі під впливом електростатичних полів.

Умовою для виникнення електричних розрядів у повітрі є наявність у ньому достатньої концентрації заряджених елементів, які й зумовлюють його здатність проводити струм. В одному кубічному метрі атмосферного повітря містяться заряджені частинки (чи то твердих домішок, чи то іонів газів), але їх недостатньо для ініціювання розряду. Збільшення кількості таких частинок досягається шляхом іонізації молекул повітря.

Іонізація повітря здатна відбуватися завдяки зовнішнім чинникам у так при застосуванні потужних полів спостерігаються процеси, що супроводжуються іонізаційними ефектами [4, 7]. На рисунку 2.1 продемонстровано, як змінюється густина струму в повітрі зі збільшенням напруженості електричного поля.

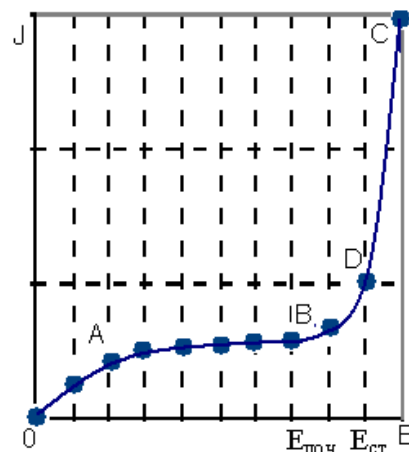


Рис. 2.1. Залежність густини струму в повітрі зі зростанням напруженості електричного поля

На ділянці, позначеній як 0 – A, залежність має прямолінійний характер. За малих значень електричного поля густина струму у повітрі прямо

пропорційна напруженості зовнішнього поля, що накладається. Тут фізичний процес описується законом Ома.

Другий відрізок, А – В, це зона насичення, де вже спостерігається струм насичення, але його густина залишається надзвичайно малою і майже не зростає навіть при збільшенні напруженості електричного поля. На цьому рівні напруженості поля закон Ома вже не застосовується.

Третя ділянка, В – С, характеризується стрімким зростанням залежності густини струму від напруженості поля. Саме на цій ділянці різко посилюються діелектричні втрати. Причиною цього є явище ударної іонізації, внаслідок якої в повітряному проміжку з'являються носії заряду. Кількість іонів та електронів у проміжку збільшується завдяки зіткненням нейтральних молекул з високоенергетичними електронами.

У результаті ударної іонізації в повітряних включеннях ініціюється самостійний розряд, який призводить до перерозподілу зарядів, де носіями виступають позитивні та негативні іони, а також електрони. Під впливом зовнішнього електричного поля ці заряди рухаються у протилежні боки. Електричне поле, створюване зарядом, що рухається проти напрямку зовнішнього поля, урівноважує його, через що сумарна напруженість залишається недостатньою для розвитку наступних розрядів. Тривалість одного часткового розряду, спричиненого початковим електроном, лежить у наносекундному діапазоні.

Через осідання заряду, напруженість електричного поля знижується, і для його відновлення потрібно підвищувати напругу на електродах. Якщо після проходження часткового розряду рівень напруги залишається незмінним, проміжок "закорочується" доти, доки заряд, що осів, не втратить свою величину завдяки провідності середовища. Якщо ж на електроди подається змінна напруга з постійною зміною полярності, результуюче поле сумарно зростає під дією поля осілого заряду, і наступний розряд може виникнути вже при нижчих значеннях поданої напруги. На рисунку 2.2 зображено процес проходження розряду в умовах змінного електричного поля.

У момент досягнення початкової напруги пробою відбувається розряд, внаслідок чого напруга на повітряному включенні зменшується на певну величину. Це падіння компенсується подальшим наростанням прикладеної напруги.

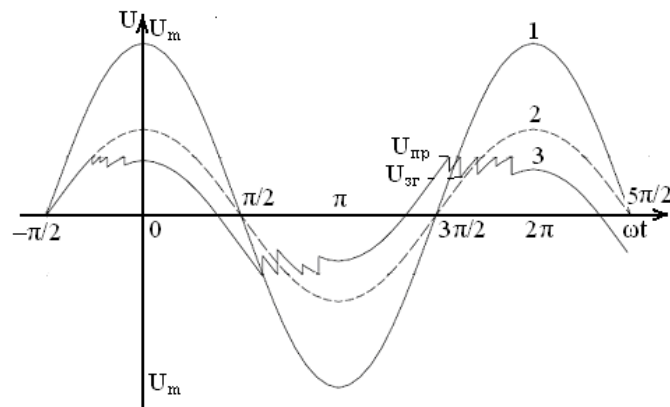


Рис.2.2. Залежності зміни напруги (3) у повітряному включенні із часом в результаті утворення розрядів (1 – відповідає $U_m \cos \omega t$, а 2 – $U_m \cos \omega t$ із врахуванням ємності діелектрика і повітряного включення)

Процес може повторюватись до того часу, поки напруга не пройде максимум.

У наступні півперіоди розряд вже буде починатися при значно нижчих значеннях напруги. Процес зміни напруги показує крива U_r .

Після появи заряду на поверхні діелектрика, розвиток послідовних проходиться вже в неоднорідному полі. Напруженість поля на краю та в середині такої області різні за величиною і за напрямом, густина заряду в цій області дорівнює близько 10^{-9} Кл/см².

Розряд розвиватиметься вздовж твердого діелектрика. На протязі частини періоду твердий діелектрик відіграватиме роль електростатичного генератора. Параметри розряду будуть залежати від параметрів діелектрика, перш за все це питомі поперечна та подовжня ємності, провідність, теплопровідність. Цей проміжок розряду складає порядка 10% від повного періоду прикладної напруги. Одночасно в розрядному проміжку виникає велика кількість таких розрядів [14]. По даним різних дослідників, на одному квадратному сантиметрі поверхні виникає до десяти мікророзрядів, що робить дещо складною загальну картину, але загалом її не змінює.

Ударна іонізація призводить до проходження електрохімічних реакцій результатом яких є поява озону та його розпад. Процес утворення озону проходить в декілька етапів, крім того відбуваються реакції утворення оксидів

азоту, які можуть бути природним каталізатором для реакцій по утворенню озону.

2.2. Обґрунтування розрядних процесів у зерновій масі під дією сильного електричного поля постійного струму

У зерновій масі, розташованій в сильному електричному полі, відбуваються розрядні процеси. Для їх аналізу представлена еквівалентна електрична схема заміщення зернової маси рис. 2.3.

Зерно має відповідний опір, який залежить від: вологості (W) і температури (t). Ці параметри визначають струм провідності. Включення повітря та зернини утворюють ланцюги з ємностей і опорів. На схемі $R1$ – це опір зернин, $C3_i, R3_i$ – ємність та опір повітряного включення $R4_i$ і $R2_i$ – опори зернин, які розташовані послідовно із повітряним включенням.

$R1$ це опір, який обмежує струм провідності (I_n). Опір повітряного включення нелінійний і залежить від підведеної до нього напруги (U_c) і змінюється після початку іонізаційних процесів. Коли напруга в повітряному проміжку менша напруги пробою, опір проміжку значно більший за опір зерна $R3 \gg R1$.

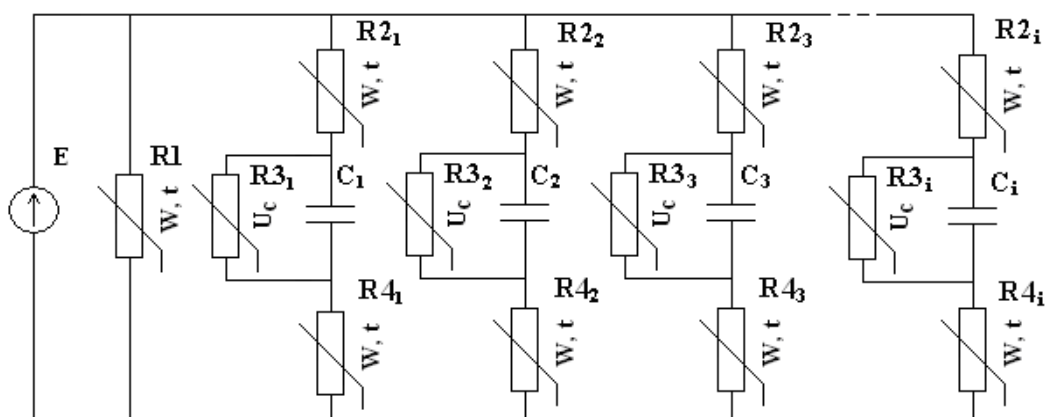


Рис. 2.3. Еквівалентна електрична схема зернової маси: $R1$ – опір насіння, що розташоване між електродами; $C_i, R3_i$ – ємність та опір повітряного включення; $R2_i, R4_i$ – опори частини насіння, яке розташовано послідовно із повітряним включенням.

Для пояснення розрядних струмів зернову масу представимо, як ланцюжки з $R2_i$, C_i і $R4_i$. Розглянемо процеси на одному ланцюгу. При підведені напруги конденсатор C_i почне заряджатися. Напруга на ємності U_{ci} з ростом заряду (q_i) буде підвищуватися (2.1).

$$U_{ci} = \frac{q_i}{C_i}. \quad (2.1)$$

Процес підвищення напруги на ємності рівне:

$$U_{ci} = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}), \quad (2.2)$$

де U – напруга, що підведена до електродів.

Швидкість зростання напруги визначається за постійною часу τ_i і залежить від $R4_i$, $R2_i$, C_i :

$$\tau_i = C_i \cdot (R2_i + R4_i). \quad (2.3)$$

Струм зарядження ємності повітряного проміжку можна визначити таким рівнянням:

$$I_{ci} = \frac{U}{R2_i + R4_i} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_i}}. \quad (2.4)$$

Напруга на повітряному включенні зростає із підвищенням напруги на електродах. Коли напруга на повітряному включенні $U_{cнpi}$ (пробивна напруга для даного проміжку), виникає частковий розряд, який продовжується поки напруга не зменшиться до напруги згасання $U_{cзгi}$. Напруга згасання для розряду приймається нулю [12].

Утворенням вільних зарядів від'ємного і позитивного знаків (іонів та електронів), які під впливом електричного поля переміщуються у зворотних напрямках до меж повітряного включення, є наслідком газорозрядних процесів у повітряному проміжку. Заряджені частинки накопичуються на

поверхнях зернин навколо повітряного включення, утворюючи малорухомий шар зарядів, які своєю чергою створюють внутрішнє поле, що має напрямок протилежний основному полю у зерновій масі. Усе це зменшує сумарне поле у повітряному проміжку та унеможливорює розрядний процес у ньому. Коли в повітряному включенні відбувається спад напруги, процес супроводжується імпульсами струму в зерновій масі.

Для перевірки правдивості цих припущень були проведені дослідження. Електрична схема лабораторної установки для зняття осцилограм представлена на рис. 2.4.

Для вивчень застосовували ячмінь «Скарлет». Зняття осцилограм виконували на осцилографі «TektronixTDS 1012». На одному каналі осцилографа фіксували спади напруги на активному опорі (R) при утворенні розрядних струмів і струму провідності, а вже на іншому індуковані імпульси. Напруга прикладена до електродів у представлених осцилограмах складала 10,4 В (рис. а1; б1) та 13,5 кВ (рис. а2; б2).

На рис. 2.5 наведені осцилограми.

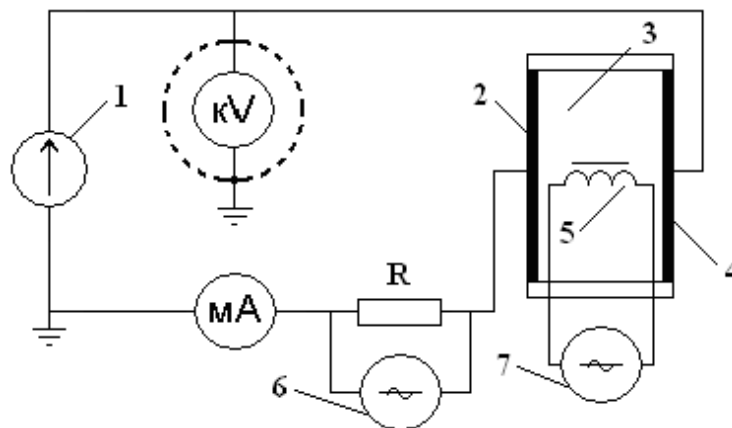
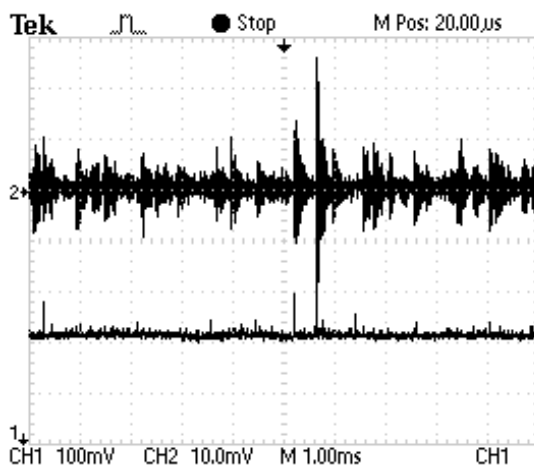


Рис. 2.4. Принципова електрична схема зняття осцилограм іонізаційних процесів у зерновій масі: 1 – джерело напруженості; 2, 4 – плоско-паралельні електроди; 3 – камера для розташування зернової маси; 5 – індуктивний датчик; 6 – осцилограф (перший канал); 7 – осцилограф (другий канал)

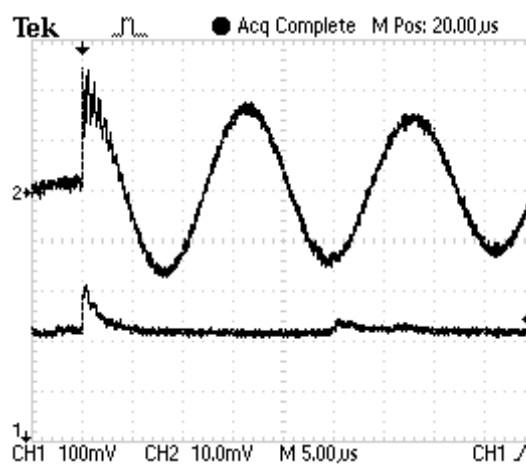
У зерновій масі, при зростанні напруги, іонізаційний струм збільшується за рахунок підвищення частоти імпульсів та збільшення амплітуди струму. Це видно з осцилограм а1 та а2.

На рис. а3 і б3 розгорнутий вигляд імпульсу. Осцилограми наведені при різних режимах. На рис. а1 канал має ціну поділки рівну 100мВ з часом розгортки 1мс, а другий канал 10мВ із часом розгортки 1мкс. На осцилограмах видно, що при виникненні імпульсу струму наводиться імпульс в індуктивному датчику.

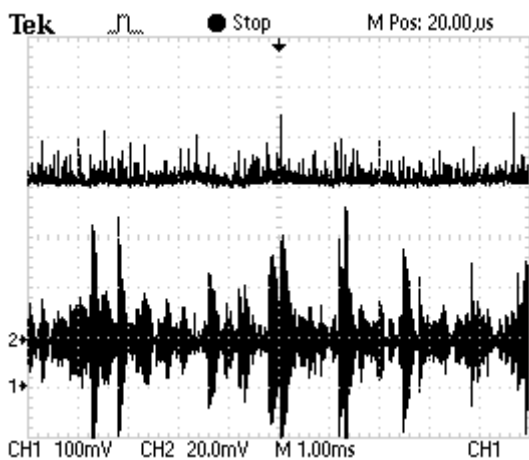
При прикладенні до зернової суміші високої напруги здійснюється частковий розряд у повітряних проміжках, де найбільша нерівномірність розподілу напруженості поля. З підвищенням прикладеної напруги іонізація починається у більшій кількості повітряних проміжків, причому імпульс часткового розряду в наступних буде зростати. Також і зростатиме інтенсивність іонізації у включеннях, де вона розпочалася раніше. Тобто, чим більше повітряних включень, тим інтенсивніші іонізаційні процеси при підвищенні напруги. Але необхідно враховувати, що при сильному збільшенні напруги може розвиватись неповний пробій.



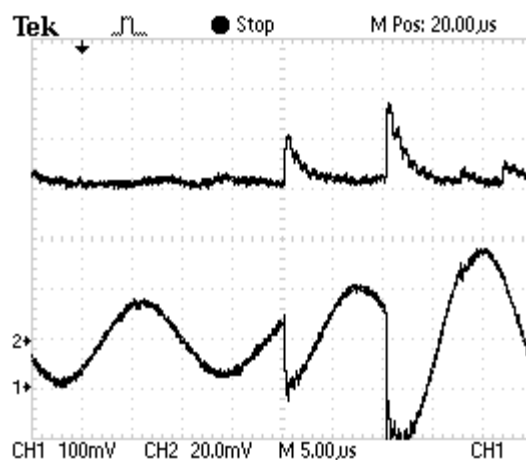
a1



б1



a2



б2

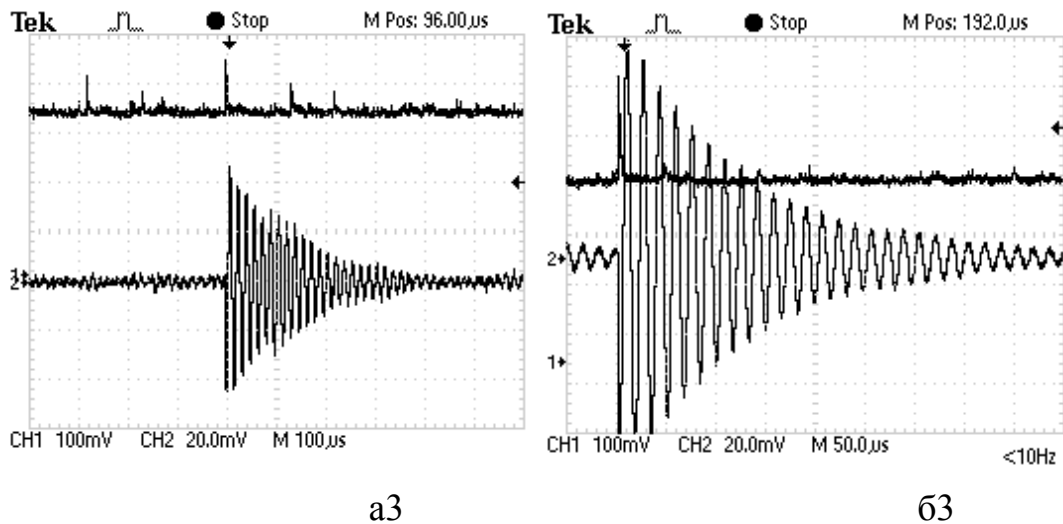


Рис. 2.5. Осцилограми імпульсів у суміші ячменя: а1, б1 – напруженість 3,4 кВ/см; а2, б2 – напруженість 4,5 кВ/см

2.3. Теоретичні дослідження застосування сильних електричних полів у технологіях передпосівної обробки

Електротехнологічні способи обробки із використанням електричних полів високої напруженості знаходять широке впровадження, але, як ми вже відмічали в першому розділі, механізм впливу електричних полів на насіння недостатньо обґрунтований. Без розуміння механізму впливу та шляхів дії, складно розробити режими для ефективної обробки насіння. Тому спробуємо розібратися з процесами, які відбуваються в окремій насініні під дією сильних електричних полів.

В кожній насініні наявні заряди, але переважно іонного характеру. Проявлення їхніх іонних властивостей відбувається в розчинах, а взагалі ці заряди нейтральні. Тому в сухому стані провідність зерна низька. Тобто воно є діелектриком і практично не чутливе до дії різних полів. Завдяки цьому зерно може зберігатися значний період, не втрачаючи якості.

Зовсім інші властивості має насіння коли набирає вологу. За вмісту води 30 – 50 % насіння проростає. Важливу роль відіграє вода та концентрація в ній різних речовин. Електропровідна оболонка слугує екраном захищаючи клітини зерна від зовнішніх впливів. Розглянемо окрему насініну, що знаходиться в зовнішньому електричному полі (рис. 2.6).

При внесенні насінини в електричне поле частинки (носії зарядів) будуть рухатись: позитивні у напрямі вектора E , негативні у протилежному, що призведе до накопичення зарядів на сторонах.

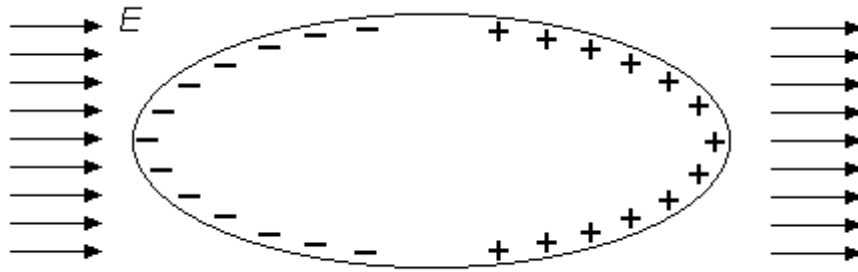


Рис. 2.6. Насінина в сильному електричному полі

Поле внутрішніх зарядів направлене протилежно зовнішньому полю. Накопичення зарядів на різних сторонах насінини ослабляє зовнішнє поле в ній. Такий розподіл відбувається до повної компенсації дії зовнішнього поля в насінині. В насінині ці процеси відбуваються завдяки міжклітинній рідині, яка містить солі і являє провідник другого роду.

При досягненні певного значення електричного поля постійного струму, напівпроникна оболонка насінини стає електропровідною. В середині самої насінини струм проходить лише через міжклітинну рідину, оскільки при постійному струмі мембрана клітин є ізолятором. Протікання струму супроводжується переносом заряджених частинок. Тобто під дією струму іони речовин переносимуться із середини на поверхню насінини (наприклад, Cl^- , Na^+ , K^+), підвищуючи поверхневу електропровідність. Відповідно концентрація речовин K_{pl} у міжклітинній рідині змінюватиметься, також змінюватиметься потенціалів мембран клітин – φ_l . Зміна іонного середовища призводить до зміни швидкості і напрямку руху води та живильних речовин при переміщенні їх між клітиною та зовнішнім середовищем. Концентрація речовини в міжклітинній рідині залежить від густини струму та часу експозиції:

$$K_{pl} = f(J_{mp}, t), \quad (2.5)$$

де J_{mp} – густина струму у міжклітинній рідині; t – час обробки насіння.

Напівпроникна оболонка насінин знову непроникна для проходження речовин після припинення дії сильного електричного поля. Міжклітинна рідина в насініні залишається з підвищеною концентрацією речовин, що в результаті призводить до зміни електричних потенціалів міжклітинного середовища та клітинами.

Після обробки в електричному полі в клітинах є велика кількість вільних іонів. В той же час із зовні клітини таких же іонів стає менше. Тоді розпочинається переміщення наприклад іонів Na^+ із клітини, де їх значно більше, назовні. Це призводить до винисення із клітини позитивного заряду. В середину клітини проходить мала кількість іонів. Це призводить до виникнення на мембрані різниці потенціалів: в середині – «негативний», а зовні клітини – «позитивний». Різниця потенціалів гальмує рух іонів натрію із середини клітини і збільшує потік іонів в клітину.

Коли потік іонів зрівняються, на мембрані буде постійна різниця потенціалів.

2.4. Синтез озону в зерновій масі під дією сильних електричних полів та його вплив на живі організми

Зернова маса під дією сильного електричного поля- це конденсатор з багатокомпонентним діелектриком до якого підведена висока напруга (рис 2.7).

При підведенні високої напруги у повітряних включеннях створюється напруженість поля. При досягненні значення $E_{пoc}$ виникає явище іонізації. Іонізаційні процеси супроводжуються електрохімічними реакціями переходу O_2 у його іншу форму – озон O_3 та утворенням оксидів азоту. Озон є сильним окислювачем і знезаражує шкідливу мікрофлору.

Ефективність дії озону залежить від його концентрації. Найбільш стійкими до дії озону є різні види грибів. Бактерії більш чутливі. Озон пригнічує репродуктивні функції живих організмів. При концентрації $3 \cdot 10^8$ молекул O_3 на клітину озон практично стерелізує зернову масу від бактерій (рис. 2.8).

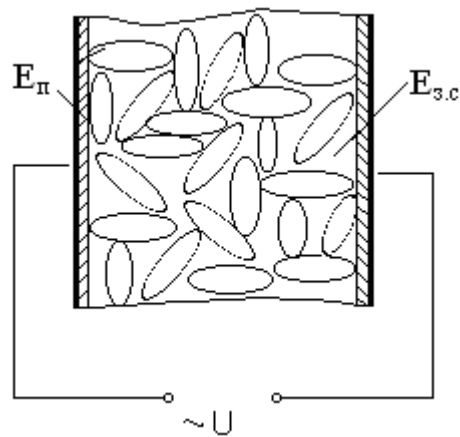


Рис. 2.7 Конденсатор із багатокомпонентним діелектриком

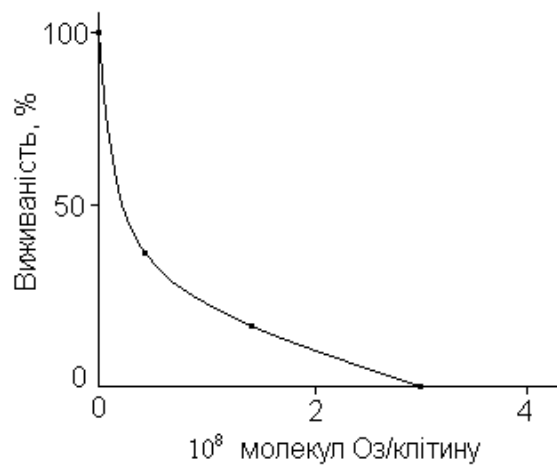


Рис. 2.8 Вплив концентрації озону на виживання бактерій

Ефективність знезаражуючої обробки зерна в сильному електричному полі залежить від властивостей зернової маси (в першу чергу вологості), концентрації озону і оксидів азоту, часу експозиції:

$$EZO=f(K, K_a, \tau, W), \quad (2.6)$$

де K – концентрація озону; K_a – концентрація оксидів азоту; τ – час експозиції; W – вологість зерна.

Крім наведеного вище на інтенсивність іонізаційних процесів також впливають геометричні розміри та форма зернового матеріалу. Зернини різних

культур мають різну форму і при природній засипці в камеру обробки повітряні проміжки мають різні розміри (соє – кругла, овес – продовгуватий).

Тобто концентрація озону та оксидів азоту залежить від інтенсивності іонізації, яка в свою чергу залежить від напруженості поля та властивостей зернової маси:

$$K_o = f(U, \gamma_{zc}, \Phi_z), \quad (2.7)$$

де Φ_z – геометрична форма зернин; γ_{zc} – питома електропровідність зернової маси.

При обробці в сильному електричному полі режими залежать від напруги при якій розпочинається проходження іонізаційних процесів, геометричних розмірів камери обробки, вологості зернової маси, форми зернин, відносної густини повітря:

$$U_{поч} = f(H, W, \Phi_z, \delta), \quad (2.8)$$

де H – товщина шару зернової маси; δ – відносна густина повітря.

При перевищенні напруги вище $U_{поч}$, іонізаційні процеси будуть проходити інтенсивніше – це напруга стійкої іонізації $U_{см}$.

Концентрація озону при обробці зерна в сильному електричному полі залежить від інтенсивності іонізаційних процесів.

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗЕРНОВІЙ МАСІ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ

3.1. Розробка методики та дослідної установки для обробки зернових у сильних електричних полях

Основною місією, яку довелося виконати при створенні лабораторної установки, було спроектувати спосіб фіксації процесів розряду. Відомі на даний час прийоми дуже сприйнятливі до зовнішніх перешкод.

У електричний контур апарату було вбудовано активний опір, на якому за допомогою осцилографа реєструвалася частота імпульсів та розмах розрядів. На мал. 3.1 подано функціональну схему сконструйованої дослідної установки.

Дослідна установка включає автотрансформатор для регулювання напруги, високовольтний трансформатор, камеру обробки. Також вимірювальні пристрої, а саме кіловольтметром С 96 та мікроамперметром магнітоелектричного типу. Принципова електрична схема дослідної споруди показана на мал. 3.2, а її вигляд – на мал. 3.3.

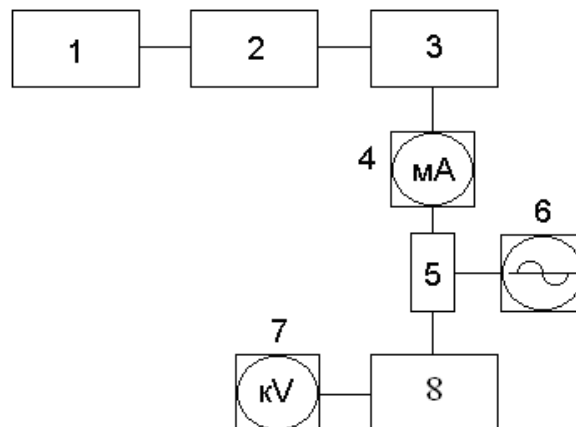


Рис. 3.1. Функціональна схема експериментальної установки: 1 - джерело живлення; 2 - автотрансформатор; 3 - трансформатор високовольтний; 4 - мікроамперметр; 5 - активний опір; 6 - осцилограф; 7 - кіловольтметр; 8 - камера обробки.

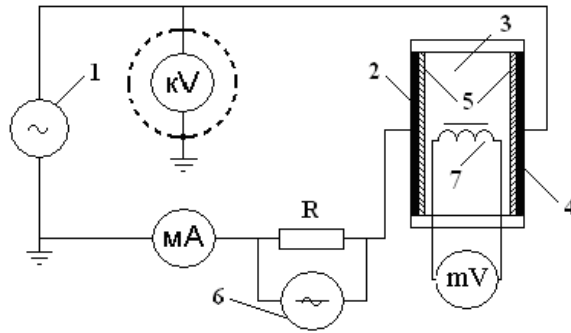


Рис. 3.2. Принципова електрична схема експериментальної установки: 1 – джерело високої напруги; 2,4 – пластинчасті електроди; 3 – камера обробки; 5 – діелектричні пластини; 6 – осцилограф, 7 – індуктивний датчик

Перед ввімкненням установки, в камеру обробки засипається зернова маса. Після ввімкнення вмикається автотрансформатор та автоматично високовольтний трансформатор. При підвищенні автотрансформатором вихідної напруги - висока напруга подається на електроди. Якщо вологість зернової маси висока, в камеру обробки встановлюють діелектричні пластини, які відділяють її від прямого контакту з електродами і запобігають пробією. За певної напруженості електричного поля в повітряних включеннях зернової маси виникають розряди, які наводяться на опорі і фіксуються за допомогою осцилографа. Частота виникнення імпульсів струму є критерієм інтенсивності розрядних процесів. Напруга початку іонізаційних процесів може змінюватись залежно від властивостей зернової маси.



Рис. 3.3. Зовнішній вигляд дослідної установки

Необхідно було дослідити впливу багатьох факторів на процеси в зерновій масі під дією сильного електричного поля, а саме:

- впливу діелектричних пластин на проходження іонізаційних процесів;
- інтенсивність іонізації в різних культурах;
- впливу вологості на іонізаційні процеси;
- вплив напруженості сильного електричного поля.

Конструкція установки передбачає встановлення пластин з діелектричного матеріалу. Матеріал і товщина діелектричних пластин впливає на процес обробки. При дослідженнях використовувались діелектричні пластини із різних матеріалів придатних для використання в харчовій промисловості.

Напруга на електродах при проведенні дослідженнях змінювалася у межах 0 кВ – 16 кВ. Струм вимірювали мікроамперметром, а розрядні процеси реєстрували індуктивним датчиком.

Крім на інтенсивність іонізації у зерновій масі впадає і вид культури. Змінюється форма зернини, а відповідно розміри повітряних включень. Для досліджень в було використано чотири культури, форми зернин мають різні розміри та форму.

На інтенсивність іонізації також впливають вологість і температура зерна, що потребує додаткових досліджень.

Реєстрацію іонізаційних процесів у експериментальній установці виконували осцилографом, до першого каналу якого під'єднано активний опір. Розрядні струми та струми зміщення ми спостерігаємо на екрані осцилографа. До іншого каналу приєднаний щуп для вимірювання напруги. Таким чином, за допомогою осцилографа можемо спостерігати розрядні процеси у повітряних включення зернової маси.

3.2. Дослідження електрофізичних процесів у зерновій масі

В дослідженнях з різними культурами встановлено, що інтенсивність іонізації при обробці вівса - найбільша, і зменшується в такій послідовності: жито, ячмінь, пшениця. Густина струму змінювалась в такій же черговості. Графічні залежності інтенсивності іонізації та густина струму в зерновій масі різних культур представлені на рис. 3.4 та 3.5 відповідно.

З аналізу форм зернин різних культур, можемо сказати, що у більш продовговатому зерні (овес, жито), іонізація більш інтенсивніша. Ще важливий на нашу думку вплив на іонізаційні процеси радіус заокруглень насінини. Так

насінини вівса схожі на насінини жита, але з більш загостреними краями, і це значно підвищує інтенсивність іонізації. Так і з ячменем з гострими краями та пшеницею із заокругленими.

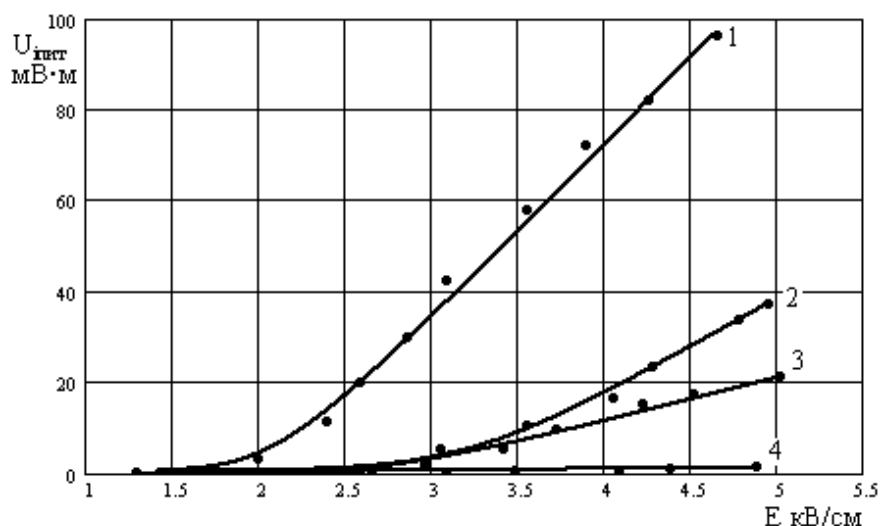


Рис. 3.4. Залежність відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів від напруженості електричного поля: 1 - овес; 2 - жито; 3 - ячмінь, 4 - пшениця

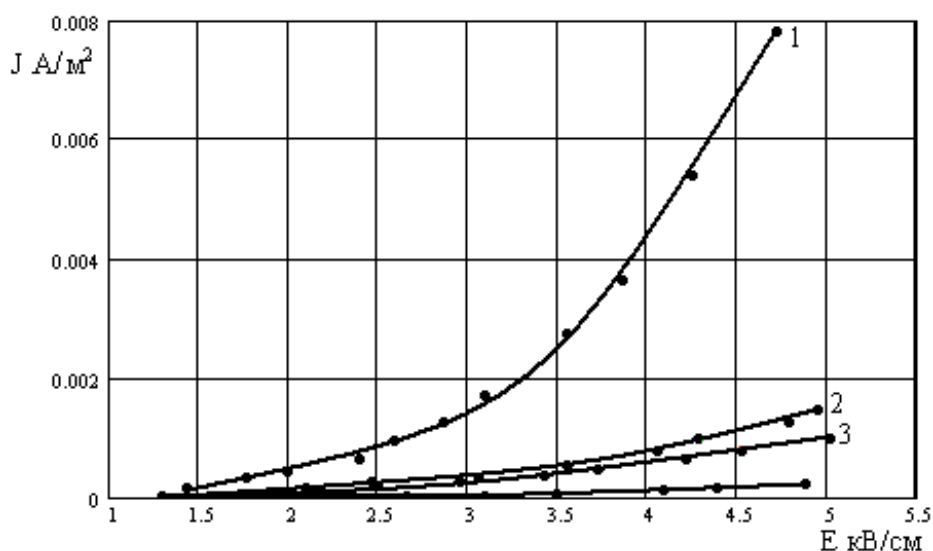


Рис. 3.5. Залежність густини струму від напруженості електричного поля: 1 - овес; 2 - жито; 3 - ячмінь, 4 - пшениця

Для проведення досліджень впливу вологості підготували 5 зразків ячменю: 12,7 %; 14,2 %; 16 %; 17 %; 19 %.

Також встановили напругу початку іонізаційних процесів від вологості, шляхом зняття ряду осцилограм, які наведені нижче на рис. 3.6.

На першому каналі осцилограм фіксуємо появу перших розрядів при поступовому зростанні напруги, а на іншому каналі представлено значення напруги коли виникли розряди. При вологості зерна 12,7 % розрядні процеси розпочалися при напрузі 4,5 кВ, вологістю 14,2 % - напруга становила 3 кВ, а при вологості 16 % розряди з'явилися при напрузі 5,5 кВ.

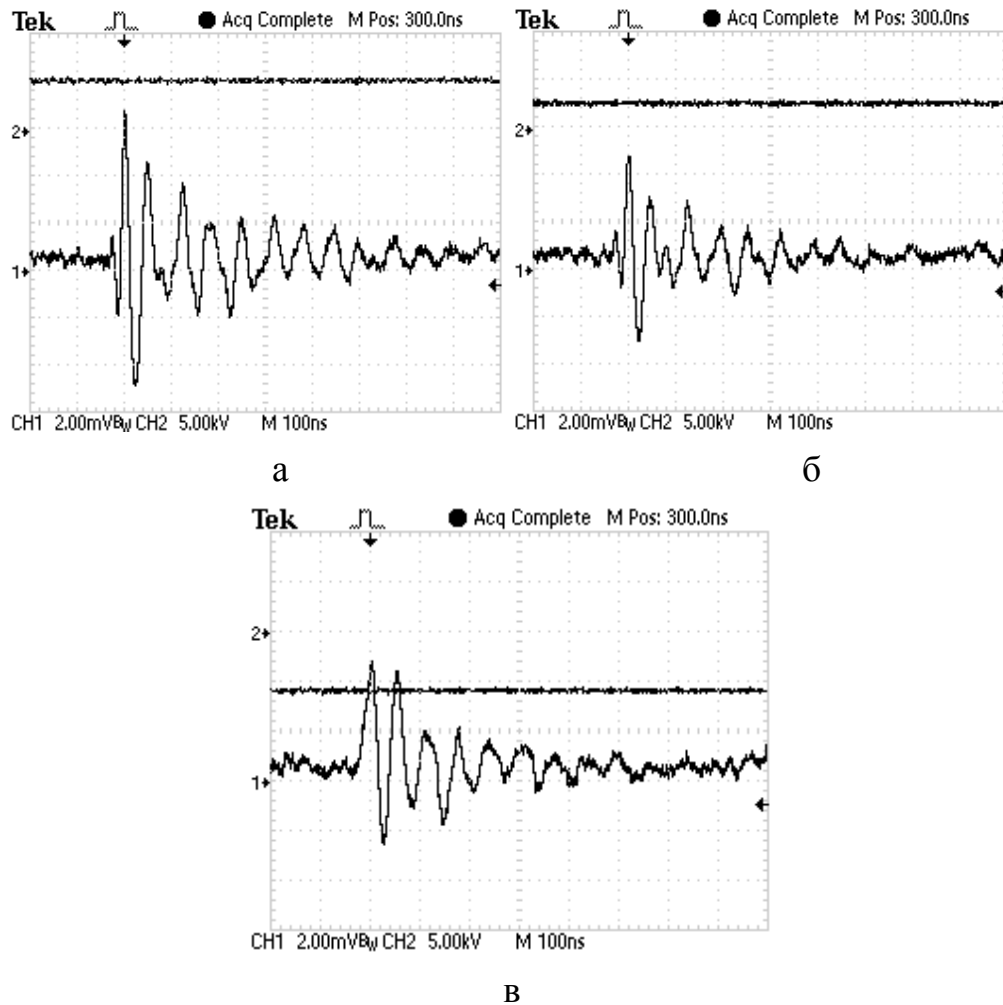


Рис. 3.6. Осцилограми початкових розрядів у масі ячменю вологістю:
а – 12,7 %; б – 14,2 %; в – 16 %

Тобто у зерні вологістю 14,2 % початкові розряди виникли при значно меншій напрузі. Це свідчить, що при обробці зерна кондиційної вологості певних режимних параметрів можна досягти за значно меншої напруги. Це дасть можливість знизити вартість обробки. Залежність напруженості поля необхідної для початку іонізації від вологості представлені на рис. 3.8.

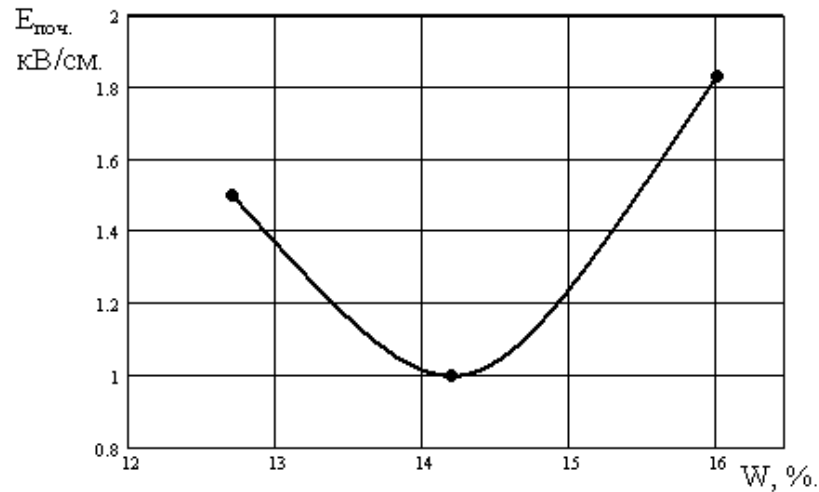


Рис. 3.7. Залежність напруженості поля початку іонізації від вологості зерна

При підвищенні напруженості поля розряди виникають у більшій кількості включень та зростає їх частота. При знятті осцилограм встановлено, що частота розрядів у зерновій масі кондиційної вологості переважала частоту розрядів в інших дослідних зразках у 2,5 - 3,5 рази. При напруженості електричного поля 3,3 кВ/см, частота розрядів склала: в зерні вологістю 12,7 % - 1100 Гц; 14,2 % - 2800 Гц; 16 % - 900 Гц; 17 % – 850 Гц. Графічна залежність частоти розрядних процесів від вологості зерна наведена на рис. 3.8.

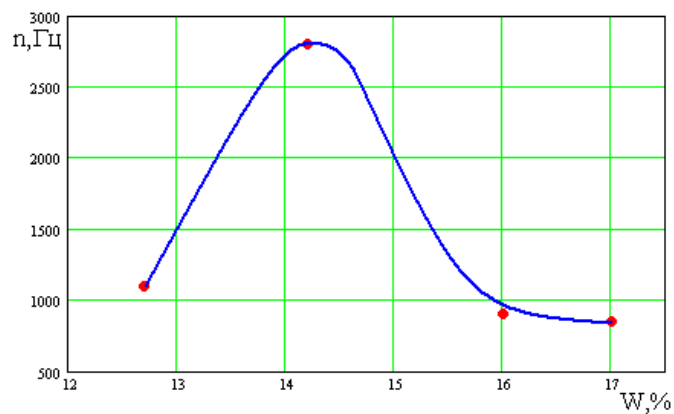


Рис. 3.8. Залежність частоти розрядів від вологості зерна

Осцилограми проходження розрядів у масі ячменю при різній вологості та напруженості поля 3,3 кВ/см наведено на рис. 3.8.

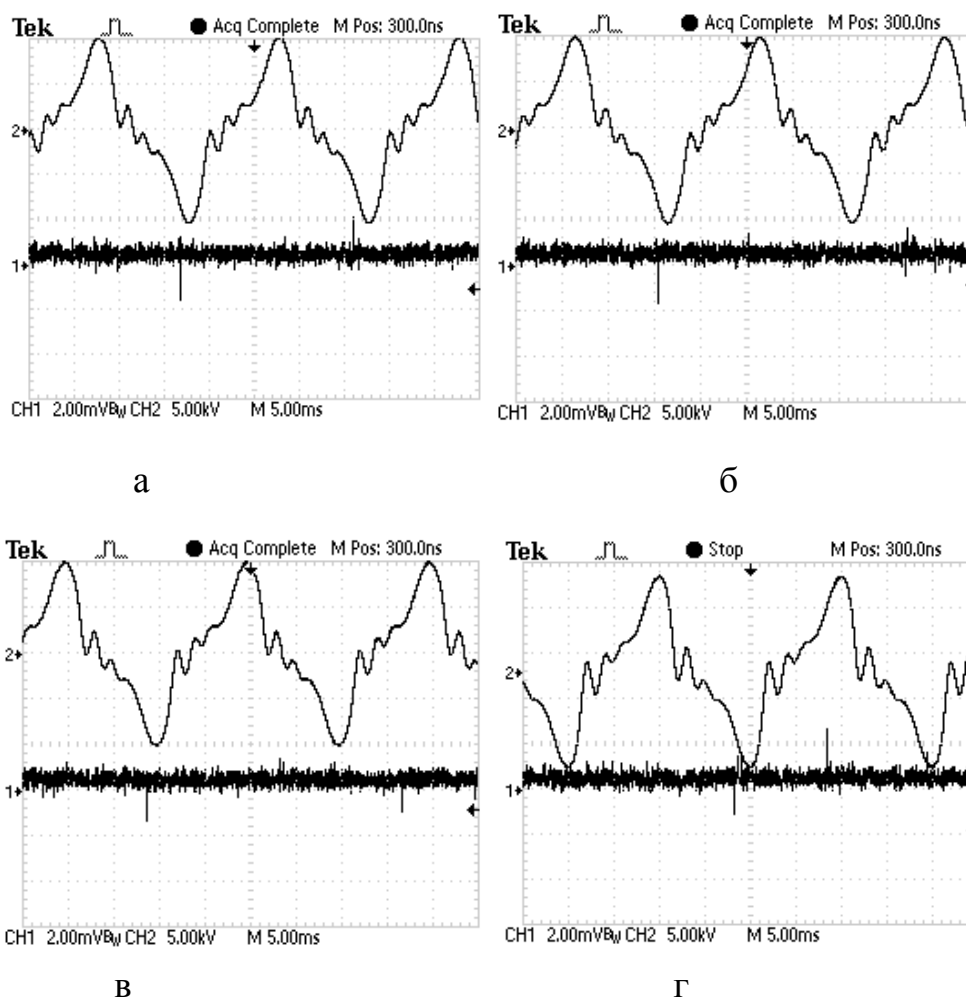


Рис. 3.8. Осцилограми розрядів у масі ячменю при різній вологості та напруженості поля 3,3 кВ/см: а - 12,7 %; б - 14,2 %; в - 16 %, г- 17 %

Більша інтенсивність проходження іонізаційних процесів саме у зерновій масі кондиційної вологості.

Результати теоретичних досліджень свідчать про підвищення концентрації озону із зростанням інтенсивності іонізації. Це обумовлює необхідність дослідження залежності концентрації озону від параметрів обробки.

Концентрація озону в зерновій масі.

В результаті розрядних процесі відбуваються хімічні реакції утворення озону. Синтез озону проходить за наявності вільного атома, що з'являється при взаємодії молекули кисню із вільним електроном.



Розпад молекули кисню швидкий та складає наносекунди. Молекула озону утворюється при поєднанні вільного атома і молекули кисню, але потребує третього елементу: молекули, електрона, іона, атома. Так для створення молекули озону необхідно - до 10 мкс.



Крім того у процесі хімічних реакцій частинки рухаються і це також призводить до розпаду молекул озону:



Інтенсивність реакції розпаду зростає з підвищенням температури. Кількість озону залежить від різниці між інтенсивністю створення та інтенсивністю розпаду.

Таким чином, в зерновій масі, під дією електричного поля утворюється озон, концентрація якого регулюється режимами обробки. Встановлення закономірностей між режимами, властивостями зерна та концентрацією озону, дасть можливість запропонувати ефективні режими обробки. Використовували установку, принципову схему якої представлено на рис. 3.9, а зовнішній вигляд рис. 3.10.

Вимірювання озону здійснювали лінійно - колористичним методом, в основі якого вплив озону індикаторний порошок.

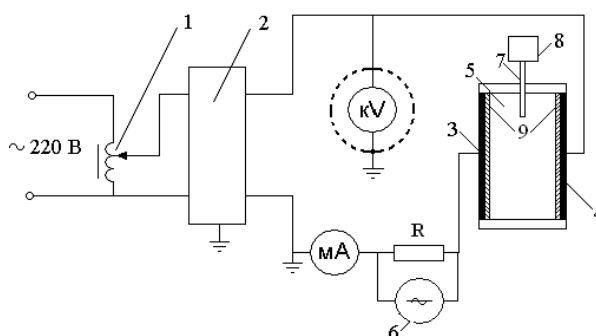


Рис. 3.9. Схема установки для визначення концентрації озону: 1 - автотрансформатор; 2 - трансформатор ОСВ-1,5; 3, 4 - пластинчасті електроди; 5 - камера для розташування зерна; 6 - осцилограф; 7 - індикаторна трубка; 8 - аспіратор АМ - 5; 9 - пластини із діелектричного матеріалу



Рис. 3.10. Зовнішній вигляд установки дослідження концентрації озону в зерновій суміші

Даний метод чутливий при незначних концентраціях і в той же час дозволяє визначати доволі високі концентрації. А головне наявність двоокису азоту до 2,4 мкг не впливає на результат вимірювання.

Для встановлення таких закономірностей проведено ряд досліджень на ячмені вологістю 14,5 %. Результати представлені на рис. 3.11.

При підвищенні напруги зростає напруженість поля в зерновій масі, а відповідно і концентрація озону. Так при напруженості електричного поля 5кВ/см концентрація озону досягла 550 мг/м³. Потужність установки становила 3,15 Вт (рис. 3.12). За таких режимних параметрів для обробки ячменю енергетичні затрати складуть 1,56 кВт·год/м³.

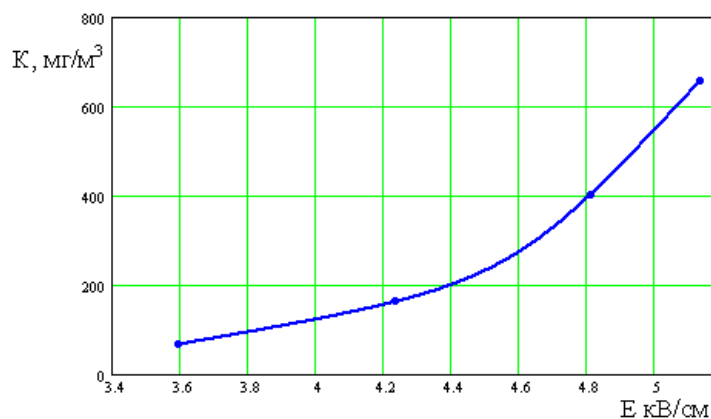


Рис. 3.11. Залежність концентрації озону від напруженості поля в масі зерна вологістю 14,5 %,

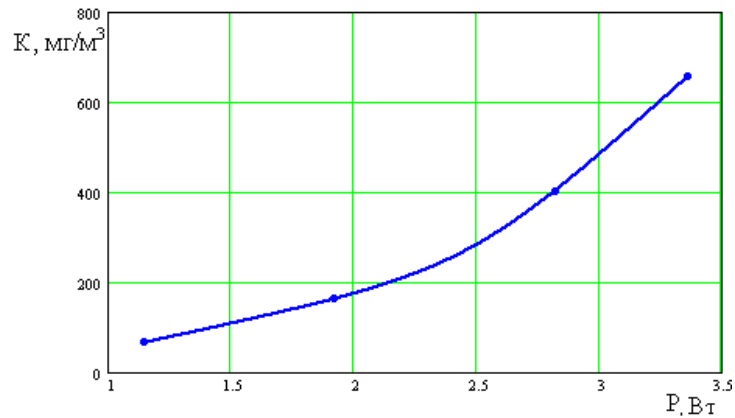


Рис. 3.12. Залежність концентрації озону від потужності в масі ячменю вологістю 14,5 %

Крім процесів утворення озону проходять хімічні реакції утворення оксидів азоту, які є природнім каталізатором, і може підсилювати дію озону. Вимірювання оксидів азоту виконували за допомогою промислових індикаторних трубок. Залежність за результатами досліджень представлена на рис. 3.13 підтверджує, що кількість оксидів азоту зростає із збільшенням напруженості поля.

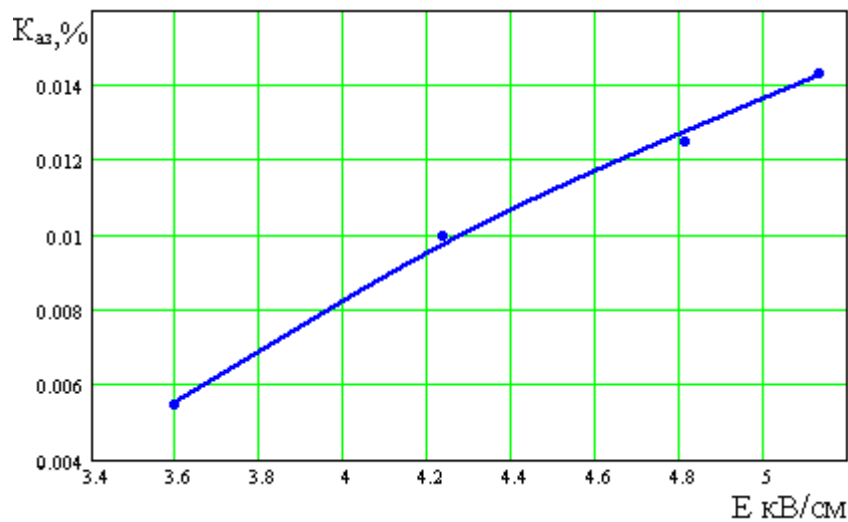


Рис. 3.13. Залежність концентрації оксидів азоту від напруженості електричного поля у зерні вологістю 14.5 %.

З наведеного вище графіка видно, коли напруженість електричного поля досягає 5 кВ/см концентрація оксидів азоту становила 0,014 %.

Вологість зернової маси обумовлює електрофізичні характеристики, які суттєво впливають на розрядні процеси, а відповідно - концентрацію озону. Зміна вологості зерна трудомісткий та енерговитратний процес. При зміні навколишніх умов середовища де зберігається зернова маса її вологість також змінюється. Тобто режимні параметри для забезпечення ефективної обробки необхідно встановлювати для кожної партії зернової маси. Для дослідження залежності концентрації озону від вологості зернової маси взяли ячмінь з вологістю 12.2 – 17.2 %. [17].

У результаті проведених досліджень встановлено закономірність $K_o=f(W)$. Результати представлені рис. 3.14.

Залежність $K_o=f(W)$, представлено рівнянням:

$$K_o = -52834 + 9891 \cdot W - 600 \cdot W^2 + 11.88 \cdot W^3, \quad (3.4)$$

де 52834, 9891, 600, 11.88 – коефіцієнти для ячменю.

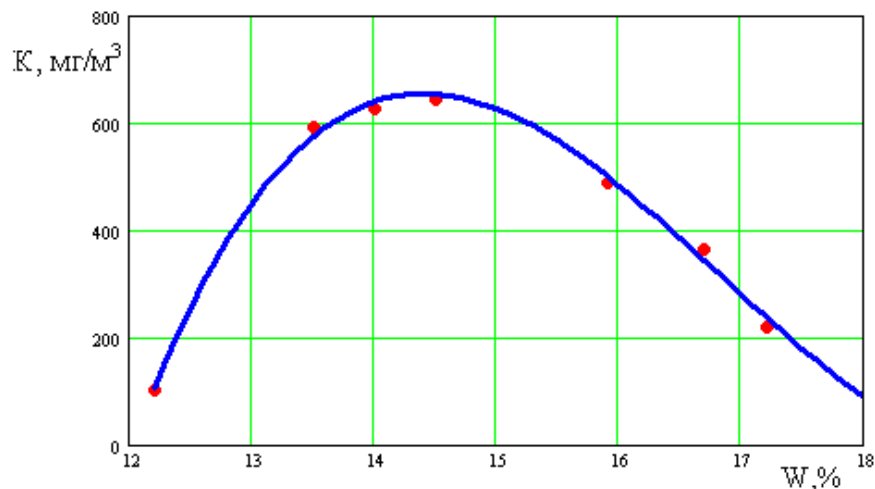


Рис. 3.14. Залежність концентрації озону в зерні при напрузі 16 кВ, відстані між електродами 3см в залежності від вологості: • – дані отримані за матеріалами досліджень; — графік побудований за емпіричною формулою

Максимальна концентрації озону при кондиційній вологості зерна 14-14,5 %. Це пояснюється здатністю зернової маси змінювати стан від діелектрика до провідника в залежності від вологості. Так при вологості 12 % зерно це - діелектрик і кількість іонів у міжклітинній рідині мала. У

такому стані часткові розряди виникають рідко і відповідно концентрація озону низька. З підвищенням вологості збільшується і кількість іонів, що інтенсивнішому проходженню розрядних процесів. Тому відбувається зростання концентрації озону до вологості 14,5 %. При подальшому підвищенні вологості кількість іонів продовжує зростати, це призводить до протікання струму провідності, який перешкоджає накопиченню заряду в повітряних включеннях. Інтенсивність виникнення часткових розрядів зменшується. Тому після вологості 15% відбувається поступове зниження концентрації озону.

Найвища концентрація озону зафіксована в зерновій масі вологістю 14,5 %. При обробці ячменю вологістю 14–14,5 % та напруженості поля 5,3 кВ/см концентрація озону склала більше 600 мг/м³, а витрати електроенергії при цьому становили 1,5–1,6 кВт·год/м³. В попередніх розділах вказували, що концентрація озону 350 мг/м³ може практично стерилізувати зерно від усіх шкідливих мікроорганізмів. Тому можемо говорити, що обробка зернової маси в сильному електричному полі може бути ефективним засобом боротьби із поверхневою мікрофлорою.

3.3. Дослідження впливу сильного електричного поля на зернову масу

Вивчення впливу обробки в СЕП провадили у кількох напрямках, а саме: вплив на патогенні мікроорганізми, які здатні уражати насіння після висіву, вплив на мікроорганізми, які псують зернові при зберіганні та вплив на комах-шкідників зернових запасів.

Серед мікроорганізмів, які найчастіше уражають зерно при зберіганні, є плісняві гриби. Повне припинення життєздатності спор досягалося у варіанті обробки з концентрацією озону 350 мг/м³ та експозицією 2 хвилини. У варіанті обробки, де концентрація озону складала 150 мг/м³, а експозиція становила 2 хвилини, показник знищення спор сягнув 33,8...76,5 %, але важливо зазначити, що наведені відомості отримані при дослідженнях, коли подача озону відбувалась по трубопроводу від озонатора, а вимірювання концентрації проводили не в самій зерновій масі, а на озонаторі. Як відомо,

озон швидко розпадається, тому доречно припустити, що фактична концентрація в зерновій масі була значно меншою. Крім того відомо, що озон активно взаємодіє з поверхневим шаром, а це спричиняє нерівномірність обробки. Тому представлені нами розробки зумовлені потребою синтезу озону безпосередньо в масі зерна.

Дослідження проводили на зерні пшениці. Режимы обробки у табл. 3.1.

У режимах обробки I – III експозиція становила 5 хв; при режимах IV – VI обробляли 3 хв, потім вимикали напругу, перемішували зерно і продовжували обробку ще 2 хв. Результати досліджень представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.1.

Режим обробки пшениці в сильному електричному полі

Показник	Режими обробки					
	I	II	III	IV	V	VI
Напруженість поля, кВ	5,3	6,7	7,3	5,3	6,7	7,3
Струм, що проходить через зернову масу, мкА	21	36	70	25	38	70
Час обробки, хв.	5	5	5	3+2	3+2	3+2

Таблиця 3.2.

Видовий склад збудників на насіння

Варіант		видовий склад збудників								
		<i>Alternaria alternata</i>	<i>Alternaria tenuis</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Fusarium sporotrichiella</i>	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>
Контроль		14,25	21,75	3,25	5	5	25,5	2,75	5,5	3,25
5,3 кВ/см	без переміш.	13,25	10,75	2,5	0,25	2,5	11,25	1	2	1,5
6,6 кВ/см		10,5	10,5	1	0	2,5	5,25	1	1,5	1
7,3 кВ/см		8,25	9	1,25	0	1	5,75	1,25	0,5	0
5,3 кВ/см	з переміш.	12,5	10,25	2,5	0	2	15,25	1	1	0,75
6,6 кВ/см		8	12	1	0	1	12	1	1	1
7,3 кВ/см		12,25	11,5	1,5	0	2,25	8,5	1	1,25	1

Вплив шкідливих мікроорганізмів відображається пошкодженням тканини насінин, а це призводить до зменшення його схожості та відповідно прорідження посівів. Найпоширеніші серед шкідливих мікроорганізмів, які були виявлені на дослідних зразках - гриби *Fusarium*.

Після експозиції зараженість *Fusarium sporotrichiella* Bilai зменшилась на 80 %, *Fusarium graminearum* Schw на 80 %, *Fusarium culmorum* (W. C. Sm.) Sacc на 64 %, *Fusarium oxysporum* Schlecht на 80 % та *Fusarium moniliforme* Sheld на 85 % (рис. 3.15).

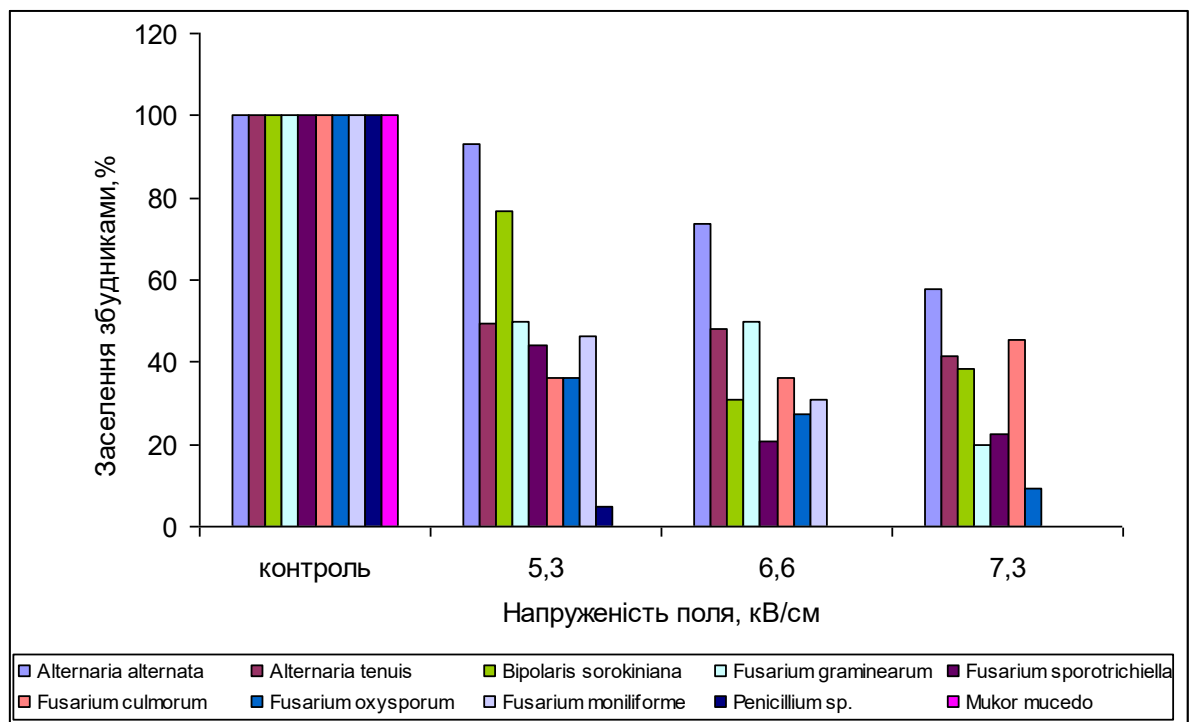


Рис. 3.15. Вплив озону на шкідливу мікрофлору насіння пшениці

Також виявлено спори *Bipolaris sorokiniana shoemaker*, які здатні викликати кореневу гниль після висіву насіння. Зменшення кількості спор цього збудника склало 70%. Найкращий результат отриманий при напруженості електричного поля 6,6 кВ/см.

Також у оброблених зразках кількість насінин заражених *Alternaria alternata* Keis зменшилось на 43 %, а *Alternaria tenuissima* (Kunze ex Nees et T.Nees: Fries) Wiltshire на 59%. Найкращий ефект було отримано при обробці в електричному полі з напруженістю 7,3 кВ/см. Також в контрольних зразках були спори *Penicillium* і *Mukor mucedo*. У варіантах після обробки *Penicillium*

було виявлено лише при мінімальних режимах обробки, а *Mukor mucedo* знищено повністю у всіх оброблених варіантах.

Результати досліджень при експозиції 5 хв та вимкненням з перемішуванням представлені на рис. 3.16.

Результати виявились гірші порівняно з варіантами, де обробка була без перемішування.

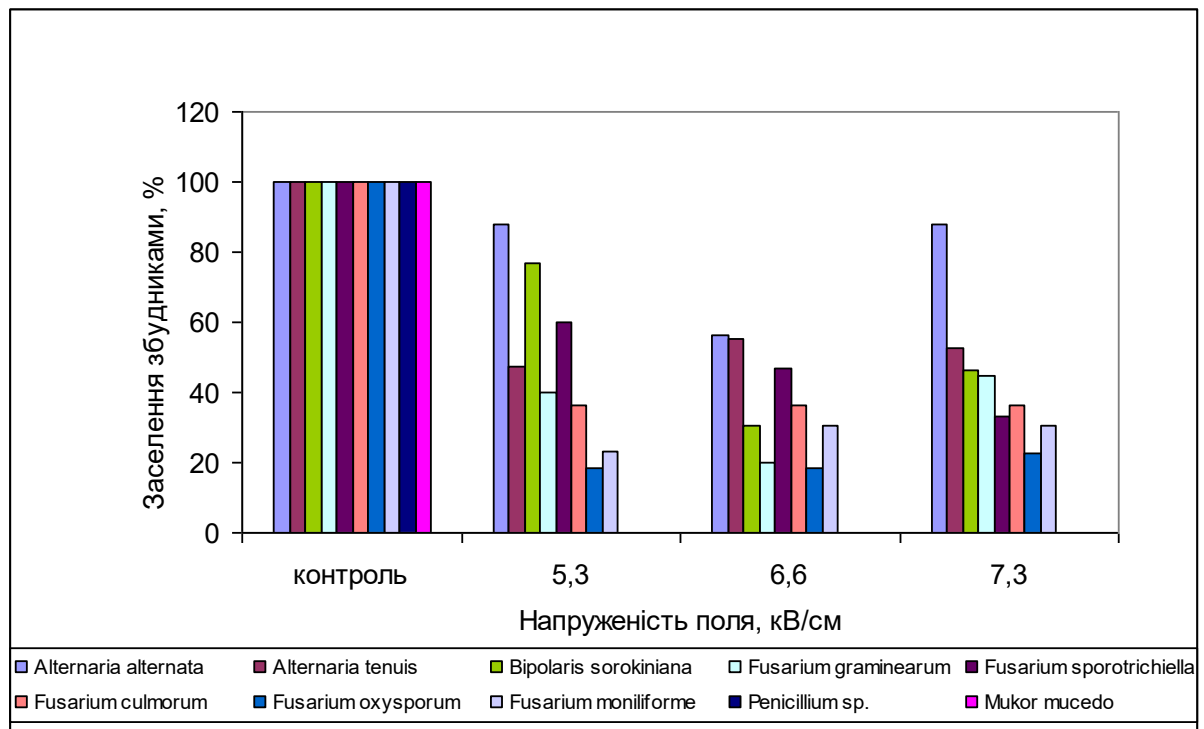
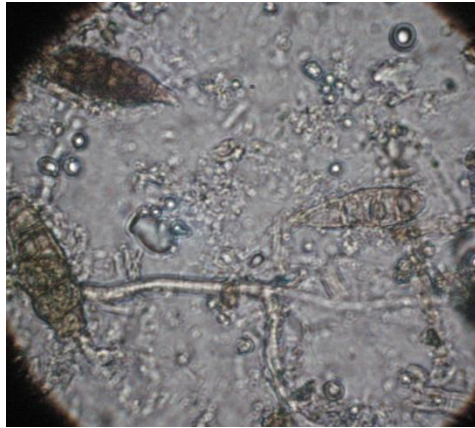


Рис. 3.16. Вплив озону на мікобіоту пшениці (насіння перемішували)

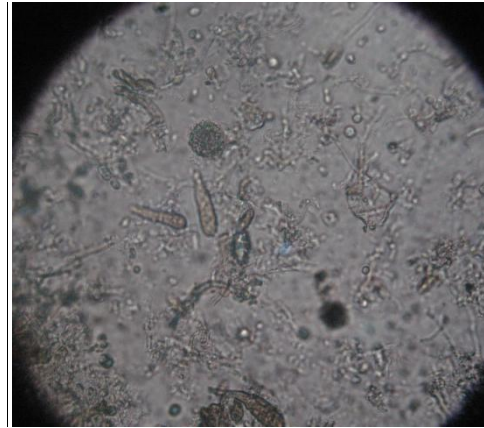
Згідно досліджень грибна мікрофлора різних видів має різну чутливість до озону. Гриби роду *Mukor mucedo* та *Penicillium* знищуються повністю. Різні представники *Fusarium* по різному реагують на озон, але в середньому їх знищується 80%. Найстійкішими до дії озону виявились представники роду *Alternaria*, які в середньому пригнічувались лише на 50%.

Після проведеного мікроскопічного аналізу було виявлено, що в контрольних зразках конідії грибів мають чітку розвинену форму (рис. 3.16а) та структуру (рис. 3.16б). При сприятливих умовах такі конідії розвиватимуться пошкоджуючи зернову масу. В оброблених варіантах конідії пошкоджені або зовсім нежиттєздатні (рис. 3.16в), а ланцюжки утворені цими

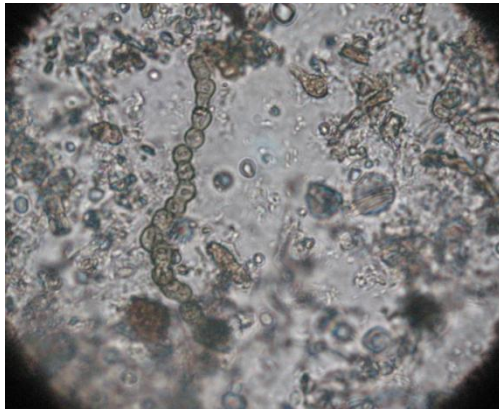
грибами зруйновані (рис. 3.16г). Це ще раз підтверджує, що озону здатен впливати на різні мікроорганізми.



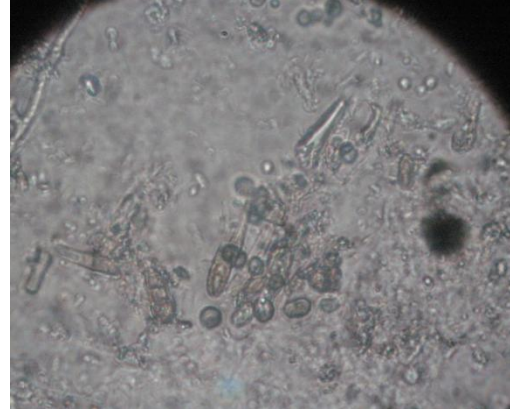
а



в



б



г

Рис.3.16. Вплив озону конідії грибів: а,б) контроль, в,г) варіанти оброблені в сильному електричному полі

На насінні зернових культур також наявні мікроорганізми, які при зберіганні знаходяться в стані спокою, а розвиваються коли рослини досягають молочної стиглості. Серед таких збудників - тверда сажка. Наявність на насіннєвому матеріалі даного збудника призводить до знищення врожаю [7].

Тверду сажку зазвичай викликають – *Tilletia caries* і *Tilletia levis*.

Для визначення ефективності впливу розробленого способу обробки на спори *T.caries* була проведена обробка спеціально заспореної пшениці [20].

Режими обробки представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Параметри обробки пшениці в сильному електричному полі

	Режими обробки				
	I	II	III	IV	V
Напруженість поля, кВ/см	5,3	6,7	8	5,3	6,7
Струм, який проходить через зернову масу, мкА	20	50	90	20	50
Концентрація озону в об'ємі зернової маси, мг/м ³	106	176	281	106	176
Час обробки, хв.	5	5	5	10	10

Проаналізувавши параметри, від яких на нашу думку залежить результат обробки встановили, що найбільший вплив має час експозиції і концентрації озону. Тобто ефективний режим обробки можемо представити як дію на зерно озonom певної концентрації протягом відрізка часу:

$$D = K \cdot t, \quad (3.5)$$

де D - доза обробки, мг·хв/м³; K - концентрація озону, мг/м³; t - час обробки, хв.

Досліджено залежність життєздатності спор від дози обробки $N=f(D)$. Результати представлені на рис.3.17.

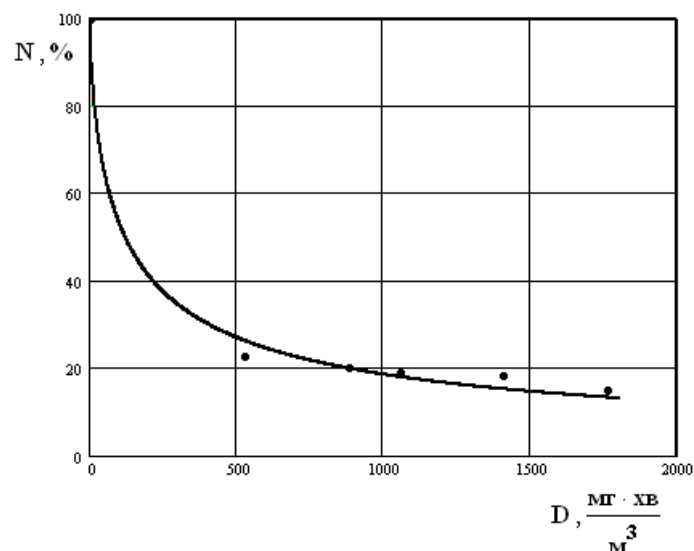


Рис. 3.17. Залежність виживаності спор сажки від дози : • – дані отримані за експериментальними дослідженнями; — – графік функції згідно емпіричної формулю

З представленого графіка ми бачимо, що кількість життєздатних спор знижується з підвищенням дози обробки.

Залежність $N=f(D)$, матиме такий вигляд:

$$N = \frac{1}{0,01 + 0,00035 \cdot D^{0,7}}, \quad (3.6)$$

де 0,1, 0.00035, 0,7 – коефіцієнти для зернової маси пшениці.

Згідно результатів експериментальних досліджень встановлено ефективну дозу обробки, при якій знищується близько 90 % спор. Ефективна доза - 2940 мг·хв./м³.

За допомогою мікроскопічного аналізу була зафіксована концентрація спор твердої сажки у контрольному та обробленому варіантах.(рис.3.18).

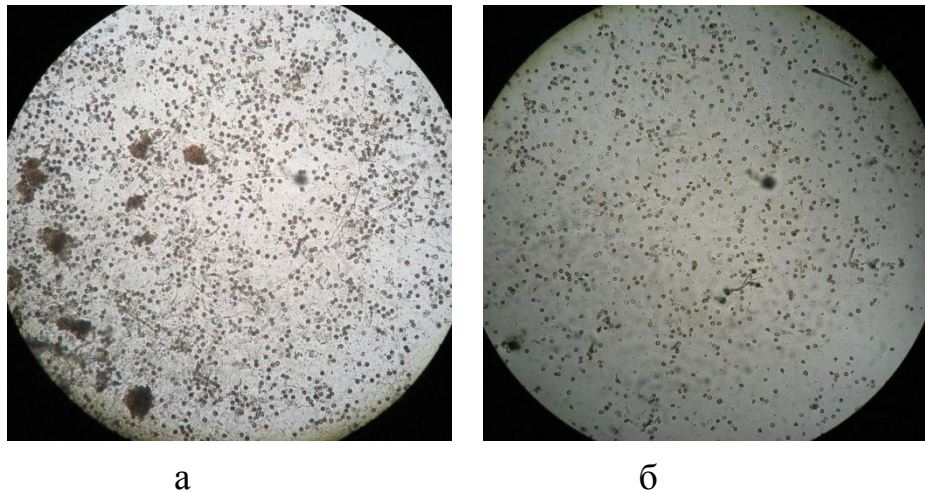


Рис.3.18. Концентрація спор пшениці: а) контроль, б) оброблена озоном

Запропонований спосіб підходить для обробки будь-яких партій зерна. У подальшому вони може бути розділене на продовольче, фуражне зерно чи насіннєвий матеріал. Знешкоджуючи мікрофлору ми підвищуємо цінність партій фуражного зерна, для насіннєвих і продовольчих партій важливішими залишаються вплив на схожість та енергію проростання. В ряді досліджень перевірили і посівні якості [15]. Результати представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4.

**Режими обробки зернової маси пшениці в електричному полі
високої напруженості**

Варіант		Енергія проростання	Схожість
Контроль		89	93
16кВ 5 хв	Без перемішування	94	96
20кВ 5 хв		92	96
22кВ 5 хв		94	98
16кВ 5 хв	З перемішуванням	95	98
20кВ 5 хв		92	94
22кВ 5 хв		93	97

Встановлено, покращення енергії проростання та схожості.

Щодо впливу запропонованого способу на комах-шкідників було проведено обробку партій зерна штучно заселеним комірними довгоносіками. Дослідження проведені у двох напрямках: дослідження без встановлення діелектричних пластин, які розділяють зернову масу від високовольтних електродів, і з їхнім встановленням на електроди. При встановленні діелектричних пластин на електроди досягається зниження загального струму, що проходить крізь зерно, завдяки обмеженню струму провідності. Також відбувається перерозподіл сильного електричного поля, що спричиняє зростання напруженості у повітряних проміжках зернової маси порівняно з досвідом без встановлення діелектричних пластин. Наслідком цього є посилення інтенсивності розрядних процесів у зерновій масі та, як результат, збільшення концентрації озону [2, 3, 12, 13]. Зростання концентрації озону веде до збільшення смертності комах-шкідників. Дослідження проводилися на ячмінному зерні гатунку «Солнцедар» вологістю 12,2%. Для досліджень сформовано три проби зерна, в які помістили по 100 штук комірних довгоносіків. Обробка провадилася у сильному електричному полі. Для живлення електродів камери застосовувався трансформатор напруги ОСВ-1,5

УХЛЗ потужністю 1,5 кВт. Для вимірювання напруги використовувався кіловольтметр С96 з межею вимірювання 30 кВ. Струм, що споживається камерою обробки, контролювався мільюміперметром М906 з межею вимірювання 5 мА. Обробка зерна здійснювалася у камері габаритами: висота камери - 82 см; ширина електрода - 5 см; відстань між електродами - 3 см. У камеру обробки не встановлювали діелектричні пластини, тобто зерно безпосередньо контактувало з високовольтними електродами. Наслідки дослідів показали, що режими обробки з часом обробки 3 хв, 4 хв і 7 хв не забезпечують повного винищення шкідників, тобто є неефективними для знешкодження комірних довгоносиків. Другий напрямок обробки – це обробка у сильному електричному полі із встановленням діелектричних пластин. Знешкодження комірних довгоносиків у сильному електричному полі проводили на ячмінному зерні гатунку «Солнцедар» відносною вологістю 13,5%. Для обробки відібрано три проби зерна, в які помістили по 100 особин комірних довгоносиків. На електроди камери обробки встановлено діелектричні пластини, виготовлені з целулоїду. Час обробки зерна регулювався швидкістю переміщення зерна. Найбільш дієвим режимом знешкодження є режим 3 з часом обробки 15 хв – повне знешкодження комірних довгоносиків відбулося через 3 доби після обробки. Водночас обробка з меншою тривалістю (4 і 8 хв) також дає змогу досягти повного знешкодження шкідників. Але відмирання шкідників відбувалося повільніше.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ В СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ

4.1. Розробка установки для обробки зернових в СЕП

У запропонованому методі зерно обробляється в СЕП, під впливом якого генерується озон в обсязі продукції.

Для встановлення ефективних умов обробки попередньо визначають вологість зернової маси. Залежно від неї визначаються режимні параметри обробки. Відповідно до встановлених режимних параметрів задають тривалість обробки та напругу на електродах.

У камеру обробки засипають зернову масу. Після увімкнення установки живлення подається на електроди камери обробки, і зернова маса опиняється під дією СЕП.

Розроблений метод обробки має суттєві переваги порівняно з відомими:

- екологічність;
- відсутність впливу на структуру зерна;
- можливість використовувати оброблене зерно для будь-яких потреб;
- низька енергозатратність на обробку порівняно з хімічними препаратами.

Для впровадження створеного методу необхідно його адаптувати під технологічний процес. Розроблена технологічна лінія обробки зображена на рис.4.1.

До початку обробки потрібно встановити вологість зернової маси. Залежно від її показника визначаються режимні параметри обробки. Після визначення режимних параметрів налагоджують установку. У цьому випадку можливі два варіанти.

Перший варіант. У камеру для обробки засипається продукція. Вмикається регулятор напруги, при цьому автоматично вмикається джерело високої напруги, після чого високовольтна напруга подається на електроди.

Зерно перебуває в сильному електричному полі, за відповідної напруженості якого відбуваються часткові розряди у повітряних включеннях зернової маси. Після закінчення часу обробки автоматично відчиняється випускний затвор, і зерно висипається. Після цього завантажується нова партія зерна, і процес обробки повторюється аналогічно.

Другий варіант. У камеру для обробки засипається продукція. Вмикається регулятор напруги, при цьому автоматично вмикається джерело високої напруги, після чого високовольтна напруга подається на електроди. Відразу ж відчиняється випускний затвор на відповідний кут відкриття. Продукція рухається у сильному електричному полі. За відповідної напруженості електричного поля в обсязі продукції відбуваються часткові розряди у повітряних включеннях, де нерівномірність розподілу напруги електричного поля найбільша. Зі зростанням прикладеної напруги іонізація відбувається у все більшій кількості повітряних включень, причому значення імпульсу часткового розряду у наступних повітряних включеннях буде більше, ніж у попередніх. За відповідного рівня напруженості електричного поля у всьому обсязі продукції утворюється озono-аерoіонна суміш, концентрація якої регулюється напруженістю електричного поля. Час експозиції обробки визначається часом проходження зерна від верхнього краю плоско-паралельних електродів до нижнього. Швидкість проходження зернової маси в камері обробки регулюється кутом відкриття випускного затвору, змінюється площа вихідного отвору камери обробки та роботою електромагнітного вібратора. Тобто в тому випадку обробка виконується безперервно.

Створений метод обробки зернової маси при зберіганні має низку суттєвих переваг щодо існуючих: екологічна чистота; відсутність впливу на біологічну структуру зерна; можливість використовувати оброблене зерно для будь-яких потреб; низькі витрати електроенергії; низька вартість обробки

порівняно з хімічними засобами, що використовуються для знезаражуючої обробки; відсутність проміжних елементів між озонатором та продукцією.

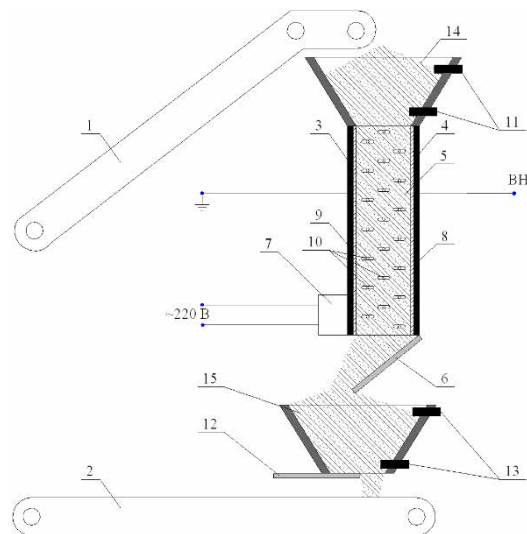


Рис. 4.1 - Схема технологічної лінії для обробки зерна в сильному електричному полі

Дезінфекційна обробка зернової маси здійснюється за такою послідовністю. Після подачі електроенергії вмикається транспортер для завантаження 1, котрий подає зерно до завантажувального бункера 14, звідки воно прямує у камеру, де проводиться обробка, 5. При цьому випускний клапан 6 залишається у закритому положенні. Коли камера заповниться, на електроди 3, 4 цієї камери подається і встановлюється необхідна напруга. Після цього випускний клапан 6 відкривається на такий кут, який гарантує потрібний час проходження зерна. Одночасно з цим подається живлення на вібратор електромагнітного типу 7, що забезпечує рівномірне витікання зернової маси. Рівень зерна у бункері для завантаження контролюється за допомогою датчиків рівня 11. Коли бункер наповнюється, спрацьовує датчик верхнього рівня, що дає команду на вимкнення завантажувального транспортера 1. Як тільки зерно досягне мінімальної позначки, спрацьовує датчик нижнього рівня, який сигналізує про необхідність поповнення бункера.

Із обробної камери зерно потрапляє у бункер для вивантаження. Контроль рівня зерна тут здійснюється датчиками рівня 13. Якщо бункер не заповнений, випускний клапан 12 є закритим. Якщо рівень зерна сягає максимуму,

спрацьовує датчик верхнього рівня, який дає команду на відчинення клапана та запуск транспортера для вивантаження 2. При падінні рівня зерна до нижньої межі спрацьовує відповідний датчик, що викликає закриття клапана та зупинку транспортера.

Зерно, яке відокремлене від електродів ізоляційними елементами 8, 9, виготовленими з діелектрика, рухається під впливом сильного електричного поля. У процесі руху зернова маса перемішується завдяки зигзагоподібним електродам 10, завдання яких — підвищити однорідність обробки зерна шляхом формування зон з різко нерівномірним електричним полем. Це призводить до посилення розрядних явищ, як наслідок, зростає концентрація озону у повітряних проміжках, що існують між зернами.

Функціональна схема установки для обробки зерна в СЕП представлена на рис. 4.2.

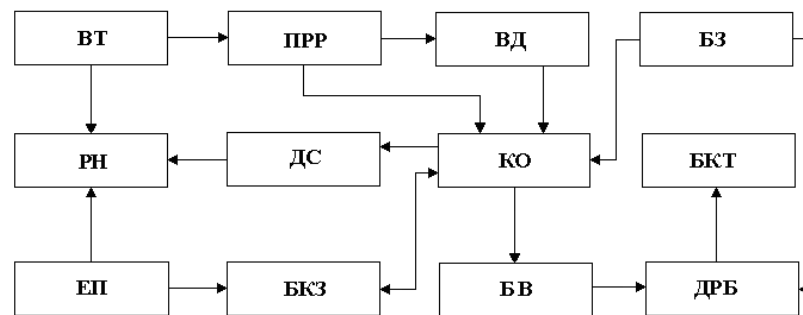


Рис. 4.2. Функціональна схема лінії обробки зерна в СЕП: ЕП – електронний програматор; РН – регулятор напруги; ВТ – високовольтний трансформатор; ППР – перемикач режиму роботи; ВД – випрямляч на діодах; ДС – датчик струму; КО – камера обробки; БКЗ – блок керування засувкою; БКТ – блок керування транспортерами; ДРБ – датчики рівня бункерів, БЗ – бункер завантажувальний, БВ – бункер вивантажувальний

Також розроблено алгоритм роботи технологічної лінії в автоматичному режимі. (рис. 4.3).

Конструкція установки зовнішні електроди камери були зазпередбачає, що зовнішні електроди заземлені і одразу виконували роль кожуха, що здешевлює конструкцію. Це дозволяє знизити матеріалоємність установки і відповідно її масу теж.

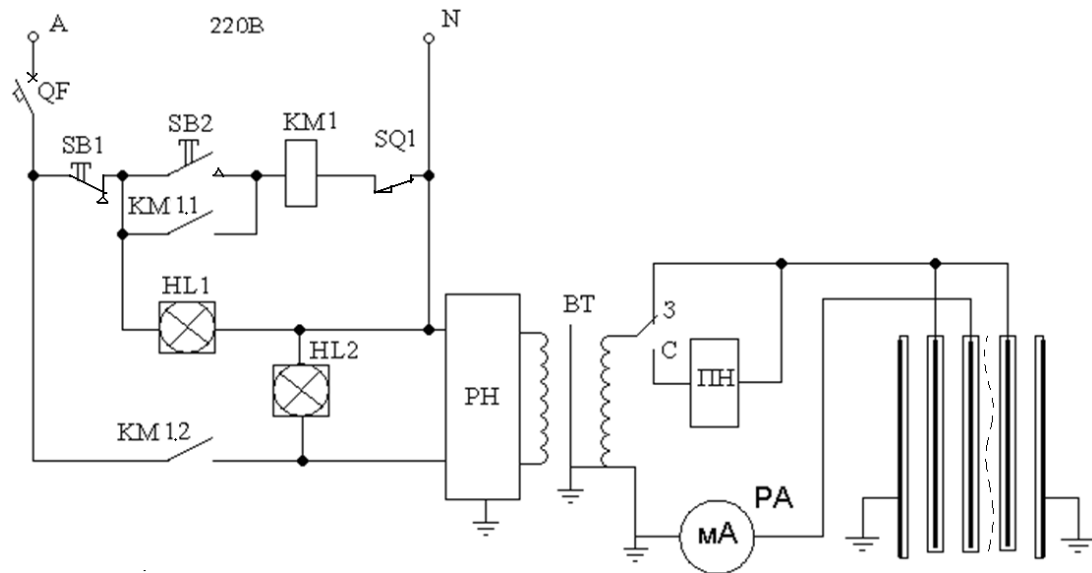


Рис. 4.4. Електрична схема установки для обработки зерновых в СЕП

Установка працює за наступним алгоритмом: після ввімкнення вимикача QF та подачі напруги, засвітиться сигнальна лампа $EL1$. Після натискання кнопки $SB2$ напруга буде подана на котушку магнітного пускача KM , і замкнуться контакти $KM1$ та $KM2$ про це сигналізує лампа $EL2$. Живлення подається на високовольтний трансформатор BT . Для вибору режиму обробки в електричному колі передбачено перемикач режиму «Знезараження»-«Стимуляція». При знезаражуючій обробці перемикач встановлюється на «З» і на електроди подається висока напруга змінного струму, при передпосівній обробці перемикач встановлюється на «С» і на електроди подається напруга постійного струму через помножувач напруги ПН. Також в електричному колі установки встановлено кінцевий вимикач SQ , для автоматичного відключення живлення установки при відкриванні шафи.

Установка вміщує рухома основу, джерела високої напруги, пульт керування та камеру обробки [31]. Схему установки та її фото представлено на рис. 4.5 та рис. 4.6 відповідно.

Пересувна конструкція – рухома рама розмірами 1500x900x500 мм. На якій змонтоване все обладнання.

Джерело високої напруги – однофазний підвищувальний трансформатора ОСВ – 1,5 220/15000 та помножувача напруги.

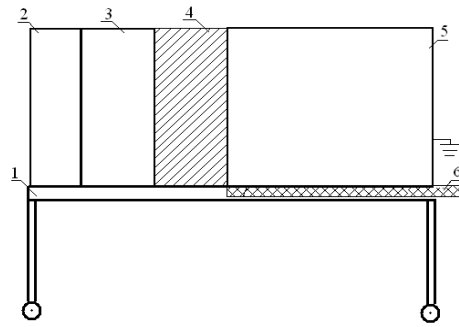


Рис. 4.5. Схема установки для обробки зерна: 1 – мобільна основа; 2 – пульт керування; 3 – джерело високої напруги; 4 – захисний кожух; 5 – камера обробки; 6 – засувка



Рис. 4.6. Зовнішній вигляд установки для обробки зернових в сильному електричному полі

Таблиця 4.1

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

Високовольтний трансформатор та помножувач напруги встановлені у спеціальній закритій шафі. Зовнішній вигляд трансформатора та помножувача напруги представлено на рис. 4.20 та рис. 4.21 відповідно.



Рис. 4.7. Високовольтний трансформатор сухий ОСВ-1,5 220/15000



Рис. 4.8. Каскадний помножувач напруги

Режим обробки встановлюється зміною напруги на первинній обмотці трансформатора. Для встановлення режиму необхідно було дослідити залежність напруги, вторинної обмотки трансформатора від напруги поданої на первинну обмотку. Залежність представлена на рис. 4.9. Характеристика знята без навантаження.

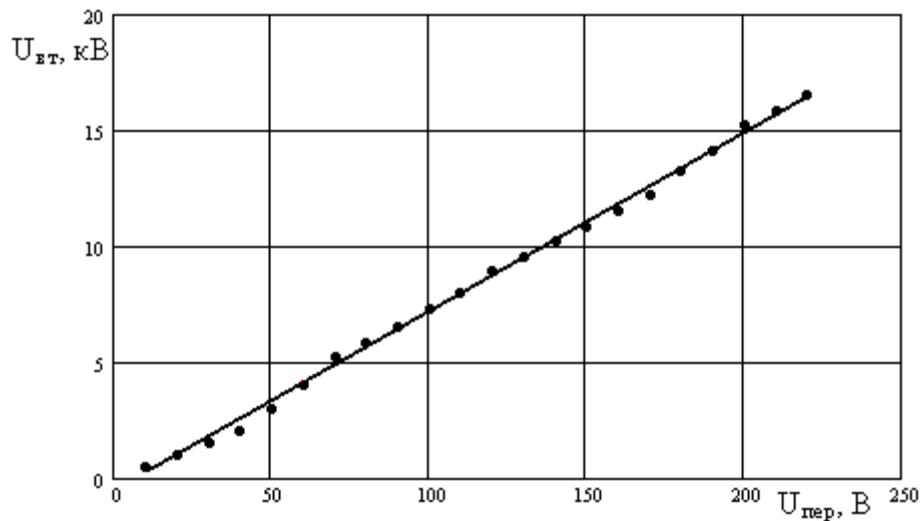


Рис. 4.9. Залежність вторинної напруги трансформатора від первинної

Камера обробки: виготовлена з діелектричного оргскла. В ній встановлені плоскі високовольтні електроди. У експериментальному зразку їх 15. Зовнішні електроди занулені та заземлені тому виконують роль своєрідного кожуха. Схема камери обробки наведена на рис. 4.10, а зовнішній фото рис. 4.11.

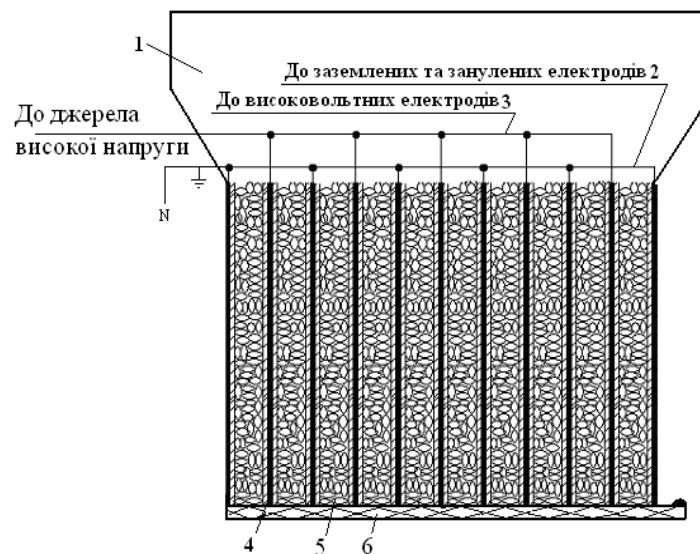


Рис. 4.10. Схема камери обробки де, 1 – бункер; 2 – заземлені електроди; 3 – високовольтні електроди; 4 – пластини з діелектричного матеріалу; 5 – зернова маса; 6 – засувка



Рис. 4.11. Зовнішній вигляд камери обробки

В режимі стимуляції насіння на електроди подається висока напруга постійного струму. Це зумовлено біологічною дією. Застосування СЕП для передпосівної стимуляції насіння доведено в наукових працях д.т.н. Береки О.М. [21]. Для знезаражуючої обробки зернових доцільніше застосовувати СЕП змінного струму. Оскільки саме змінний струм здатен підвищити інтенсивність часткових розрядів, а відповідно дає можливість генерувати більші концентрації озону. При стимуляції насіння, перемикач встановлюється в положення „С”. Після засипки насіння вмикається установка і висока напруга постійного струму подається на електроди. Для забезпечення ефективних режимів обробки необхідно встановити певне значення густини струму. Воно залежить від сільськогосподарської культури, наприклад для ячменю $30\ldots90 \text{ мА/м}^2$ [21]. Після обробки насіння висипається із камери.

При необхідності знезараження перемикач режиму роботи встановлюється в положення „З”. Після ввімкнення установки на електроди подається висока напруга змінного струму. В такому режимі продукція знаходиться в електричному полі змінного струму. При певній напруженості поля в повітряних включеннях зернової маси виникають часткові розряди, які супроводжуються генерацією озону. Концентрація озону залежить від напруженості електричного поля. Після відповідної експозиції продукція висипається із камери обробки.

4.2. Встановлення ефективних режимів

Постала потреба у запровадженні універсального показника ефективності озонування, котрий би ґрунтувався переважно на тривалості впливу та насиченості озоном. З'ясувавши рівень озону у зерні, є можливість розрахувати потрібний часовий інтервал для досягнення цієї визначеної дози. Проте, у виробничому циклі процес дозування ускладнюється через труднощі з точним вимірюванням концентрації озону. Таким чином, виникла необхідність у створенні спрощеного методу для визначення необхідної дози обробки зернової маси, спираючись на вже відомий параметр, наприклад, рівень вологості.

Для розрахунку дози знадобилося з'ясувати час обробки при різних концентраціях озону, що гарантує досягнення цільового показника $2940 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}/\text{хв}$. На графічному матеріалі, що фігурує як Рис. 4.20, відображено цю залежність; зазначені значення були отримані експериментально на створеній установці з між-електродною відстанню 3 см та прикладеною напругою 16 кВ.

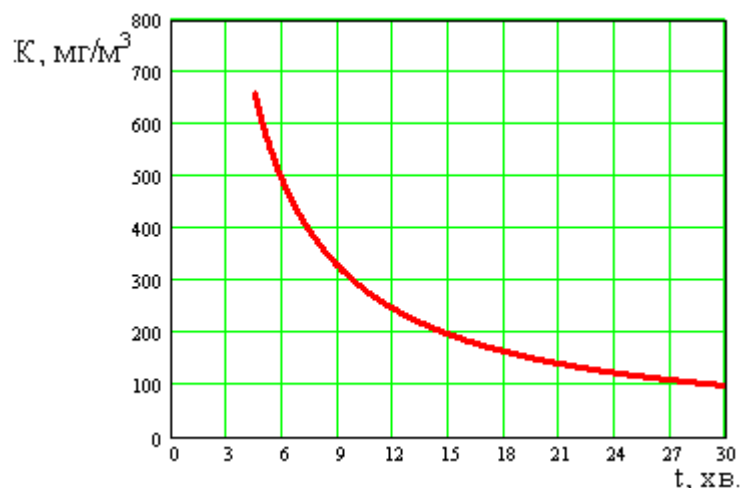


Рис. 4.12. Залежність для визначення часу обробки при різних концентрації озону, який необхідний для забезпечення дози $2940 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}/\text{хв}$

Враховуючи вище представлену залежність, а також вище наведену залежність концентрації озону в зерні при напруженості поля $5,3 \text{ кВ}/\text{см}$ від вологості, розроблено номограму, що представлена на рис. 4.13.

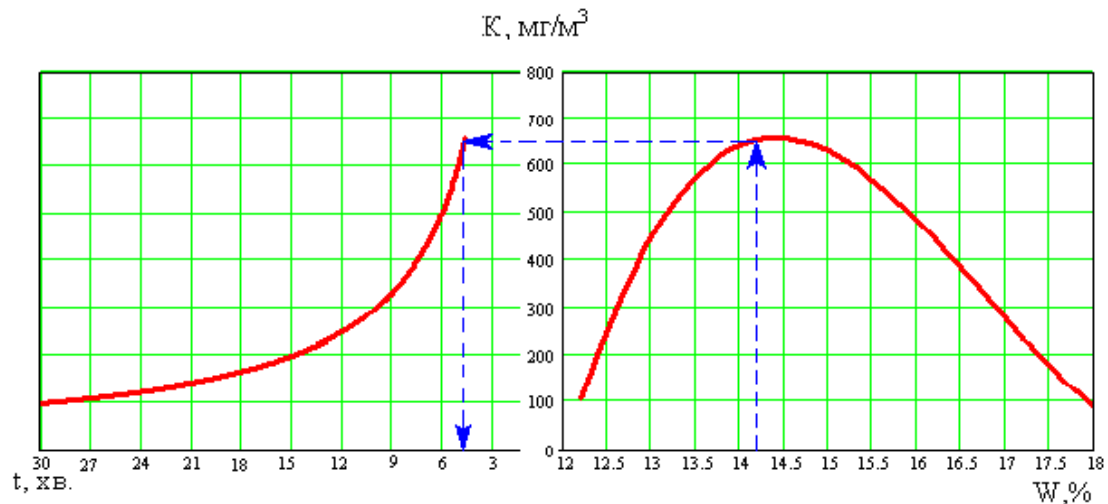


Рис. 4.13. Номограма для визначення часу експозиції зерна у виробничих умовах

Згідно представленої вище номограми можемо визначати час необхідний для ефективної дози обробки зернової маси по відомому значенні його вологості.

4.3.Продуктивність установки та витрати електроенергії.

Ефективне впровадження розробленої установки можливе за високої продуктивності та низької собівартості обробки зерна. Для розробленої установки зробимо розрахунок даних параметрів. Продуктивність установки визначається:

$$Q = \frac{G}{t}, \quad (4.1)$$

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

Масу обробленого зерна визначаємо:

$$G = k \cdot \gamma \cdot V, \quad (4.2)$$

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

Об'єм зерна, що пройшло обробку, можемо визначити, якщо врахувати розміри камери обробки, швидкість проходження зерна крізь камеру і час обробки:

$$V = v \cdot S \cdot t, \quad (4.3)$$

де v – швидкість руху зерна 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:

$$S = 14 \cdot h \cdot l, \quad (4.4)$$

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

Від вологості зерна буде залежати і час обробки. При зміні вологості інтенсивність іонізаційних процесів, а також концентрація озону, від якої залежить доза обробки, теж буде змінюватися. У попередньому розділі встановлено, що доза вираховується, як добуток концентрації озону на час обробки. Тому:

$$t = \frac{D}{K}. \quad (4.5)$$

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

$$Q = k \cdot \gamma \cdot v \cdot S. \quad (4.6)$$

За отриманими результатами розрахунків розроблена установка дає змогу проводити обробку зернової маси з вологістю 14...14,5 % із продуктивністю 838–876 кг/год.

Продуктивність установки залежить від величини камери обробки, які можна збільшити, але потім необхідно встановлювати більш потужніше джерело живлення.

Вартість обробки зернової маси обумовлена затратами на електроенергію, що залежать від характеристик самого ж зерна. Так як при зміні вологості зростає струм, то це призводить до підвищення потужності установки. Визначено, що найбільш ефективно обробляти зернову масу вологістю 14–14,5 %. Отже зробимо розрахунок витрат електричної енергії саме при обробці зернової маси кондиційної вологості.

У проведених дослідженнях було встановлено вплив режимів обробки на потужність установки, а також концентрації озону із зміною потужності. В табл. 4.2. наведені режимні параметри та результати експериментальних досліджень.

На рис. 4.14. представлено залежність концентрації озону у масі зерна від потужності установки при різних режимах обробки. В межах рекомендованими режимами при обробці зерна кондиційної вологості, установка буде працювати з потужністю 1 – 1,5 кВт.

Таблиця 4.2.

Параметри режимів обробки зернової маси ячменю

Параметр	1	2	3	4
E1 кВ/см	3,62	4,26	4,84	5,17
j1 A/см ²	0,012	0,017	0,022	0,025
P1 кВт	0,35	0,6	0,9	1,1
K1,мг/м ³	63	158	384	627
E2 кВ/см	3,59	4,23	4,8	5,13
j2 A/см ²	0,015	0,022	0,029	0,033
P2 кВт	0,45	0,78	1,17	1,4
K2,мг/м ³	66	165	400	655

Примітка: 1 – вологість зернової маси 14%; 2 – вологість зернової маси 14,5%.

Використовуючи отримані значення продуктивності і потужності установки встановили витрати електричної енергії на обробку тони зерна кондиційної вологості $W_{\text{пит}}$. На рис. 4.15. наведено концентрацію озону в масі

зерна від затраченої питомої електричної енергії. Таким чином питомі витратити електроенергії на обробку 1-ї тони зерна вологістю 14 % становлять 1,29 кВт год/т.

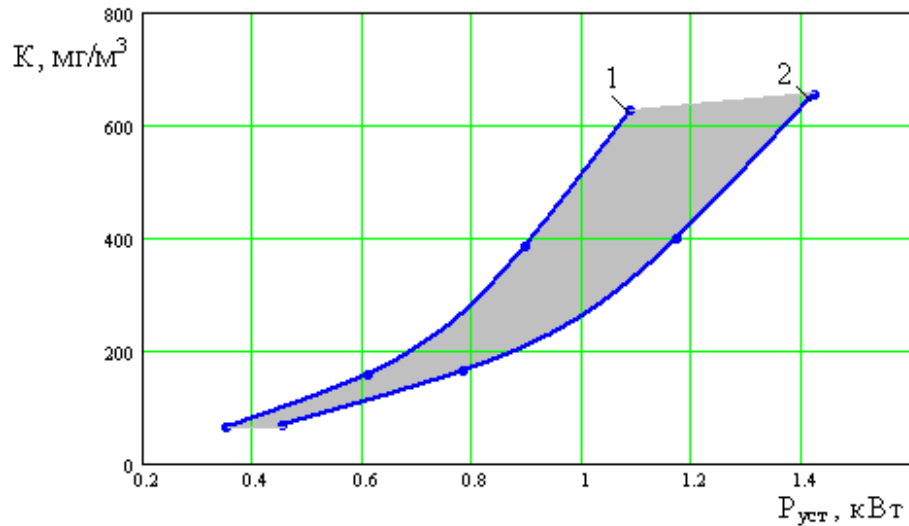


Рис. 4.14. Залежність концентрації озону в зерновій масі від потужності установки: 1 – вологість зернової маси 14 %; 2 – вологість зернової маси 14,5 %

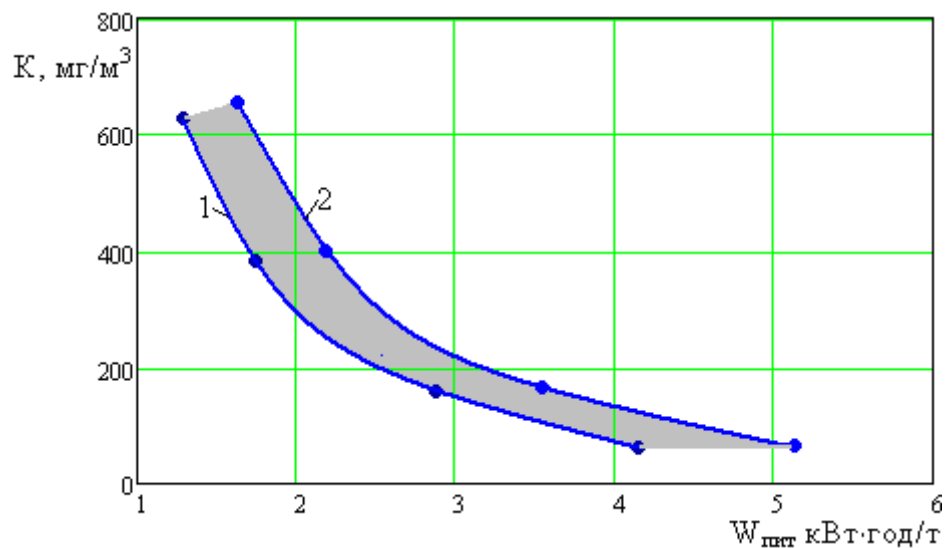


Рис. 4.15. Залежність концентрації озону від затраченої електричної енергії при обробці однієї тони зернової маси: 1 – вологістю 14%; 2 – вологістю 14,5%

Витрати електроенергії на обробку партії зерна будуть визначатися його вологістю, кількістю та режимними параметрами. Залежність затрат електроенергії на обробку зерна від його кількості наведені на рис. 4.16.

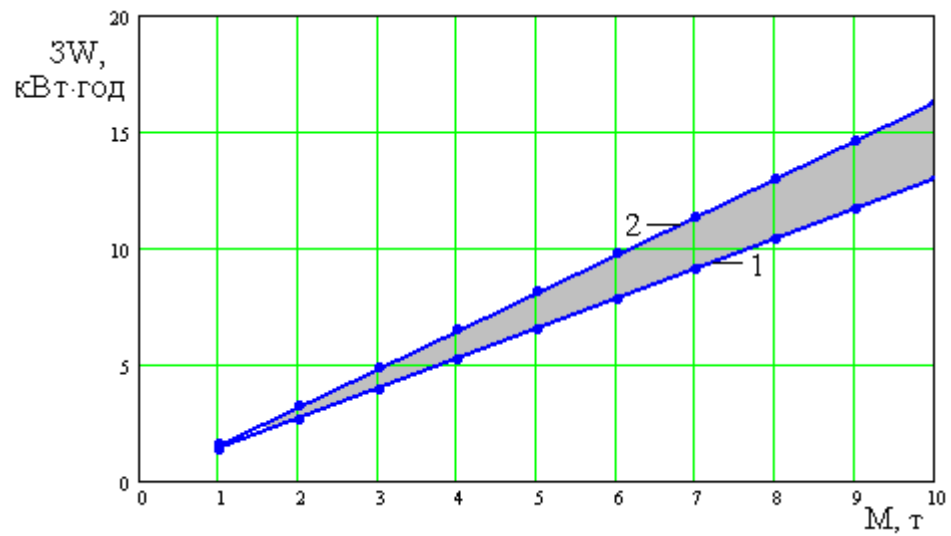


Рис. 4.16. Витрати електроенергії на обробку зерна: 1 – вологістю 14 %; 2 – вологістю 14,5 %

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА УСТАНОВОК ДЛЯ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ В СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ

5.1. Виробнича перевірка та економічна ефективність застосування установки для передпосівної обробки в сильному електричному полі

Для підтвердження висновків провели виробничу перевірку. Обробляли насіння сої, ячменя та пшениці в електричному полі високої напруженості постійного струму з подальшим висівом у польових умовах. В якості приклада нижче представлені результати обробки сої.

Досліджували вплив біологічних, фізичних та хімічних чинників на посівні якості насіння сої. В дослідженнях використано передпосівну обробку насіння електричним полем, біопрепаратами Мікосан-Н (в.к., 5...7 л/т), Ризогумін та штамом бактерій *Bradi rizobium Japonica 364b*, іонами мікроелементів заліза, міді та срібла, протруйниками Полідез, Максим XL 035 FS (т.к.с., 1,0 г/т насіння)

У представленому способі обробки насіння розташоване в камері між паралельними плоскими електродами, до яких підводиться висока напруга постійного струму. Час обробки становив 5 хв. E – напруженість поля; J – густина струму; $W_{\text{пит}}$ – енергія обробки до одиниці об'єму; K_0 – концентрація озону.

Схема польового досліду передбачала висів сої різних сортів. При цьому досліджували польову схожість, проводили спостереження за ростом та розвитком рослин сої, проводили облік структури врожаю та визначали посівні якості насіння..

Одним з найважливіших показників, за яким визначають посівну якість насіння, є лабораторна, але вона не відповідає польовій схожості, тому що процес проростання залежить від навколишнього середовища. Будь-який зовнішній вплив приводить до зміни біологічних особливостей проростка.

Обробка насіння сої біологічними стимуляторами росту та фізичними чинниками, в даному випадку – сильним електричним полем постійного струму впливає на його польову схожість. Високу польову схожість мало насіння сортів сої, оброблене перед посівом біологічним стимулятором росту

Ризогуміном та II режимом електричного поля. У середньому при обробці Ризогуміном з 50-ти висіяних насінин зійшло 40...45 шт, при обробці електричними полями II режиму 39...42 шт. Найгірше себе проявили протруйники: Максим XL 035 FS польова схожість досліджуваних сортів була в межах 27...35 шт., Полідезом польова схожість знижувалася до 17...27 шт. з 50-ти висіяних.

Тоді, як у контрольному варіанті схожість сорту Київська 98 складала 39,7 шт., при обробці в електричному полі I та II варіантів досліду – 38,8 та 42,7 шт. відповідно, Ризогуміном – 45,3 шт., Мікосаном-Н – 38,0 шт., Bradirizobium Japonica 364b 36,3 шт., іонами міді, заліза, срібла – 34,7, 35,5 та 36,7 шт. відповідно, протруйниками Максимом XL та Полідезом 27,0 та 26,7 шт. відповідно.

Щодо стійкості сої до основних хвороб, оцінку ураження рослин основними збудниками хвороб проводили візуально за 5-ти бальною шкалою, де 5 – це максимальний бал ураження рослин, з розвитком хвороби на 75 %.

Показники ураження сої хворобами при різній обробці насіння коливаються в межах від 1 до 24 % від загальних посівів варіантів кожного сорту. Ураження хворобами рослин варіанту з обробкою насіння протруйником Полідезом відбувалося у кожного сорту.

Найменше хворобами пошкоджувався сорт Єлена. Ураження сортів Артеміда та Київська 98 дещо більше, що можна пояснити довшими періодами вегетації.

Встановлено, що енергія проростання та лабораторна схожість насіння були вищими при обробці біологічними та фізичними чинниками, і знижувалися при обробці протруйниками.

Слід відмітити силу росту насіння при обробці в електричному полі високої напруженості постійного струму. При цьому енергія проростання насіння була майже на рівні лабораторної схожості і складала в середньому 92-98 %. Посівні якості насіння сорту Київська 98 були вищими ніж у сортах Єлена та Артеміда і склали при обробці біологічним стимулятором росту Ризогуміном (100 %) та електричними полями високої напруженості (97-98 %).

Аналіз результатів виробничої перевірки дозволяє зробити висновки, що на польову схожість насіння значно впливає обробка насіння при сівбі

біологічними препаратами та електричним полем високої напруженості постійного струму.

Стійкість до основних збудників хвороб та продуктивність в цілому була вищою на варіантах з посівною обробкою насіння ризогуміном та в електричному полі високої напруженості постійного струму.

В цілому на ріст, розвиток, продуктивність та посівні якості насіння сої позитивно впливала допосівна обробка насіння біологічним препаратом Ризогуміном та в електричному полі високої напруженості постійного струму.

Техніко – економічні показники роботи установки для обробки насіння в сильному електричному полі постійного струму.

Економічна ефективність застосування установки для обробки насіння сільськогосподарських культур в електричному полі високої напруженості постійного струму визначалась з урахуванням “Методики визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику” (1995 р.), В якості бази порівняння прийнято відсутність технічних засобів з обробки насіння в електричному полі високої напруженості постійного струму. Вихідні дані отримані під час проведення виробничої перевірки.

Порівняння інвестиційних проектів і вибір кращого з них здійснювали з використанням таких показників:

чистий дисконтирований прибуток (ЧДП);

індекс прибутковості (ІП);

внутрішня норма прибутковості (ВНП);

термін окупності.

Величину ЧДП визначаємо за формулою:

$$\text{ЧДП} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1 + E)^t} - K, \quad (5.2)$$

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

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

$$R_t = R_{no} + R_{\partial n} + R_{3n} + R_n, \quad (5.3)$$

де R_{no} – вартість заощаджених коштів на закупівлю препаратів для передпосівної обробки насіння; $R_{\partial n}$ – вартість додатково отриманого насіння; R_{3n} – вартість збереженого насіння при зберіганні; R_n – вартість заощаджених фунгіцидів і протравлювачів.

Капітальні вкладення будуть тільки на першому етапі експлуатації і розраховуються за формулою:

$$K = B_{уст}, \quad (5.4)$$

де $B_{уст}$ – вартість установки.

Норма дисконту постійна і дорівнює $E = 0,15$.

Індекс прибутковості, який є відношення суми приведених ефектів до величини капітальних вкладень, визначаємо:

$$IP = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - 3_t) \cdot \frac{1}{(1 + E)^t}. \quad (5.5)$$

Індекс прибутковості взаємопов'язаний з ЧДП, якщо ЧДП позитивний, то $IP > 1$ і навпаки. Якщо $IP > 1$, проект позитивний, якщо $IP < 1$ – неефективний.

Внутрішня норма прибутковості E_{BH} (ВНП) це норма дисконту, при якій величина приведених ефектів рівна приведеним капітальним вкладенням. E_{BH} визначається:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - 3_t}{(1 + E_{BH})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K}{(1 + E_{BH})^t}. \quad (5.6)$$

Коли ВНП дорівнює або більше потрібної інвестору норми прибутку, інвестиції виправдані, і може розглядатися питання про його прийняття. В іншому випадку інвестиції в даний проект недоцільні.

На рис. 5.2...5.3 приведені зміни чистого дисконтированого прибутку та індексу прибутковості за різної тривалості розрахункового періоду установки для обробки насіння в електричному полі високої напруженості постійного струму до періоду експлуатації 5 років за умов обробки 10т ячменя.

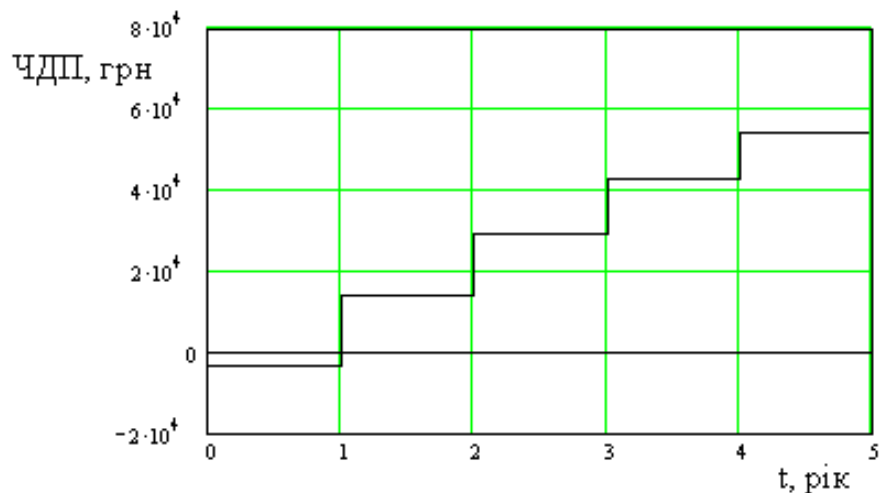


Рис. 5.2. Чистий дисконтирований прибуток у залежності від тривалості розрахункового періоду

З рис. 5.2 видно, що на другому році ЧДП позитивний, що є показником ефективності проекту.

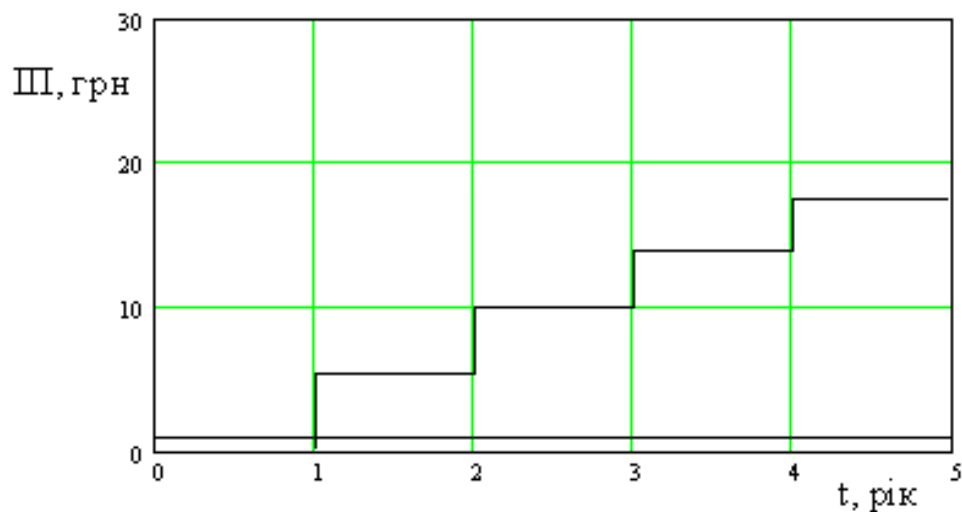


Рис. 5.3. Індекс прибутковості

На другому році експлуатації індекс прибутковості позитивний. Тобто термін окупності становить один рік.

5.2. Виробнича перевірка та економічна ефективність застосування установки для знезаражуючої обробки в сильному електричному полі

З метою підтвердження результатів було проведено виробничу перевірку запропонованого способу та технічних засобів знезаражуючої обробки зерна в електричному полі високої напруженості змінного струму.

Встановлено ефективні дози обробки ячменю в електричному полі високої напруженості змінного струму на кінцевий результат – урожайність. Залежність урожайності ячменю від дози зображено на рис. 5.4.

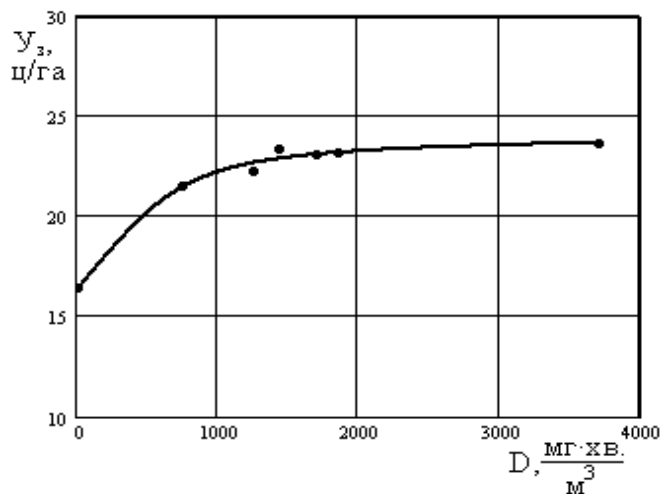


Рис. 5.4. Залежність урожайності ячменю від дози обробки

Виробничою перевіркою передбачено два напрями: лабораторні дослідження для перевірки впливу запропонованого способу обробки на мікроорганізми та польові для перевірки впливу способу обробки на врожайність.

В контрольних зразках (рис. 5.5 а та 5.5 б) було виявлено ряд хвороботворних мікроорганізмів, які розвивались під час проростання насіння. В оброблених зразках (рис. 5.5 в та 5.5 г) хвороботворних мікроорганізмів не виявлено.

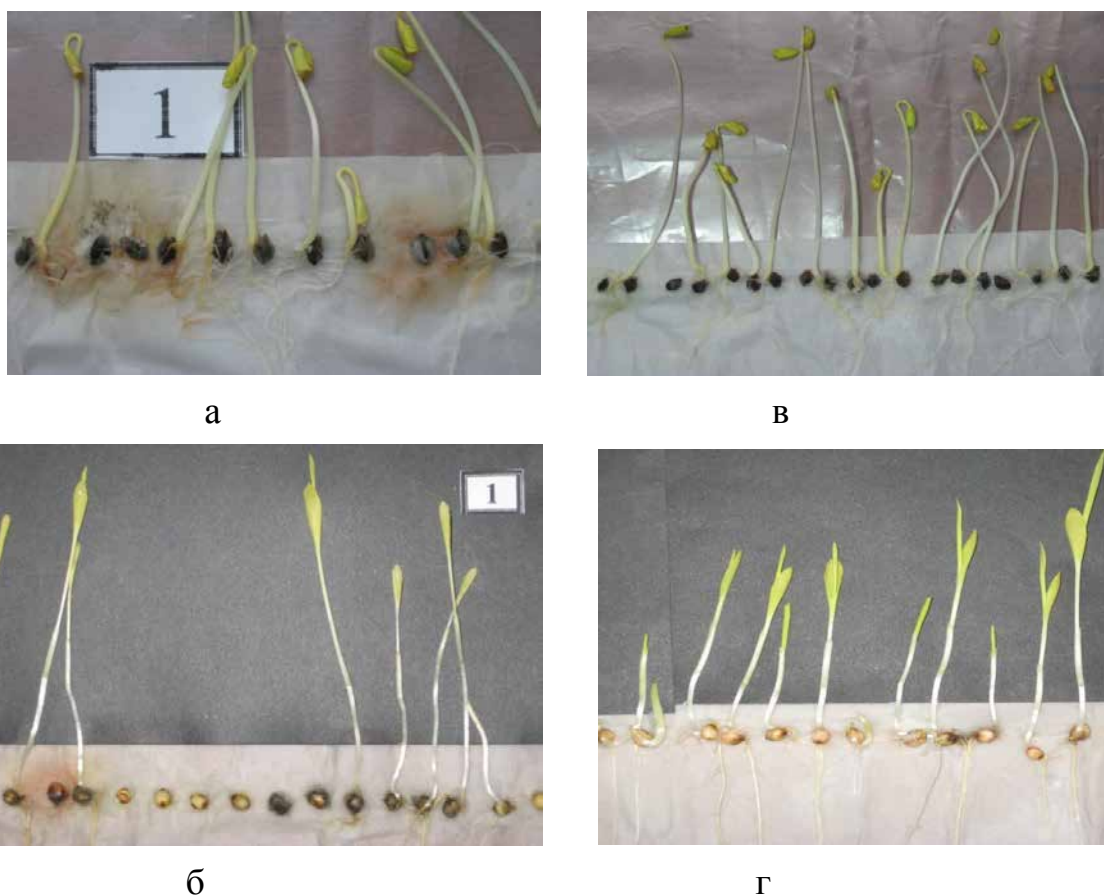


Рис. 5.5. Результати аналізу ураженості проростків насіння гречки сорту Оранта та соризу сорту Одеський 302: а,б) контроль, в,г) варіант оброблений в електричному полі високої напруженості змінного струму

Розрахунок економічної ефективності ґрунтується на визначенні річного ефекту, який отримують за рахунок заощадження хімічних протравлювачів, зниження втрат при зберіганні та отримання додаткового врожаю.

Установки для обробки зернової маси в електричному полі високої напруженості змінного струму на сьогоднішній день не випускаються, тому при визначенні економічного ефекту приймається відсутність бази для порівняння.

Для встановлення ефективності використання установки необхідно визначити:

- чистий дисконтний прибуток (ЧДП);
- індекс прибутковості (ІП);
- внутрішня норма прибутковості (ВНП);
- термін окупності.

Чистий дисконтний прибуток визначаємо:

$$ЧДП = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (5.9)$$

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

Прибуток за рік можна визначити за виразом:

$$R_t = R_{до} + R_{доз} + R_n, \quad (5.10)$$

де $R_{до}$ – вартість додатково отриманого зерна; $R_{доз}$ – вартість додатково збереженого зерна при зберіганні; R_n – вартість заощаджених протравлювачів.

Капітальні вкладення будуть визначатися вартістю установки:

$$K = B_{уст}, \quad (5.11)$$

де $B_{уст}$ – вартість установки.

Індекс прибутковості визначаємо згідно рівняння:

$$ІП = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (5.12)$$

Значення індексу прибутковості визначає ефективність розробленого проекту і буде взаємопов'язано з чистим дисконтним прибутком. Проект прибутковий, коли індекс прибутковості буде перевищувати 1.

Внутрішня норма прибутковості $E_{ВН}$ (ВНП) визначає прибуток, $E_{ВН}$ визначається за виразом:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{BH})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K}{(1 + E_{BH})^t}. \quad (5.13)$$

ВНП має перевищити кошти витрачені на реалізацію проекту. Тільки так може бути прийняте рішення про доцільність інвестування. Інакше інвестиції в проект невиправдані.

Чистий дисконтний прибуток та індекс прибутковості буде залежати від часу використання проекту. Зміна цих показників при впровадженні установки для знезаражуючої обробки зернової маси в електричному полі високої напруги змінного струму за умови обробки 20 тон ячменю щорічно, протягом 5 років представлено на рис. 5.6 та 5.7.

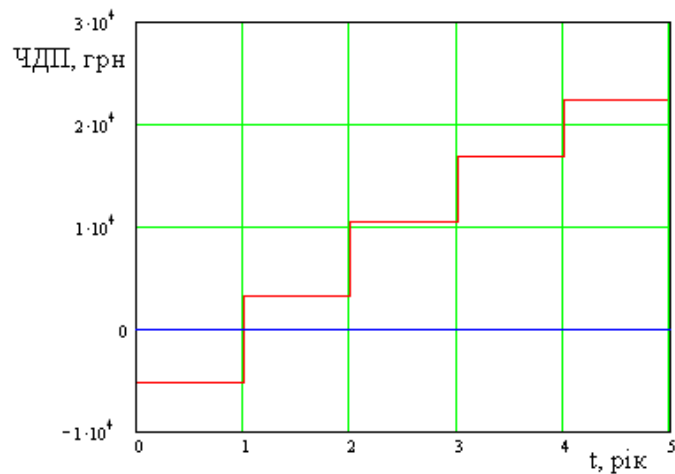


Рис. 5.7. ЧДП в залежності від часу експлуатації установки

З рис. 5.7 видно, що поз другого року отримуємо прибуток.

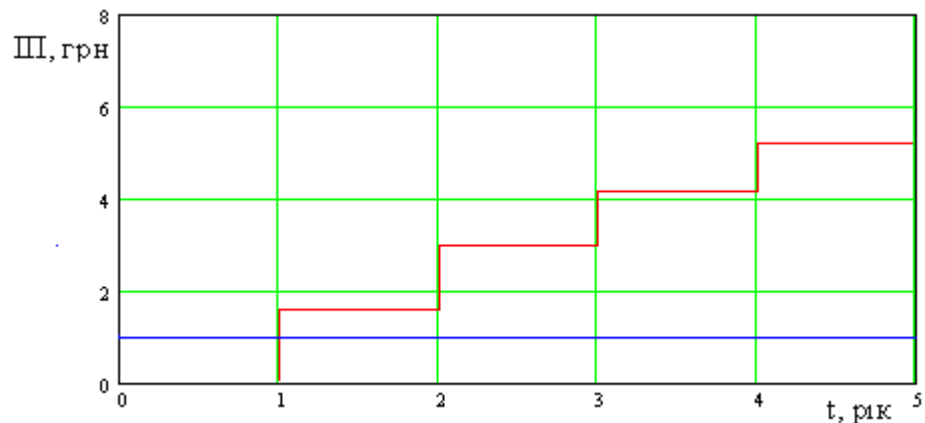


Рис. 5.8. Індекс прибутковості

ВИСНОВКИ

1. Аналізуючи технології обробки зерна при зберіганні встановлено, що сильні електричні поля можливо використовувати, як засіб впливу на зернову масу.

2. На підставі теорії часткових розрядів та представленої схеми заміщення зернової маси, що перебуває під дією електричного поля встановленню взаємозв'язки між параметрами режиму обробки та електрофізичними характеристиками зернової маси.

3. Для проведення досліджень розроблено методику досліджень електрофізичних процесів у зерновій масі та необхідне обладнання.

4. Встановлено закономірності зміни концентрації озону від напруженості електричного поля, вологості зернової маси та форм зернівок.

5. Встановлено, що обробка зернової маси в електричному полі зменшує кількість зернівок, заселених збудниками.

6. За результатами досліджень із впливу знезаражуючої обробки зерна в електричному полі на спори твердої сажки *Tilletia caries* встановлено ефективну дозу 2940 мг·хв/м³, яка дозволяє знешкоджувати 90 % спор твердої сажки та розроблено номограму для визначення часу експозиції знезараження зерна залежно від його вологості.

7. Встановлено, що затрати електричної енергії при знезараженні зернової маси вологістю $W=14-14,5$ % становлять 1,29–1,62 кВт·год/т при

8. Обґрунтованість наукових результатів базується на коректному використанні положень математичної статистики, теорії часткових розрядів, узгодженні теоретичних положень із експериментальними даними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобець С. В. Окремі аспекти механізмів впливу магнітних полів на біосистеми / С. В. Горобець // Наукові праці НУХТ. – 2002. – Вип. 13. – С. 45 – 49.
2. Довгань С. Зберегли зерно в полі – збережемо і в коморі / С. Довгань, О. Сядриста // Пропозиція – 2009. – №2 (164). – С. 86-95.
3. Доля М. Повернемося вкотре до біолого-екологічних особливостей комірнього та рисового довгоносиків / М. Доля, Л. Бондарєва, О. Бортніцький // Зерно і хліб. – 2010. – №3 (59). – С. 60-61.
4. Електроіскрові технології в харчовій промисловості: перспективи застосування / І. С. Гулий, А. І. Українець, Ю. О. Дашковський [і др.] // Наукові праці НУХТ. – 2002. – Вип. 13. – С. 34 – 39.
5. 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.
6. Зберігання зернових та бобових. Частина 3. Захист від шкідників (ISO 6322-3:1989, IDT): ДСТУ ISO 6322-3:2004. – [Чинний від 2006-05-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – IV, 6 с. – (Національний стандарт України).
7. Зберігання і переробка продукції рослинництва. Навч. посібник / Г. І. Подпряттов, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. – Київ: Мета, 2002. – 495 с.
8. Кирик М. М. Вплив озону на мікобіоту насіння озимої пшениці / М. М. Кирик, О. М. Берека, А. Б. Ковалишин, С. М. Усенко // Наук. вісн. НУБіП України. – 2009. – Вип. 140. – С. 121–127.
9. Кобець М. І. Органічне землеробство в контексті сталого розвитку / М. І. Кобець // Актуальні питання аграрної політики: Зб. робіт 2003 – 2004 рр. – К., 2004 – С. 108 – 131.
10. Ловкіс З. В. Дезинсекція комах-шкідників озоном / З. В. Ловкіс, Т. П. Троцька // Зерно і хліб. – 2005. – №2. – С. 34-35.
11. Никифорова Л. Є. Огляд існуючих способів підвищення врожайності овочевої продукції в захищеному ґрунті / Л. Є. Никифорова // Вісн. ХДТУ. – Х., 2004. – Т. 2. – С. 85 – 89.

12. Петренкова В. П. Озонова технологія передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур / В. П. Петренкова, О. М. Єгоров, В. І. Голота, Г. В. Таран // Посібник українського хлібороба. – К., 2009. – С. 128 – 131.
13. Усенко С. М. Знезаражуюча обробка зерна в електротехнологічному комплексі під дією електричного поля високої напруженості: дис. кандидата технічних наук: 05.09.03 / Усенко Сергій Миколайович. – К., 2013. – 254 с.
14. Шевченко Н. Г. Шкідники запасів зерна та контроль їх чисельності / Н. Г. Шевченко // Посібник українського хлібороба – 2008. – с. 41-44.
15. Alpov R. S. The linear oscillating elektrodrive with improved technology – ecological indictz// Proceeringz of international scientific-technical conference on Unconventional Electromechanical Systems. – Szczecin, 1995. – P. 35 – 40.
16. Beltran F. J. Kinetics of simazine advanced oxidation in water / F. J. Beltran, J. F. Garcia-Araya, J. Rivas and others // J.environm. Sc. Health. Pt B, 2000; Vol. B 35, N 4/ – P. 439 – 454.
17. Bereka O. N. Ionization processes in seed massy under strong electric field / O. N. Bereka, S. N. Usenko// Econtechmod. An international quarterly journal on economics of technology and modelling processes. – Lublin-lviv-crakov, 2012 – Vol. 1, No 1. – С. 17-20.
18. Kandil M. A. The effect of fertilizers for conventional and organic farming on yield and oil quality of fennel (*foeniculum vulgare*) in Egypt. / M. A. Kandil – Braunschweig, 2002. – 87 p.
19. Берека О. М. Обробка насіння сільськогосподарських культур в електричному полі високої напруги: дис. Доктора технічних наук: 05.09.03 / Берека Олег Миколайович. – К., 2010. – 322 с.
20. Берека О. М., Червінський Л. С., Салата М. П., Квіцінський А. А., Назаренко І. П. Вплив температури на електричні властивості зернової маси ячменя пивоварного // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип. №24. – Мелітополь : ТДАА, 2004. С. 143 – 147.
21. Петриченко С.В., Назаренко І.П., Берека О.М. Вплив температури і вологості на структурно – механічні та електричні властивості харчових продуктів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип. №25. – Мелітополь : ТДАА, 2005. С. 161 – 168.