

**О.М. БЕРЕКА, С.М. УСЕНКО**

**ЗНЕЗАРАЖУЮЧА ОБРОБКА ЗЕРНА В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ  
ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ**

Монографія

КИЇВ – 2014

**УДК 621.3: 631.53.027.33**

**ББК 40.76Я73**

**І67**

Рецензенти:

Г.Б. Іноземцев - професор кафедри електропостачання ім. В.М. Синькова НУБіП України, д. т. н., професор.

А.В. Жильцов - завідувач кафедри електричних машин і експлуатації електрообладнання НУБіП України, д. т. н.

В.О. Мунтян - завідувач кафедри електропостачання сільського господарства ТДАТУ, д. т. н., професор.

**Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 8 від 17 квітня 2014 р.).**

Берека О.М., Усенко С.М.

**Знезаражуюча обробка зерна в електричному полі високої напруженості / О.М. Берека, С.М. Усенко. – К.: ЦП"КОМПРИНТ", 2014 – 190 с.**

ISBN

**Розглянуто існуючі методи та засоби знезаражуючої обробки зернових, електрофізичні процеси в зерновій масі під дією електричного поля високої напруженості змінного струму. Наведено методичку та експериментальні дослідження розрядних та іонізаційних процесів в зерновій масі залежно від її вологості та конструктивних параметрів камери обробки. Представлено спосіб знезаражуючої обробки зернових в електричному полі високої напруженості та дослідну установку.**

**Для науковців, фахівців електроенергетичної галузі.**

© Берека О.М., Усенко С.М.  
© НУБіП України, 2014

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b>	5
<b>ПЕРЕДМОВА</b>	6
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗНЕЗАРАЖУЮЧОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ</b>	8
1.1. Сучасний стан технологій знезараження зерна	8
1.2. Електрофізичні методи знезараження зерна	12
1.3. Вплив вологості зерна на його електрофізичні властивості і результати обробки	18
1.4. Електротехнологічні засоби для знезаражуючої обробки зерна при зберіганні	20
1.5. Сучасні методи отримання озону	28
Проблемні висновки	31
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗНЕЗАРАЖУЮЧОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ЗМІННОГО СТРУМУ</b>	32
2.1. Електричні розряди в повітрі	32
2.2. Розрахунок повного струму, що проходить через зернову масу під впливом змінного електричного поля високої напруженості	35
2.3. Синтезу озону та оксидів азоту в зерновій масі під дією розрядів та їх вплив на мікроорганізми	45
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗЕРНОВІЙ МАСІ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ</b>	49
3.1. Методика та установка для дослідження електрофізичних процесів в зерновій масі	49
3.2. Електрофізичні процеси в зерновій масі	52
3.3. Концентрація озону в зерновій масі при різних режимах обробки	64
3.4. Вплив знезаражуючої обробки на життєдіяльність мікрофлори зерна та його посівні якості	74
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СПОСОБУ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОЇ МАСИ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ЗМІННОГО СТРУМУ ТА ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ</b>	83
4.1. Спосіб та технологічний процес знезаражуючої обробки зернової маси в електричному полі високої напруженості при зберіганні	83
4.2. Дослідження експериментальної установки	87
4.3. Визначення часу необхідного для знезаражуючої обробки зернової маси у виробничих умовах	97
4.4. Продуктивність установки та витрати електроенергії	98
<b>РОЗДІЛ 5. ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ</b>	103
5.1. Методика, умови та результати проведення виробничої перевірки	103

5.2. Техніко-економічні показники роботи установки при зnezаражуючій обробці зернової маси	111
<b>ДОДАТКИ</b>	<b>115</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>176</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- УФВ – ультрафіолетове випромінювання.
- МХП – мікрохвильове поле.
- НВЧ – надвисока частота.
- ЕМП – електромагнітне поле.
- ІЧВ – інфрачервоне випромінювання.
- СЕП – сильне електричне поле.
- ЕПВНЗС – електричне поле високої напруженості змінного струму.
- ІП – іонізаційні процеси.
- ЧР – часткові розряди.
- ПХІП – питома характеристика іонізаційних процесів.
- ПНІП – початкова напруженість іонізаційних процесів.
- КО – концентрація озону.
- ЕП – енергія проростання.
- ЗП – здатність до проростання.
- ПЕВ – питома енергія впливу.
- ГСП – густина струму провідності.

## ПЕРЕДМОВА

Одним із основних напрямів економічного і соціального розвитку України визначено збільшення валового збору зернових та підвищення їх конкурентоспроможності на світовому ринку. Досягнення цієї мети можливе за умови підвищення врожайності, якості зерна, зменшенні втрат на зберігання.

Одним із головних чинників, що негативно впливають на якість зерна є життєдіяльність мікроорганізмів. Близько 85 % збудників найнебезпечніших хвороб злакових культур представлено грибами, з них 80 % – токсичні. Ураження грибами виводить товарне зерно з категорії продовольчого, а за наявності токсинів, що утворюються у ході життєдіяльності грибів, понад 5 мг/кг воно стає непридатним навіть для кормових потреб.

За час зберігання (від 3 до 6 міс.) поверхнєве зараження зерна грибами може збільшитися у 35–40 разів, внутрішнє – у 3–4 рази. Це спричиняє щорічну втрату 2–3 млн. т зерна і чимале зниження біологічної повноцінності ще багатьох партій. Ситуація ускладнюється тим, що на тепер не існує біологічно прийнятних і економічно ефективних способів детоксикації зерна.

На тепер з метою попередження розвитку зернової мікрофлори застосовують переважно хімічні засоби, що мають ряд недоліків: малу ефективність щодо ряду хвороб, забруднення навколишнього середовища отрутохімікатами та їх накопичення як у ґрунті, так і у продукції рослинництва, неможливість використання при обробці продовольчих партій зерна.

У зв'язку з орієнтацією передових країн світу на екологічно безпечні технології виробництва сільськогосподарської продукції все більше уваги приділяється розвитку фізичних методів обробки. Із електрофізичних заходів слід виокремити термічне знезараження, застосування рентгенівського та гамма-випромінювання, а також обробку полями надвисокої частоти. Та чимала енергоємність процесу та обмеженість застосування перешкоджають широкому впровадженню цих технологій.

Нині широко впроваджуються дослідження з використання електроозонаторів. Озонування, як метод знезараження добре вивчено з санітарно-гігієнічного боку. Але існуючі технології, що використовують електроозонатори для обробки зернових не забезпечують належного ефекту: при подачі озону від генератора до матеріалу обробки він частково розкладається, що призводить до низького коефіцієнту корисної дії існуючих установок. Крім того, при обробці зерна озон розподіляється нерівномірно і взаємодіє, переважно, з поверхневими шарами, що значно зменшує ефективність обробки. Тому розробка методів та технічних засобів для екологічно безпечного знезараження зерна є актуальною.

Принципово новим напрямом є використання електричного поля високої напруженості, під дією якого у повітряних включеннях зернової маси відбуваються часткові розряди, що супроводжуються іонізаційними процесами. Як наслідок – у всьому об'ємі зернової маси, яка перебуває між електродами,

буде утворюватись озон. Ці процеси детально вивчались у випадку, коли обробка проводилася в електричному полі високої напруженості постійного струму з метою стимуляції зерна. Знезаражуюча обробка з використанням електричного поля високої напруженості змінного струму, що забезпечує більшу концентрацію озону у зерновій масі, підвищуючи ефективність обробки, на тепер не досліджувалась.

Обґрунтування енергоефективних режимів знезаражуючої обробки зерна в електротехнологічному комплексі, які ґрунтуються на закономірності дії електричного поля високої напруженості змінного струму на електрофізичні процеси у зерновій масі, дасть змогу підвищити якість та ефективність зберігання зерна.

# РОЗДІЛ 1.

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗНЕЗАРАЖУЮЧОЇ ОБОРОБКИ ЗЕРНОВИХ

### 1.1. Сучасний стан технологій знезараження зерна

Проблема забезпечення потреб людей продуктами харчування є досить гострим і актуальним питанням. Вирішення проблеми базується не тільки на збільшенні виробництва зернових, але і, що найголовніше, збереження зібраного врожаю у належному стані з мінімальними втратами.

Збільшення виробництва і підвищення якості можливо при зменшенні втрат врожаю від хвороб, різних видів шкідників, а також при максимальному використанні потенційних можливостей насінневого матеріалу.

Згідно з даними Держкомстату України кожного року втрачається близько 1,2 млн. тон зернових, що становить 5% зібраного врожаю [60]. Такі ж дані приводяться і в ФАО (організація ООН з питань продовольства і сільського господарства) щодо втрат світового збору зернових культур [156].

При зберіганні в хороших умовах насіння може зберігати життєздатність на протязі достатньо тривалого часу, доказом цього є повідомлення про насіння, що знайдено при археологічних розкопках. Саме старе насіння, що зберегло свою життєздатність було знайдено в Канаді його вік приблизно 15000 років. Також було знайдено насіння віком від 200 до 1700 років, яке також мало задовільну схожість [158].

Однією із головних причин, яка сприяє погіршенню якості зернової продукції є життєдіяльність мікроорганізмів, бактерій і пліснявих грибів, які у великій кількості з мілким пилом знаходяться на оболонках зерна. При сприятливих умовах ці мікроорганізми швидко розвиваються і погіршують якість зернової маси [163]. Тому, в технологіях переробки та зберіганні зерна важливим завданням є його знезараження.

Дія мікроорганізмів на зернову масу може проявлятися в наступній формі:

- втрата партією зерна ознак свіжості, тобто зміною таких показників якості, як колір, запах, смак;
- погіршенням технологічних якостей зерна та втрата у вазі;
- зниження посівних і товарних якостей зерна в зв'язку з пошкодженням його зародків;
- накопиченням у зерновій масі токсинів;
- утворенням і накопиченням у зерновій масі значної кількості тепла.

Дослідженнями, які проводилися у "ВНИИЗ", встановлено, що чисельність мікрофлори зерна збільшується при збиранні врожаю. Крім сапрофітної та паразитної мікрофлори, на зерно разом з пилом потрапляє частина мікробної фауни ґрунту. Скупченню пилу і мікроорганізмів сприяють і

морфологічні особливості зерна (шорсткість поверхні, наявність борідки і борозенки і т.д.). Так, зерна, які вивільнені із колосу стерильним пінцетом, вміщали 1530 мікроорганізмів на 1 грам, вивільнені із колосу шляхом ручного обмолоту – 5400 мікроорганізмів, а зерна, які отримані після обмолоту комбайном – 63000 мікроорганізмів [106]. А гідробіологічні дослідження, які проводив Михайлівський [126], показали, що на поверхні одного зерна зосереджено від 40 до 800 тис. бактерій.

У зерновій масі різних культур зустрічається до 60 видів пліснявих грибів. Розвиток пліснявих грибів при зберіганні є однією із основних причин погіршення продовольчих та насінневих якостей зерна [100, 157]. Крім того, відомо, що деякі види пліснявих грибів можуть виробляти в якості продукту життєдіяльності токсини при наявності, яких більше 5 мг на 1 кг зерна його заборонено використовувати в якості корму для тварин. Встановлено залежність між кормами зараженими конкретним видом *Penicillium* і хворобами свиней [157].

Також доведено, що погіршення якості зерна в результаті пошкодження пліснявими грибами супроводжується швидким зникненням полярних ліпідів (гліколіпідів і фосфоліпідів), які є основними компонентами при випічці хліба. Хліб випечений із пошкодженої муки має менший об'єм і більш погіршену структуру пористості, чим хліб випечений з доброякісної муки [157].

Під час збирання врожаю зерно може заспорюватись твердою сажкою (так як сажкові мішечки руйнуються під час обмолоту зерна). За даними Є.Є. Гешеле [107] можна прослідкувати вплив концентрації спорів у насінні на ураженість рослин.

При заспоренні насіння пшениці сорту „Белозерная” твердою сажкою від 0,1 до 3 г ураженість рослин у полі відповідно збільшилася від 25 до 64 %. При заспоренні сприятливої до сажки пшениці Українка від 100 до 60000 спор на одну зернину зараженість колосу збільшилася від 0,7 до 98 %.

Очищення від грибів і бактерій є однією із найважливіших задач в підвищенні якості продовольчих та фуражних партій зерна, а також у підвищенні посівних та врожайних якостей насінневого матеріалу.

На сьогоднішній день для знезараження застосовуються біологічні, хімічні та фізико-механічні способи (рис. 1.1), але хімічні все ще переважають над іншими.

**Біологічний спосіб боротьби.** Розвиток біологічного способу боротьби з шкідниками йде за декількома напрямками: вивчаються природні хижаки і паразити шкідників із світу комах і кліщів, можливість їх акліматизації, масового розведення і використання; досліджуються раціональні поєднання пестицидів з бактерицидними препаратами; розробляються засоби і способи придушення спадковості. Проте відносно шкідників хлібних запасів біологічні способи боротьби використовуються у меншій мірі, чим інші способи. Це пов'язано із особливостями об'єкту. Наприклад, введення в зерно і зернові продукти хижаків і паразитів або стерильних самців практично є мало придатним, оскільки це засмічує продукт і погіршує його якість.



Рис. 1.1. Класифікація існуючих способів знезаражуючої обробки зернових

**Хімічний спосіб боротьби.** Цей спосіб найбільш поширений, ґрунтується на застосуванні різних хімічних препаратів [96]. До препаратів, що застосовуються для знезаражуючої обробки зернових, застосовується цілий ряд вимог. Всі вони повинні мати високу токсичність, не повинні значно змінювати своїх властивостей під впливом зовнішніх умов середовища незаселеного шкідниками; температури, світла, вологості і т.д. Вони не повинні впливати на харчові, хлібопекарські, біохімічні, насінні та інші властивості зерна і продуктів його переробки; не повинні передавати їм запаху і залишати шкідливих залишків після обробки; бути малоотруйними або неотруйними для людини; не володіти вогне і вибухонебезпечними властивостями; бути дешевими і недефіцитними. Проте практично жоден, із вживаних у даний час хімічних препаратів не відповідає перерахованим вище вимогам.

Мільнер та інші дослідили більше 100 фунгіцидних сполук для боротьби з пліснявими грибами; ні одне із них не пригнічувало ріст грибів у повній мірі [157].

В останні роки знаходить застосування спосіб тимчасової консервації зерна шляхом обробки низькомолекулярними кислотами [49, 53, 3]. Проте проблема хімічної консервації зерна до теперішнього часу не вирішена, оскільки відсутні або є неповними дані про їх вплив на технологічні, біохімічні і харчові властивості зерна. Крім того даний спосіб придатний лише для обробки фуражного зерна, що заважає його широкому впровадженню.

Обробка зерна хімічними препаратами пов'язана з великими витратами на їх виготовлення, зберігання, доставку до місця призначення. Застосування хімічних препаратів знищує біологічну рівновагу в природі, небезпечно для здоров'я і життя людей, а в деяких випадках (після інкрустації та недостатній вологості) може навіть пригнічувати розвиток зародка насінини, а полімерна плівка, що вкриває насінину, стримує процеси росту [40, 41, 108, 178, 183]. Методи знезараження зерна, які знайшли масове застосування в сільському господарстві окрім прямої дії мають побічні та залишкові ефекти, які врешті-решт впливають як на організм людини, так і на довкілля [81, 83].

**Фізичний спосіб.** До цієї групи способів знезаражуючої обробки відноситься сепарація зерна, використання різних прийомів для охолодження або нагрівання зерна .

Механічне очищення зерна ефективно лише в холодну погоду, коли одночасно з сепарацією зерно охолоджується. Використання низьких „летальних” температур знаходить застосування в основному в районах із сприятливим для цього кліматом.

Ефективнішим є використання високих „летальних” температур, де разом із знезараженням зерна в короткі терміни відбувається зниження його вологості. Підвищити температуру зерна можна різними способами: передачею тепла, конвекцією, інфрачервоними променями, застосуванням енергії високої і надвисокої частот. Проте слід зазначити, що для досягнення 100% загибелі всіх шкідників у всіх стадіях, необхідна температура зерна порядку + (65 – 70)°C [19]. У той же час нагрів до такої температури зерна, за даними "ВНИИЗ" призводить до значного зниження його агрономічних якостей. Отже, необхідно застосовувати такі методи нагріву, які б не зашкоджували селективними властивостями наприклад методи нагріву за допомогою інфрачервоних променів і енергії високої та надвисокої частот.

При нагріванні і сушінні вологих матеріалів інфрачервоними променями промениста енергія перетворюється на тепло, що забезпечує знезараження зерна і видалення значної кількості вологи. Проте інфрачервоний метод обробки має ряд серйозних недоліків: для ефективної обробки потрібен тонкий шар оброблюваного матеріалу і тривалий час опромінювання, що ускладнює технологічний процес обробки; не можна повністю ліквідувати приховану форму зараженості; крім того, у нього відносно низький коефіцієнт корисної дії. Для знезаражуючої обробки великої кількості зерна витрата електроенергії значна, що обмежує промислове застосування цього методу.

У даний час більш прогресивним слід визнати метод обробки зернових за допомогою енергії високої і надвисокої частот. Особливістю високочастотного нагріву, що принципово відрізняє його від інших методів нагріву, є виділення теплової енергії в самій масі матеріалу, що необхідно нагріти. Зерно і продукти його переробки, а також шкідники, що в ньому знаходяться, з фізичної точки зору є діелектриками при нагріві яких, енергія електромагнітного поля перетворюється в тепло внаслідок наявності діелектричних втрат. Процес виникнення тепла при нагріві в

електромагнітному полі високої частоти залежить від фізичних властивостей матеріалу, його електричних параметрів. При неоднорідному складі матеріалу, до якого і відноситься заражене шкідниками зерно, окремі його частини, що мають різні значення провідності нагріватимуться по різному.

Першими подібними спробами слід вважати роботи "ВНИИЗ" під керівництвом професора М. Г. Евреїнова (1932–1931 рр.) та П. І. Тарутіна (1934–1936 рр.), які показали ефективність застосування електромагнітної енергії високої частоти для знезаражуючої обробки зерна при повному збереженні його посівних і товарних якостей.

Широкому впровадженню цих технологій перешкоджає недолік якісних установок, що здатні працювати у виробничих умовах [4]. Крім того такі установки мають високу вартість.

Багато досліджень присвячено використанню іонізуючих випромінювань для знезаражуючої обробки зернових, в основі біологічної дії яких [6] лежить поглинання їх енергії, що виявляється в іонізації і збудженні атомів і молекул живої матерії. Іонізація живої тканини приводить до розриву молекулярних зв'язків і зміни хімічної структури різних сполук.

Зміни в хімічному складі клітини порушують її нормальне функціонування, обмін речовин, ділення і т.д. і в результаті приводять до її загибелі. Основними недоліками методу променевої обробки зернових є зниження агротехнічних та товарних якостей зерна при дозах опромінювання, потрібних для повної стерилізації мікроорганізмів. До недоліків способу відноситься також необхідність в створенні спеціальних заходів захисту обслуговуючого персоналу від можливості опромінювання. У сучасних установках товщина захисних шарів понад метр з бетону і десятка сантиметрів з свинцю.

Сучасний етап розвитку сільського господарства характеризується подальшою інтенсифікацією технологічних процесів при забезпеченні високої якості продукції, впровадженням потокових ліній, оснащених засобами для автоматичного регулювання процесів, повною їх автоматизацією. У цьому плані розвиток електрофізичних методів обробки представляє особливий інтерес.

## **1.2. Електрофізичні методи знезараження зерна**

Наука ще не винайшла економічно вигідних і технічно сприятливих способів знезараження зернової маси. На теперішній час застосовуються різні способи, які направлені на зменшення чисельності мікроорганізмів у партіях зерна, але хімічні методи боротьби поки переважають над іншими.

Аналізуючи існуючу систему захисту зерна, "ГНУ ВНИИЗ РАСХН" відзначає, що з погляду зниження небезпеки при обробці і вирішення проблеми залишків хімічних речовин у продуктах харчування після застосування інсектицидів потрібний "розвиток нехімічних засобів і способів боротьби" [163, 136].

Серед нових перспективних методів обробки зернових, все більше уваги приділяється електротехнологічним методам. Використання електротехнологій в сільському господарстві дозволяє як стимулювати процеси росту, так і пригнічувати шкідливу мікрофлору, що дає можливість підвищити кількість і покращити якість продукції без розширення посівних площ, підвищити збереженість готової продукції. При електрофізичній дії, в живих організмах проходять біофізичні процеси, досить чутливі до дози обробки. Встановлено, що відносно малі дози можуть істотно підвищити продуктивність живих організмів, у той час як великі різко знижують її, викликаючи в окремих випадках загибель цих організмів [37].

У "Всесоюзном научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства" були проведені дослідження по знезаражуючій обробці зерна термоімпульсним методом – вибухом суміші водню і кисню (гримучого газу). Дослідження цієї технології протягом ряду років показали, що ураженість посівів пшениці твердою сажкою може підтримуватися на рівні 0,1% без застосування ртутьорганічних протруйників типу „Транозан” та ін. [68]. Однак даний спосіб обробки не отримав широкого розповсюдження. Це пов'язано з слабким впливом на такі хвороби, як фузаріози. Тобто ефективно застосування способу можливе лише в поєднанні з хімічними засобами.

Філіпов А. К. в співавторстві з іншими працівниками фірми "ПЛАЗМАС" розробили метод плазмової обробки зерна сільськогосподарських культур при пониженому тиску. Плазмова обробка зерна здійснюється в умовах високочастотного плазмового розряду при зниженому тиску в середовищі газу (наприклад – повітря) в спеціальному унікальному плазмовому устаткуванні. При даній обробці зменшується кількість хвороб і підвищується якість зерна [117]. Широкому впровадженню технології плазмової обробки перешкоджає висока вартість обладнання та обмежений термін зберігання обробленої продукції, а насіння оброблене таким чином потребує особливих агротехнічних заходів.

Карасенко В. А. та інші вказують на бактерицидний ефект біологічної дії електричного струму. Ефект засновано на поляризації біологічних об'єктів і зв'язаному з цим протіканням електрохімічних процесів, які призводять до окисного руйнування клітин. Відповідну роль грає електроплазмоліз біологічних клітин і порушення їх обміну з оточуючим середовищем [72].

Дослідженнями В. С. Корко і В. А. Пашинського щодо електрогідротермічної обробки фуражного зерна доведені переваги обробки кормів електричним струмом у порівнянні з традиційними методами обробки [71, 84]. Бактеріальна забрудненість кормів оброблених електричним струмом, знижується в 1,5 – 2 рази в порівнянні з обробкою паром. Споживання корму, обробленого даним способом, впливає на шлункову мікрофлору, що відображається на перетравленні кормів і продуктивності тварин.

Дослідження в перелічених способах обробки показали, що вони ефективні при запобіганні утворення токсинів, а у випадку, коли зерно уже насичене токсинами слабо знезаражують його. Це є дуже важливим фактором

оскільки зерно, яке містить токсинів більше 5мг/кг не використовується, як корм, що призводить до значних втрат.

Біологічна дія електричного струму проявляється в двох протилежних напрямках: пригнічення мікроорганізмів і стимуляція життєдіяльності ферментів. Позитивний чи негативний характер впливу електричного струму залежить від параметрів струму, режимів обробки, видів мікроорганізмів [72, 85]. При підвищенні сили струму від 0 до 15,2 мкА кількість мікроорганізмів підвищується на 8%, а при силі струму 19,6 мкА приріст мікроорганізмів досягає свого максимуму на 90% вище контролю. Струми вище 22 мкА пригнічують швидкість росту мікроорганізмів і їх активність [150].

При дії змінного електричного струму на суспензію однодобової культури *Bacterium agile* встановлено, що струм до 21 мкА струм сприятливо впливав на розмноження бактерій, а вище 23 мкА він має пригнічуючу дію. Оптимум розвитку культури спостерігається при силі струму 19,7 мкА, приріст клітин був на 227,4% вище контролю.

За іншими даними реакція бактерій на електричний струм у початковий період зростає з підвищенням сили струму від 0 до 23,6 мкА. При 23,6 мкА кількість клітин підвищується на 63,3 % в порівнянні з контролем. Після двогодинної експозиції при такій силі струму спостерігалось пригнічення росту бактеріальної маси і через 10 годин у дослідних пробах було в 2,36 разів менше клітин чим в контролі [151].

Дослідження, які проводилися в проблемній лабораторії "ЧИМЭСХ" [162, 106, 163], показали ефективність післязбиральної електростатичної очистки пшениці. При контактній зарядці зерна в електростатичному полі їх поверхня очищується від пилу і мікроорганізмів. З поверхні пшениці разом з пилом видалюється до 60 – 70 % спор грибів і бактерій. Із зерна можуть видалятися частинки діаметром 15...60 мкм, причому якість очистки залежить від напруженості електричного поля і часу обробки [163, 106]. Ефект дії електростатичного поля можливий протягом 2...3 місяців після обробки.

Таким чином електростатичне поле високої напруженості впливає на характер розвитку грибів (*Fusarium* і *Helminthosporium*), що виражається в більш повільному розвитку міцеліїв грибів на поверхні зернин. Тобто здійснюється поверхнева очистка від зовнішньої мікрофлори, що підвищує його якість.

В останні роки в нашій країні і за кордоном ведуться дослідження з використання озону в якості консерванту при зберіганні сільськогосподарської продукції. Озонування є однією з найбільш перспективних технологій, що призначені для боротьби з етіологічною дією хімічної і мікробіологічної природи в сільському господарстві, медицині, екології і комунальному господарстві, а також з шкідливими виробничими факторами в різних галузях промисловості. Озонування, як метод знезараження ретельно вивчений з санітарно-гігієнічної позиції і отримав схвалення санітарно-медичних закладів всіх передових країн світу [135, 42, 184, 164, 171, 173, 174, 176, 181, 186, 187]. Як засіб дезінфекції, дезодорації і стерилізації озон знаходить в світовій

практиці широке застосування. Значне зменшення затрат на виробництво озону, в порівнянні з хімічними реагентами аналогічного призначення, також сприяє росту інтересу до його більш широкого застосування в сільському господарстві. Масштаби застосування швидко зростають. В основі впливу озону на стійкість сільськогосподарських продуктів при зберіганні лежить його згубна дія на мікроорганізми, які викликають псування продуктів [2, 36].

За даними різних авторів, високі бактерицидні властивості озону проявляються при концентрації від 0,3...0,5 мг/л до 1,2...1,7 мг/л [86, 46, 87, 167]. Обробка зерна озонованим повітрям з концентрацією озону 2 мг/л і 30 хвилинній експозиції, практично стерилізує зернову масу від всіх видів мікроорганізмів [47]. Бактерицидні властивості озону значно підсилюються за наявності в повітрі оксидів азоту та додаткової вологи. Так, розпилювання води в повітрі в кількості 10 – 50 г/м підсилює бактерицидний ефект в 10 – 100 разів [105, 43].

Фунгіцидна активність озону також надзвичайно висока. Для запобігання зростанню грибів (цвілі) на поверхні продуктів, тари, устаткування, стін приміщень потрібні в більшості випадків невеликі концентрації озону: 50 мг/м<sup>3</sup> і більше [105]. Фунгіцидна активність озону, як і бактерицидна, зростає у міру збільшення вологості повітря. Оптимальною вважається вологість 75 – 85 %.

Надзвичайно великий інтерес для сільськогосподарського виробництва представляє можливість руйнування озonom токсинів, що часто забруднюють корми для тварин і птахів.

На підставі огляду наукової літератури проаналізовано фізико-хімічні властивості і переваги промислового застосування озону [82, 102, 113, 129, 134, 138, 143, 148].

Озон – газоподібна речовина, що є видозміною кисню і складається з трьох його атомів. Молекула O<sub>3</sub> нестійка і мимоволі розпадається з виділенням тепла. Озон є одним з найсильніших природних окислювачів. Окислювальний потенціал озону складає 2,07 еВ (для порівняння у фтору 2,4 еВ, а у хлору 1,7 еВ). Озон окислює всі метали за винятком золота і групи платини.

Велика кількість робіт присвячена впливу озону на шкідливу мікрофлору зерна. Обробка зерна і комбікорму зараженого патогенною мікрофлорою і цвілевими грибами, озonom (200мг/м<sup>3</sup>) протягом однієї години знижує вміст колоній цвілевих грибів в 1мл витяжки зерна в 3 рази, в стільки ж раз падає вміст токсинів, що виробляються цими грибами. Обробка зерна озonom при концентрації 893 мг/м<sup>3</sup> і експозиції 30 хв. зменшувала бактеріальну забрудненість зерна на 88% [112].

Давидчик Л. Я. та інші дослідники [51, 52, 79] проводили дослідження з обробки озonom сухого зерна, заспореного цвіллю при зберіганні. У дослідах з монокультурою цвілевих грибів, які вирощувалися на зерні пшениці і ячменю вологості 25 %, загибель 99,8–99,9 % спор була досягнута при концентрації озону 350 мг/м<sup>3</sup> і експозиції 2 хв. і більше. При концентрації 150 мг/м<sup>3</sup> і тій же експозиції загибель спор складала 33,8–76,5 %. Збільшення часу експозиції до 5 – 10 хв. підвищувало ефективність обробки. Обробка токсичного зерна на

протязі 15 хв. озоні повітряною сумішшю з вмістом озону 320...340 мг/м<sup>3</sup> забезпечувала його детоксикацію на 70 % [50]. Є і інше повідомлення [175] про те, що озон здатний руйнувати афлатоксини, що виробляються цвілевими грибами.

У дослідженнях проведених у Латвійському філіалі "ВНИИКП" [137] обробку зерна здійснювали озоном у концентрації 2 г/м<sup>3</sup> при експозиції від 2 до 10 хв. Вказана обробка знижувала вміст грибів *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *Penicillium glaucus*, *Mucorspp.*, *Fusariumspp* на 94–96 % і усувала токсичні властивості зерна, обумовлені цвілевими грибами. Ці дані узгоджуються з відомостями з інших джерел [65, 87]. При низькій концентрації (5 мг/м<sup>3</sup>) озон слабо діяв на цвілі зберігання.

Роботи багатьох науковців присвячені використанню озону в процесах післязбиральної обробки зерна з метою підвищення строків його тимчасового зберігання перед сушкою, що забезпечує зменшення пікових навантажень на зернообробне обладнання [75, 152, 38]. Засипану в бурти зернову масу протягом тривалого часу продувають озоні-повітряною сумішшю, що за даними дослідженнями дозволяє підвищити строки безпечного зберігання зерна в 1,5 – 2 рази в порівнянні з вентиляванням матеріалу зовнішнім повітрям і тим самим запобігає пошкодженню та втраті зернового матеріалу. Крім того, такий спосіб обробки дозволяє підвищити якість зерна при незакінченому періоді його післязбирального дозрівання.

Як було зазначено вище, озон широко застосовується в передпосівній обробці насіння. Насіння, оброблене озоні-повітряною сумішшю має вищу стійкість до різного роду захворювань. Деяко підвищується схожість і енергія проростання. Для обробки насіння всіх сортів переважною є концентрація озону 50 – 500 мг/м<sup>3</sup>, оскільки при вищих концентраціях стає критичним час обробки, а при нижчих знижується ефективність обробки. Крім того, концентрація озону 1000 мг/м<sup>3</sup> і більш негативно впливає на ріст кореневої системи [128, 47, 70].

Особливо цікавими були результати при обробці травмованого насіння пшениці. У контролі схожість травмованого насіння склала 54 %. В обробленому варіанті схожість насіння підвищилася до 81 – 84%. На думку автора, ефект отриманий за рахунок комплексної дії озону як стимулятора насіння і як засобу знезараження поверхні [141].

Ряд досліджень присвячено впливу озону на урожайні якості зернових. Обробка ярого ячменю озоном дозволила збільшити приріст врожаю на 17,2%. У той час, як використання хімічного препарату підвищує врожайність на 3,8%. Також хороші результати були отримані при обробці насіння озимого тритикале – на 69% вища врожайність у порівнянні з хімічним препаратом "Гранівіт" [128, 133].

Важливим фактором є здатність озону знешкоджувати спори сажкових хвороб, які можуть призводити до повної загибелі врожаю [188, 103]. Дослідженнями в цьому напрямі займалися в Саратовському "НИИ" сільського господарства. Обробку насіння проводили озоном різної концентрації (висока –

0,5 г/м<sup>3</sup>; низька – 0,2 г/м<sup>3</sup>) і часу експозиції від 5 до 60 хв. Вже низька концентрація озону при експозиції 60 хвилин забезпечувала інактивацію міцелію грибів на рівні обробки протравлювачем "преміс 200", який вважається кращим хімічним препаратом для знезараження сажки. При обробці озоном високої концентрації досягалося повне знищення сажки [160].

Цілком імовірно, що кращий результат, досягнутий при обробці насіння озоном у порівнянні з обробкою "преміс 200", говорить не стільки про більшу його здатність пригнічувати сажку, скільки про перевагу газоподібної обробки озоном проти рідинної з відносно малою кількістю робочої рідини (10 л/т), коли вірогідність нерівномірного змочування, а: отже, нанесення препарату, дуже велика.

Також доведено, що зерно оброблене озоном не змінює своїх технологічних якостей [128, 133].

Є відомості про придушення озоном мікрофлори в кормових компонентах [79, 87], у камерах овочесховищ [139, 95, 104], у моркві, що зберігається [170, 179, 66, 67]. А згодовування птахам оброблених озоном кормів сприятливо позначалося на їх зростанні [56, 182].

Бородін І. Ф. вказує, що визнаним є спосіб застосування озону для обробки питної і стічної води, а також озонування повітряного середовища побутових та виробничих приміщень. У результаті озонування загальний вміст токсичних речовин знизився у 7,4 рази, концентрація мікроорганізмів – у 6,6, грибів (плісняви) – в 4,8 рази [38].

При аналізі великого різноманіття способів застосування озону у сільському господарстві, надається можливість розділення різних технологій озонування на два основні напрями. Перший, стимуляція рослин, наприклад обробка приміщень з рослинами, при цьому використовуються низькі концентрації озону. Другий, видалення шкідливих організмів або усунення шкідливих забруднень при дезінфекції тари, приміщень, знезараження води сільськогосподарських продуктів, в даному випадку величина концентрації озону досить висока щодо першого направлення.

Активному розвитку технологій з використанням озону функціонально сприяють його особливі властивості, пов'язані з екологічною чистотою технологічних процесів. Завдяки високій окислювальній здатності, озон може діяти на такі з'єднання, які не піддаються дії інших хімічних реагентів. Надмірний озон не спричиняє за собою ніяких небажаних явищ, він будучи нестійким, знову перетворюється на кисень протягом декількох хвилин. Озонування не створює додаткових або заміщуючих сполук, тоді як інші окисники створюють з деякими речовинами складні сполуки і утворюють канцерогенні речовини. Таким чином, застосування озону алотропічної модифікації кисню екологічно чистого окисника є дуже перспективним і потребує подальших досліджень.

### **1.3. Вплив вологості зерна на його електрофізичні властивості і результати обробки**

Широкому впровадженню електрофізичних методів обробки перешкоджає відсутність повторюваності, один і той же режим обробки в різні роки дає різні результати. Пояснюється це тим, що результат обробки залежить не лише від електричного режиму, але і від цілого ряду інших, не завжди врахованих факторів. Велике значення мають властивості самого зерна: вологість, температура, запиленість, форма зернин, щільність, хімічний склад та інші, які впливають на електропровідність зернової маси, а відповідно і результат обробки.

Тому дослідження електрофізичних властивостей зерна набуває в наш час особливої актуальності. Встановлення взаємозв'язку між біологічними та електрофізичними властивостями зерна дозволить розробити нові ефективні способи стимуляції в ньому процесів росту та знезараження від поверхневої мікрофлори.

Серед перелічених факторів найбільший вплив на електропровідність та діелектричну проникність зерна має саме його вологість [48]. Форми зв'язку води дуже різноманітні і до того ж зернові продукти представляють собою капілярно-пористі тіла по своїй структурі, а по природі – колоїди. Для цих тіл характерно, що стінки капілярів еластичні і при поглинанні води набухають, а при висушуванні дають усадку. Більшість цих матеріалів у сухому стані стають крихкими.

Із розглянутих властивостей капілярно-пористих колоїдних матеріалів випливає, що практично важко провести різку границю між окремими видами зв'язку води з твердим скелетом тіла зернівки. Зернові продукти представляють собою настільки складні системи як по природі так і по структурі, що в них існують різні види зв'язку води. На різних етапах обезводнення основну роль грає той чи інший вид зв'язку води. Різновид форм зв'язку води в зернових продуктах і їх неоднорідність викликає нелінійну залежність діелектричних властивостей від вологості [45].

При дослідженні впливу вологості зерна на результат електрофізичної обробки, з метою стимуляції, встановлено, що найбільший ефект спостерігається після обробки зерна, кондиційної вологості [63]. При обробці зерна вологістю 13,6 – 14,0% в електричному полі проходить його інтенсивна зарядка, сприяючи підсиленню поляризації. Поляризація приводить до зміни біопотенціалу клітини, що викликає її збудження, яке сприяє активізації процесів обміну речовин, не лише на початку періоду розвитку рослин, а й в наступних етапах онтогенезу [64].

Вологість зерна впливає на його діелектричну проникність і розподіл електричного поля [10]. Підвищення вологості зерна змінює не лише його фізичні властивості, але і прискорює ряд фізико-хімічних процесів: набухання зерна у вигляді розм'якшення колоїдів, гідролітичне розчеплення високомолекулярних речовин і дихання. Все це різко підвищує відносно

діелектричну проникність зерна. На її підвищення значно впливає вільна вода, а головне, присутність в її складі хімічних домішок [94].

Порівняння експериментальних даних, отриманих при роботі з зерновою масою, з даними, розрахованими за формулою, показали збіг лише в області малої вологості. Значне розходження спостерігається при вологості вище 13%, коли з її ростом різко підвищується коефіцієнт втрат. Таке розходження пояснюється зміною структури водяних включень, які при конкретній вологості перестають представляти собою окремі області і між ними починають утворюватися водні містки, що створюють наскрізну провідність. Виведення фізично обґрунтованих формул для харчових продуктів ускладнений, тому в деяких роботах приводяться емпіричні формули, що відображають залежність діелектричних властивостей від вологості [122].

Грачова Л. І. та інші співробітники "УСХА" дослідили частотні характеристики зернових матеріалів. З підвищенням частоти тангенс кута діелектричних втрат підвищується. Електрична неоднорідність структури компонентів, механічні переміщення між собою, наявність адсорбованої вологи на поверхні зерна, вплив частоти на всі види поляризації обумовлює втрати складних діелектриків. Чим вища вологість, тим більше значення тангенса кута втрат і діелектричної проникності [48].

Експериментальні дослідження щодо впливу вологості насінневої маси на питому електропровідність проводились на кафедрі "Електроприводу та електротехнологій" Національного університету біоресурсів і природокористування України [18, 23, 29].

Для дослідження використовували вісім партій ячменю сорту Скарлет, з різною вологістю:  $W_1=12,6\%$ ,  $W_2=14,6\%$ ,  $W_3=16\%$ ,  $W_4=17,8\%$ ,  $W_5=18,4\%$ ,  $W_6=19\%$ ,  $W_7=21\%$ ,  $W_8=24\%$ . Дослідження електропровідності насінневої маси проводили в трикратній повторюваності і однакової температурі  $19,4\text{ }^\circ\text{C}$  ячменю при відносній вологості повітря в лабораторному приміщенні  $74\%$ .

Результати експериментальних досліджень показали, що при вологості ячменю від  $12,6\%$  до  $18,4\%$  питома електропровідність зернової маси при збільшенні напруги прикладеної до електродів теж збільшується. При вологості ячменю  $19\%$  характеристика спочатку має падаючий характер, а потім зростаючий (має екстремум біля  $1\dots 1,4\text{ кВ/см}$ ). При вологості ячменю  $21\%$  і  $24\%$  отримані залежності мають спадаючий характер.

Тобто характер залежності питомої електропровідності від напруженості електричного поля має зростаючий характер при вологості ячменю меншій  $19\%$ , при вологості рівній  $19\%$  характер залежності має перехідний вид, і при вологості ячменю більше  $19\%$  залежність має спадаючий характер.

Таким чином для визначення ефективних режимів знезаражуючої обробки зернових в ЕПВНЗС необхідно враховувати властивості самої зернової маси.

#### 1.4. Електротехнологічні засоби для знезаражуючої обробки зерна при зберіганні

Аналіз вітчизняних та закордонних робіт з обробки зерна електрофізичними методами показав, що в останні десятиріччя різко збільшилася кількість дослідницьких і науково-практичних розробок з цієї тематики. Але необхідно відмітити, що проблема в цілому далека від свого рішення [68, 5, 132].

Компанією «Альфа захист агро» було розроблено обладнання для мікрохвильової для стимуляції та знезараження насіння – «Мікростім-2М» [101]. Зовнішній вигляд установки зображено на рисунку 1.2.



Рис. 1.2. Установка для обробки насіння мікрохвильовим полем

На думку авторів суть мікрохвильової технології обробки полягає у тому, що під дією мікрохвильового поля, що створюється спеціальними пристроями, відбувається дія на зерно на трьох рівнях: енергетичний, функціональний та інформаційний. Мікрохвильове поле пригнічує фітопатогенну мікрофлору насіння, що виключає необхідність їх протруювання. Середня продуктивність установки 1000-1500 кг/год. споживаючи при цьому 6 кВт електроенергії. Вартість установки становить 44 000 \$.

У Полтавській державній аграрній академії розроблено, виготовлено та впроваджено у виробництво апарат УВЧ-27-60 Полтава. Він призначений для обробки зернових ЕМП ультрависокочастотного поля з експозицією 1–99 хв. Показник питомої витрати електроенергії при обробці становить 6 кВт·год/т [1, 9].

Потапенко І. А. та інші дослідники розробили спосіб обробки зерна озоном та ряд установок для його здійснення в яких дія магнітного поля підсилюється озоном [6, 131, 132]. На рис. 1.3 представлена схема установки.

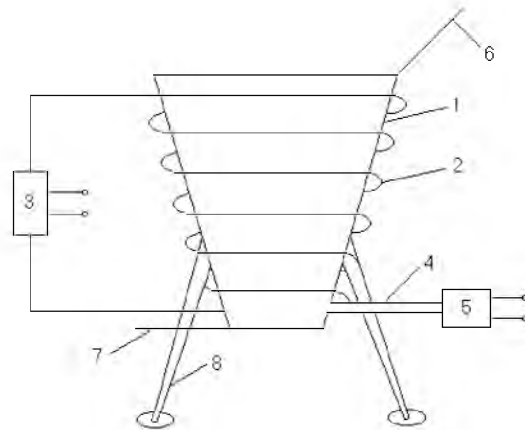


Рис. 1.3. Установа для обробки насіння: 1 – корпус; 2 – обмотка; 3 – джерело постійного струму; 4 – патрубок для подачі озону; 5 – озонатор; 6 – кришка; 7 – засувка; 8 – станина

У запропонованому пристрої корпус виготовлено у вигляді зрізаного конуса, до нижньої частини якого приєднано озонатор. Така форма корпусу забезпечує повільну зміну напруженості у центрі зрізаного корпусу від його мінімального до максимального значення (або навпаки). На думку авторів зерно, яке проходить через магнітне поле обробляється ефективною напруженістю поля. Крім того воно підлягає дії іонізованого повітря з великою концентрацією озону ( $O_3$ ), що знищує шкідливу мікрофлору. Знаходження зерна в іонізованому повітрі 4...10 хвилин практично повністю знезаражує його. Дослідники вказують, що порушення дозування знижує схожість насіння.

Працівниками Кубанського державного аграрного університету було розроблено пристрій для обробки зерна, де дія озону поєднується з імпульсним магнітним полем [118]. На рис. 1.4 представлена схема установки.

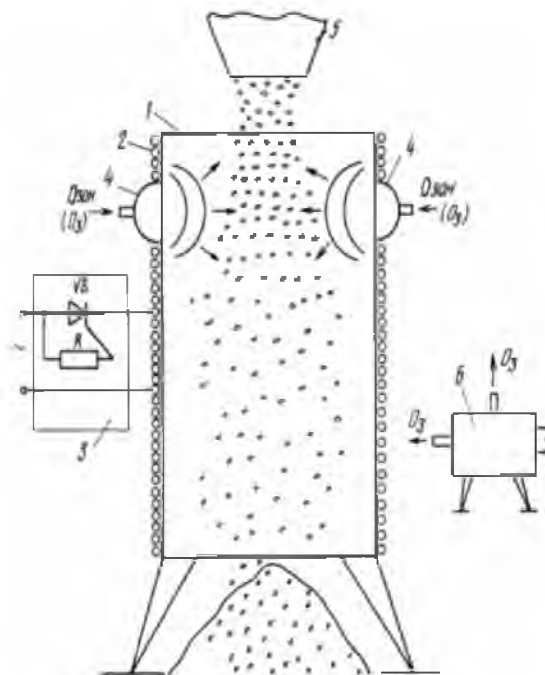


Рис. 1.4. Схема установки для обробки зерна

Установка складається з корпусу 1, виконаного з діамантнічного матеріалу, на якому розміщена обмотка 2, підключена до джерела імпульсного струму 3, у верхній частині корпусу розміщені дві ультразвукові статичні сирени 4, на яких під тиском 3...4 атм. подається озон від озонатора 6. Зерно в котушку в режимі вільного падіння поступає з бункера 5.

При включенні джерела імпульсного струму 3 і озонатора 6 в середині корпусу 1 створюються імпульсне електромагнітне поле і озонове середовище, при цьому озон під тиском 3...4 атм. виходить із статичних сирен 4 при частоті коливань від декількох кГц. до десятків кГц. залежно від конкретної культури. Потім відкривається бункер 5, і зерно у вільному падінні проходить через внутрішній простір, піддавшись дії імпульсного електромагнітного поля і озону.

Обробка в змінному магнітному полі в порівнянні з обробкою, що широко практикується, в постійному електромагнітному полі, дозволяє принаймні в три рази понизити енерговитрати на обробку, що істотно скорочує витрати на виконання даного процесу.

У запропонованій установці час, протягом якого зернина перебуває під дією засобів впливу складає близько однієї секунди. За різними літературними даними, що наведені у розділі 1.2 цієї роботи, необхідно близько 2 хв. для знешкодження шкідливої мікрофлори, навіть при досить високих концентраціях. Тобто після такої обробки життєздатними залишається велика кількість грибів, що в подальшому негативно вплинуть на врожайність.

Оськін С. В. та інші разом з відділом селекції Кубанського "НИИ" [116] розробили установку (рис. 1.5) для обробки насіння кукурудзи. Його обробляли озono-повітряною сумішшю з концентрацією озону 20...30 мг/м<sup>3</sup> в ємності, яка обертається з частотою 120...150 хв<sup>-1</sup>. Подача суміші виконується за допомогою нагнітального пристрою продуктивністю 30 г/м<sup>3</sup>, час обробки змінюється в залежності від сорту і стану насіння. Продуктивність установки за одну зміну 3 т.

Авторами встановлено, що ефективність дії озонової обробки з відлежуванням зберігається до висіву не менше ніж 1,5 місяці. Найбільша схожість була після 20 днів відлежування.

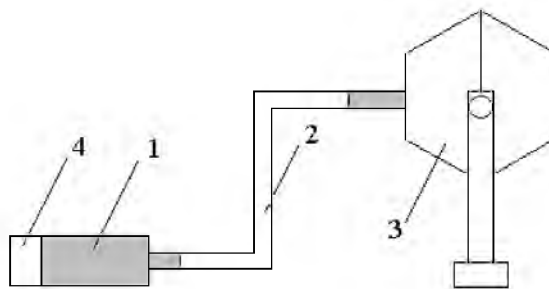


Рис. 1.5. Схема установки для обробки насіння: 1 – генератор озону; 2 – гнучкий з'єднувальний патрубок; 3 – ємність; 4 – нагнітальний пристрій

Линьков Ф. С. та ін. розробили озono-повітряну установку ОВУ-1 [92] призначену для підвищення строку зберігання сільськогосподарської продукції в сховищах (рис. 1.6). Атмосферне повітря, що поступає в повітроприймач 1, пропускається через фільтр тонкої очистки 2 типу ФВК або ФТНС. Вентилятором 3 через вхідний вентиль 5 воно подається через трубопровід, на кінці якого встановлено запобіжний клапан 4, в охолоджуючі сушки 6. Охолоджене і частково осушене повітря поступає в блок, який складається з адсорбційних сушників 13, пройшовши через них і трубопровід 7 поступає в генератор озону 8 – озонатор.

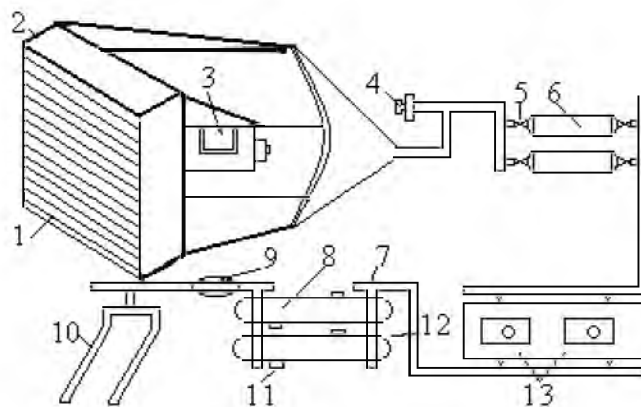


Рис. 1.6. Схема озono-повітряної установки ОВУ-1: 1 – повітроприймач; 2 – фільтр; 3 – нагнітальний пристрій (вентилятор); 4 – клапан; 5 – вентиль; 6 – сушник; 7 – трубопровід; 8 – генератор озону; 9 – ежектор; 10 – розпилювач; 11,12 – штуцери; 13 – адсорбційний сушник

Концентрація озону в повітрі може коливатись від 4 до 20 г/м<sup>3</sup> в залежності від потужності озонатора.

Інститутом рослинництва ім. В. Я. Юр'єва УААН у співпраці з декількома сільськогосподарськими підприємствами Харківської області розроблено технічний комплекс для обробки насіння сільськогосподарських культур озonom [128]. Типова схема установки представлена на рис. 1.7.

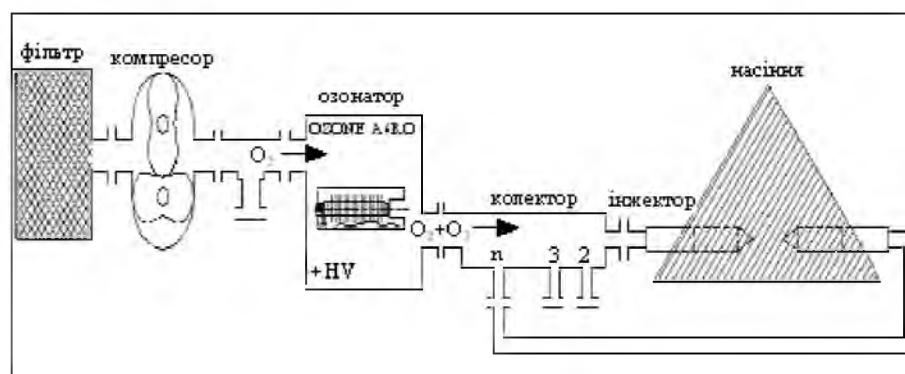


Рис. 1.7. Схема технічного комплексу для обробки зерна озonom

До складу технічного комплексу для обробки зерна озono-повітряною сумішшю входить наступне обладнання:

- повітряний компресор (типу 12ВФ1,7/1,5 виробництва Мелітопольського компресорного заводу) з повітряним фільтром;
- озонаторна установка типу "OZONE-AGRO 50" з продуктивністю 50 г/год і споживаною потужністю 1300 Вт, вага 45 кг (рис. 1.8);
- колектор розподілу озono-повітряної суміші;
- пластикові озоностійкі шланги;
- інжектори вводу озono-повітряної суміші у насіння.



Рис. 1.8. Озонаторна установка "OZONE-AGRO"

Обробка зерна здійснюється у буртах, коморах, бункерах. При використанні однієї озонаторної установки "OZONE-AGRO" маса зерна у бурті (коморі, бункері) не повинна перевищувати 30 т.

До початку обробки підключають озонаторну установку та готують бурти із зерном визначеної ваги, мінімальною площею 80x150 см. Для більш раціонального використання озону бурти щільно вкривають полімерною плівкою. Інжектори подачі озono-повітряної суміші встановлюють у товщу зерна на відстані 510 см від підлоги через 80-100 см один від одного.

Після вмикання установки та встановлення необхідного режиму установка працює на протязі 40-60 хв., після чого інжектори перестають працювати таким чином, щоб обробити весь об'єм.

До обробки запропонованим способом допускається зерно кондиційної вологості, у якому за даними актів апробації сортових посівів та фітоекспертизи насіння відсутні збудники сажкових хвороб.

В ЗАТ "Московські озонатори" було розроблено мобільний озонний комплекс, який призначений для знезараження зерна й приміщень зернопереробних підприємств. Озонний комплекс змонтований на шасі автомобіля КАМАЗ - 4308 (рис. 1.9) і складається з чотирьох технологічних відсіків.



Рис. 1.9. Зовнішній вигляд озонного комплексу

Зовнішній відсік, в якому розміщені: фільтр і вентилятор, зовнішній блок холодильної машини, система охолодження генератора озону і зовнішній блок спліт – системи кондиціонера. Наступний відсік – киснева станція (рис. 1.10), що складається з дев'яти концентраторів кисню. Відсік відгороджений прозорою перегородкою, що розсувається.



Рис. 1.10. Зовнішній вигляд кисневої станції

Озонатор з системою охолодження, комп'ютерна система контролю і управління з місцем оператора (рис. 1.11) розташовані в третьому відсіку, відгородженому з двох сторін прозорими перегородками, що розсуваються.



Рис. 1.11. Зовнішній вигляд озонаторної установка та місця оператора

У четвертому відсіку розташовуються елементи технологічної лінії, пристрій подачі озono-повітряної суміші до оброблюваного об'єкту (рис. 1.12 – показано в підключеному до силосу елеватора положенні).



Рис. 1.12. Зовнішній вигляд технологічної лінії

Досвід експлуатації мобільного озонного комплексу при знезараженні зерна в силосах елеваторів і буртах, передпосівна обробка насіння і обробка мукомельних комбінатів, хлібозаводів і заводів круп'яних виробів показав високу ефективність використання.

У наш час розроблені або випускаються озонатори у великій різноманітності [54, 55, 93, 112, 115, 111, 144, 145]. Серед них є переносні, пересувні і стаціонарні. Дуже широкий діапазон технічних характеристик: продуктивність для озону від 0,1 до 12 кг/год.; концентрація озону на виході від 0,001 до 40 г/м<sup>3</sup>; споживана потужність від 0,02 до 240 кВт; маса від декількох кг до декількох тон. Різні вони і за питомими енерговитратами – від 3 до 700 кВт·год/кг озону.

Сучасні озонатори, які використовуються в агропромисловому комплексі, не знайшли широкого застосування тому, що мають низький ККД. Пояснити низький ККД озонаторів можна розглянувши процеси, що проходять в розрядному пристрої. При подачі високої напруженості на електроди розрядного пристрою виникає електричне поле. Різниця напруженості поля між електродами і розрядним проміжком свідчать про втрату потужності в діелектрику ( $\Delta P_{\delta}$ ). Під дією електричного поля високої напруженості порушуються електронні зв'язки і заряджені частинки бомбардують молекули, що знаходяться в розрядному проміжку, на що витрачається енергія, що характеризується потужністю ( $P_{\text{іон}}$ ). Лише в окремих випадках частинки здійснюють корисну роботу, коли потрапляють в молекули кисню і викликають їх дисоціацію, на що витрачається енергія, яка характеризується потужністю  $P_{\text{O}_2}$ , також існують втрати на дифузію ( $\Delta P_{\text{диф}}$ ) і окислення інших речовин ( $\Delta P_{\text{ок}}$ ). Атомарний кисень швидко вступає в реакцію з молекулярним, утворюючи озон. Затрати потужності на його утворення ( $P_{\text{O}_3}$ ). Озон, що утворився, ще деякий час перебуває в розрядній камері і розпадається на молекулярний та атомарний кисень, вступаючи в реакцію з різними сполуками. Ці втрати можна представляти як деструкцію ( $\Delta P_{\delta}$ ). Таким чином корисною вважається

потужність на утворення озону, що виходить з розрядного пристрою ( $P_{Oзвих}$ ). Тобто ККД озонатора:

$$\eta_{os} = \frac{P_{Oзвих}}{\Delta P_{дж} + \Delta P_{к} + \Delta P_{дб} + \Delta P_{диф} + \Delta P_{ок} + \Delta P_{д} + P_{Oзвих}}, \quad (1.1)$$

де:  $\Delta P_{дж}$  – втрати потужності в джерелі;

$\Delta P_{к}$  – втрати потужності в підвищувальному трансформаторі.

Оскільки корисною приймається робота з дисоціації кисню для утворення озону, який фіксується на виході із розрядного пристрою, то він не перевищує 2...3 % [110]. Крім того такі способи обробки не забезпечують рівномірності контакту озону з продукцією, що обробляється. Дифузія озону через шар сипучого матеріалу дуже мала і при прокачуванні 1л озонно-повітряної суміші з концентрацією озону 400 мг/м<sup>3</sup> через шар комбікорму завтовшки 10 мм площею близько 1 дм<sup>2</sup>, концентрація озону знизиться в 10000 разів, до концентрації цілком безпечною для всього живого. У результаті, такі установки мають низьку ефективність.

Зростаючі потреби в альтернативних засобах знезараження зернових сприяють розвитку цих технологій і обумовлюють необхідність розробки технічних систем для виробництва й застосування озону. У зв'язку з цим проблема розробки таких систем є актуальною.

Серед нових альтернативних досліджень в цьому напрямі, вирізняються роботи по передпосівній обробці насінневого матеріалу в електричному полі високої напруженості постійного струму, що проведені на кафедрі електроприводу та електротехнологій Національного університету біоресурсів і природокористування України. О.М. Берекою розроблена установка, яка відрізняється від відомих тим, що озон виробляється безпосередньо в камері обробки і не потребує додаткового обладнання. Зовнішній вигляд установки зображено на рис.1.13.



Рис. 1.13. Зовнішній вигляд установки для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур в електричному полі високої напруженості

Передпосівна обробка насіннєвого матеріалу, запропонованим способом, дозволяє на 50% зменшити використання хімічних препаратів і підвищити врожайність, але струм провідності, що проходить через зернову масу і є вагомим стимулюючим фактором, є небажаним для знезаражуючої обробки зернової маси при зберіганні. Тому існує потреба додаткового дослідження та удосконалення даного способу обробки при знезаражуючій обробці зернових.

### 1.5. Сучасні методи отримання озону

Існує декілька способів отримання озону, серед яких найбільш поширеними є: електролітичний, фотохімічний і електросинтез в плазмі газового розряду.

Електролітичний метод синтезу озону здійснюється в спеціальних електролітичних осередках. Як електроліти використовуються розчини різних кислот і їх солі. Утворення озону відбувається за рахунок розкладання води і утворення атомарного кисню, який приєднуючись до молекули кисню утворює озон і молекулу водню. Цей метод дозволяє отримати концентрований озон, проте він вельми енергоємний, і тому він не знайшов широкого розповсюдження.

Фотохімічний метод отримання озону являє собою найбільш поширений в природі спосіб. Утворення озону відбувається при дисоціації молекули кисню під дією короткохвильового УФ випромінювання. Цей метод не дозволяє отримувати озон високої концентрації. Прилади, засновані на цьому методі, набули поширення для лабораторних цілей, в медицині і харчовій промисловості.

Електросинтез озону набув найбільшого поширення. Цей метод поєднує в собі можливість отримання озону високих концентрацій з великою продуктивністю і відносно невисокими енерговитратами. На сьогоднішній день для електросинтезу озону найбільшого поширення набули бар'єрний, поверхневий та імпульсний розряди.

Дещо окремим напрямом є можливість утворення озону під дією часткових розрядів, які виникають в повітряних або газових включеннях, що неминуче утворюються в процесі виготовлення або експлуатації твердих діелектриків. Оскільки діелектрична провідність газу у включенні в декілька разів менша, чим в діелектрика, що його оточує, то з прикладенням напруги напруженість поля у включенні може значно перевищити середню напруженість поля в діелектрику і призвести до виникнення часткового розряду. Під дією часткового розряду проходять хімічні реакції утворення активних продуктів (озону, окисів азоту), які негативно впливають на ізоляцію та струмоведучі частини [62].

У дослідженнях проведених О.М. Берекою на кафедрі електроприводу та електротехнологій Національного університету біоресурсів і природокористування України виявлено, що в повітряних включеннях зернової маси, що знаходиться в електричному полі високої напруженості також

виникають часткові розряди під дією яких проходять хімічні реакції утворення озону. Наукові дослідження в цьому напрямі ведуться з 2001 р. [21, 28, 34].

Механізм виникнення та проходження часткових розрядів у насіннєвій масі має значно складніший характер у порівнянні з твердими діелектриками. Це пов'язано, в першу чергу, з великою кількістю повітряних включень та розбіжністю у їх розмірах, а також зміною фізичних характеристик зернової маси (вологості, температури).

У результаті проведених досліджень було розроблено еквівалентну електричну схему насіннєвої маси (рис. 1.14), на основі якої було пояснено процеси, що протікають в ній під дією електричного поля високої напруженості постійного струму.

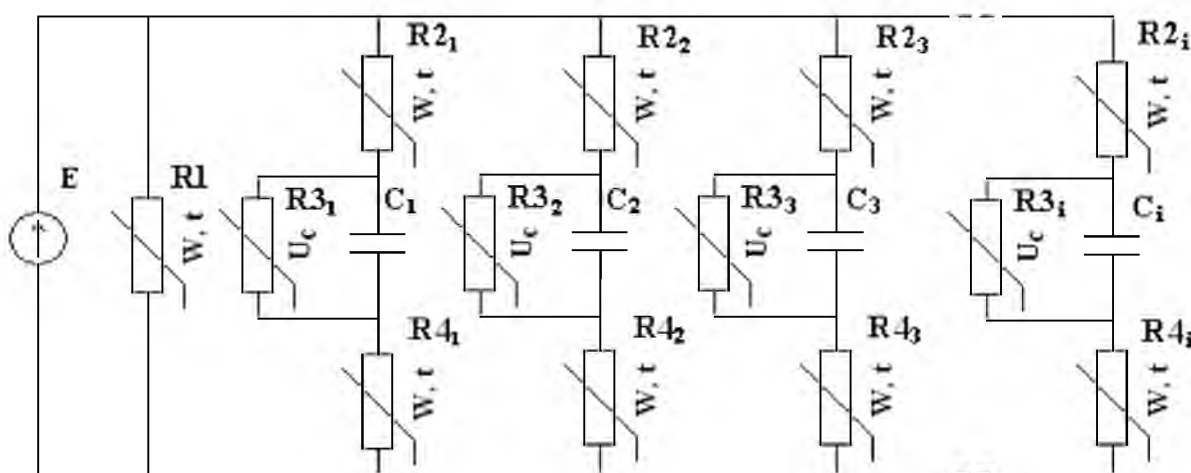


Рис. 1.14. Еквівалентна електрична схема насіннєвої маси:  $R1$  – опір насіння, яке розташоване між електродами;  $R3_i, C_i$  – опір і ємність повітряного включення;  $R2_i, R4_i$  – опори частини насіння, яке розташовано послідовно з повітряним включенням

Саме насіння при постійній нарузі має відповідний опір, який суттєво залежить від вологості насіння ( $W$ ) і температури ( $t$ ) та визначає струм провідності. Повітряні включення й насіння утворюють ланцюги з опорів і ємностей. На схемі  $R1$  – опір насіння, розташованого між електродами,  $R3_i, C_i$  – опір і ємність повітряного включення,  $R2_i$  і  $R4_i$  – опори частини насіння, яке розташовано послідовно з повітряним включенням.

Опір  $R1$  визначає величину струму провідності ( $I_n$ ). Опір повітряного включення є нелінійним. Він залежить від напруженості на ньому ( $U_c$ ) і суттєво змінюється при іонізаційних процесах. Коли напруга на повітряному проміжку менша за пробивну напругу, то опір його значно більший ніж опір насіння  $R3 \gg R1$ . Таким чином насіннєву масу можна представити, як велику кількість ланцюгів із  $R2_i, C_i$  і  $R4_i$ .

При підведенні напруги до пластинчатих електродів, між якими знаходиться шар насіння, на протязі деякого часу буде відбуватися зарядка ємності  $C_i$ . При збільшенні напруженості до відповідного значення виникає

частковий розряд цієї ємності. Час розряду буде дуже короткий (близько  $10^{-8}$  с), потім розряд згасає. Під дією часткового розряду частина кисню  $O_2$  переходить в його видозмінну форму – озон  $O_3$ . Інтенсивність часткових розрядів у насінневі масі буде залежати не тільки від напруженості електричного поля, а і від виду сільськогосподарської культури та її характеристик.

У загальному об'ємі зернової маси, яка розташована між плоскими паралельними електродами, часткові розряди будуть відбуватися наступним чином. При прикладенні до електродів відповідної високої напруги відбувається частковий розряд у повітряних включеннях, де нерівномірність розподілу напруженості електричного поля найбільша. Із збільшенням прикладеної напруги часткові розряди виникають у все більшій кількості повітряних включень, причому величина імпульсу часткового розряду у наступних буде більша ніж у попередніх. Крім того буде підвищуватися їх інтенсивність у включеннях де вони почалися при менших напругах.

Цей напрям є досить перспективним оскільки відповідає потреба у використанні додаткового обладнання для виробництва та подачі озону.

## Проблемні висновки

Підводячи підсумок даного розділу можна зробити наступні обґрунтування щодо підвищення ефективності знезаражуючої обробки зернових:

1. Способи обробки зернових з метою їх знезараження вирізняються широкою різноманітністю, але хімічні методи все ще переважають над іншими. У свою чергу сучасні електрофізичні методи обробки не набули широкого застосування, внаслідок чого постала потреба в удосконаленні та розробці нових способів знезараження зернових відповідно до вимог, що потребують нові технології виробництва та екологічну безпеку.

2. Аналізуючи проблеми, пов'язані з електрофізичними методами знезараження зернових з метою зменшення їх втрат при зберіганні та поліпшення посівних якостей, були досліджені способи знезараження за допомогою озону. Виходячи з літературного аналізу спосіб знезараження озоном не набув широкого застосування у сільському господарстві. Це пов'язано з подачею озону до продукції від окремого генератора за допомогою системи вентилявання, що обумовлює, збільшення вартості, габаритів та ваги пристроїв і не спроможність рівномірно обробляти продукцію. Отже, не досягається в повною мірою мета обробки, що обумовлює необхідність розробки ефективного способу знезараження зернових озоном та комплексу обладнання для його здійснення.

3. На тепер розроблені теоретичні положення та режимні параметри для передпосівної обробки зернової маси в електричному полі високої напруженості постійного струму. Але збільшення концентрації озону можливе при використанні електричного поля змінного струму. Тому існує необхідність проведення досліджень електрофізичних процесів у зерновій масі під дією електричного поля змінного струму, що дасть змогу підвищити ефективність знезаражуючої обробки зернових.

4. Аналіз існуючих технічних засобів для знезаражуючої обробки зернових свідчить, що існує потреба у розробці енергоощадного екологічно чистого способу обробки, який би забезпечував ефективне знезараження шкідливої мікрофлори на поверхні зерна. Крім того, необхідно розробити комплекс обладнання для реалізації способу.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗНЕЗАРАЖУЮЧОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ЗМІННОГО СТРУМУ

### 2.1. Електричні розряди в повітрі

Одним з основних агротехнологічних заходів у виробництві зернових культур є знезаражуюча обробка. Відомо багато способів такої обробки, але як зазначено у першому розділі цієї роботи, останнім часом все більше уваги приділяється новим електротехнологічним методам серед яких перспективним напрямом є застосування електричного поля високої напруженості змінного струму. Тому у підрозділах цього розділу розглянемо процеси, які відбуваються у зерновій масі під впливом електричного поля високої напруженості змінного струму.

Зернова маса являє собою суміш зерна з повітрям, при умовах природної засипки зернової суміші частина заповнення об'єму зерном має значення 50-70% інша частина повітря [161]. Тож розглянемо спочатку процеси утворення та проходження розрядів у повітрі під дією ЕПВНЗС.

Виникнення електричних розрядів у повітрі можливе за наявності в ньому певної кількості заряджених частинок, що обумовлюють значення його електропровідності. За звичайних умов в  $1 \text{ м}^3$  атмосферного повітря число заряджених частинок (іонів газів або твердих домішок, які знаходяться у зваженому стані) не перевищує  $10^{13}$ , що недостатньо для виникнення розряду. Збільшення кількості заряджених частинок можливе завдяки іонізації молекул повітря.

Якщо у слабких електричних полях іонізація молекул можлива лише завдяки зовнішньому впливу, то в сильних виникають нові явища, пов'язані з іонізаційними процесами [146, 147]. На рис. 2.1 представлено залежність густини струму у повітрі при підвищенні напруженості електричного поля (рис 2.1).

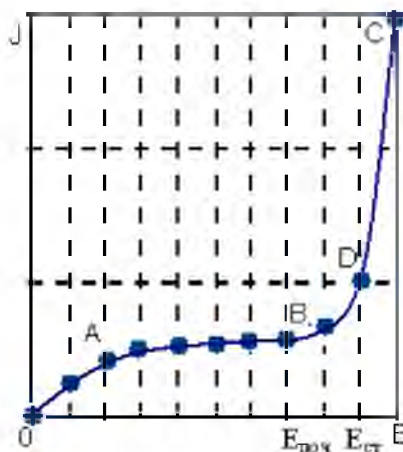


Рис. 2.1. Залежність густини струму у повітрі від напруженості електричного поля (схематично)

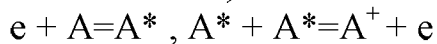
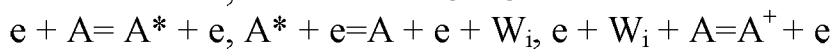
Перша ділянка (0А на рис. 2.1) – лінійна залежність. Густина струму у повітрі, при малих значеннях зовнішнього електричного поля, прямо пропорційна напруженості прикладеного поля. Фізичний процес на цій ділянці проходить згідно закону Ома.

Друга ділянка – ділянка насичення (АВ на рис. 2.1). Буде виникати струм насичення, а його густина дуже мала і він не зростає з підвищенням напруженості поля. Для повітря й очищених газів  $J_{нас}$  не перевищує  $10^{-16} \dots 10^{-14}$  А/м<sup>2</sup> [145]. При такій напруженості поля закон Ома уже не діє.

Третя ділянка (ВС на рис. 2.1.) – експоненціальний ріст, крива залежності  $J$  від  $E$  різко зростає. В цій області різко зростають діелектричні втрати. Причина полягає в появі заряджених частинок в проміжку за рахунок нового механізму – ударної іонізації. Підвищується кількість електронів і іонів у проміжку за рахунок зіткнення електронів з підвищеною енергією з нейтральними молекулами. При цьому у кожному акті іонізації затрачається енергія іонізації  $W$ . Характерні значення енергії іонізації залежать від типу молекули і становить 12,5 еВ (для кисню).

Коли кінетична енергія електрона  $mV^2/2 > W$  енергії іонізації, іонізація відбувається по схемі  $e+A = A^+ + e + e$ , де А молекула або атом газу.

Якщо ж кінетична енергія електрона  $W > mV^2/2 > W_{зб}$ , то можливі наступні схеми:



де А – молекула або атом газу;

$A^*$  – молекула в збудженому стані;

$W_i$  – енергія іонізації.

За нормальних умов початок розвитку ударної іонізації відбувається близько 10 кВ/см [146].

Внаслідок ударної іонізації у повітряних включеннях виникає самостійний розряд, що призводить до розділення зарядів, носіями яких є електрони та позитивні і негативні іони. Під дією електричного поля заряди рухаються у протилежних напрямках і осідають на поверхні зернин. Електричне поле заряду протилежне за напрямом зовнішньому полю, і сумарна напруженість недостатня для розвитку наступних розрядів. Тривалість цього процесу (одного часткового розряду), викликаного одиничним початковим електроном, лежить у межах наносекундного діапазону.

У результаті осідання заряду на поверхні зернин знижується напруженість поля для компенсації якої напруга на електродах повинна бути збільшена. Якщо після часткового розряду зміни напруги немає, то проміжок стає замкнутим до того моменту, поки заряд, що осів, не знизить своєї величини за рахунок провідності зернин. При змінній напрузі із-за зміни полярності зовнішнього поля сумарне поле посилюватиметься полем заряду, що осів, і

наступний розряд виникне при меншому значенні прикладеної напруги. На рис. 2.2 відображений процес розвитку розряду при змінній напрузі.

Змінна напруга  $U$  прикладена до електродів. На повітряне включення діє частина цієї напруги  $U_n$ , яка за відсутності розряду також мала б вид синусоїди, що зображена штриховою лінією. Але досягнувши початкової напруги відбувається розряд, і напруга у повітряному включенні знижується на деяку величину. Це зниження компенсується подальшим зростанням прикладеної напруги.

Процес повторюється до тих пір, поки напруга  $U$  не перейде через максимум.

У наступні півперіоди розряд починатиметься при нижчих значеннях напруги, і характер зміни напруги у повітряному проміжку відображає крива  $U_1$ .

Після того, як на поверхні зернин з'явився заряд, не можна вважати, що розвиток наступних розрядів відбувається в однорідному полі. Як показали дослідження, заряд осідає на поверхні компактно, займаючи області, розміри яких лежать в міліметровому діапазоні.

Напруженість поля в середині і на краю такої області різні і за величиною, і за напрямом, а щільність заряду в ній за умов, близьких до нормальних складає величину порядку  $10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup>.

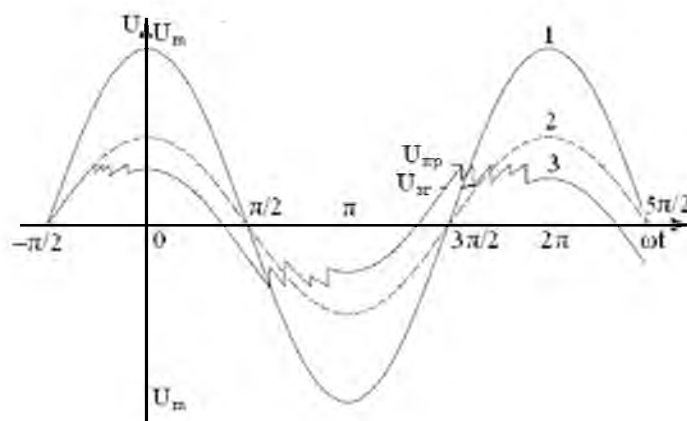


Рис.2.2. Графік зміни напруги (крива 3) на повітряному включенні з часом у результаті виникнення розрядів ( крива 1 відповідає  $U_m \cos \omega t$ , а крива 2 –  $U_m \cos \omega t$  з врахуванням ємностей повітряного включення і діелектрика)

Розвиток розряду відбуватиметься вздовж поверхні твердого діелектрика. При цьому твердий діелектрик протягом деякої частини періоду гратиме роль своєрідного електростатичного генератора, а характеристики розряду залежатимуть в основному від таких параметрів діелектрика, як питомі подовжня і поперечна ємності, провідність, теплопровідність. Ця стадія розряду займає (за сумарним часом) порядку 10% від загальної тривалості періоду прикладної напруги. Якщо твердий діелектрик, що обмежує розрядний струм покриває лише один електрод, а другий електрод твердим діелектриком не покритий, то на ньому не осідає заряд і не утворюється така область.

Водночас у розрядному проміжку розвивається велика кількість розрядів [142]. За даними різних авторів – до десяти мікророзрядів на одному квадратному сантиметрі поверхні. Це ускладнює загальну картину, але не змінює її в принципі.

Наприклад, наявність сусідніх із зоною заряду, інших таких же зон видозмінює характер вторинних розрядів.

У процесі проходження ударної іонізації проходять електрохімічні реакції результатом яких є утворення озону та його розпад. Процес утворення озону складається з декількох етапів, хоча в загальному випадку число реакцій зв'язаних з утворенням озону і його розпадом, перевищує 70. Крім того утворюються оксиди азоту, які є природним каталізатором реакцій по утворенню озону.

## 2.2. Розрахунок повного струму, що проходить через зернову масу під впливом змінного електричного поля високої напруженості

У зерновій масі, що знаходиться в електричному полі високої напруженості змінного струму відбуваються електророзрядні процеси, для пояснення яких було розроблено електричну схему заміщення (рис. 2.3).

Кожний  $i$ -ий елемент зернової маси (зерно, повітря) має свій опір і ємність. Причому опір самого зерна може суттєво змінюватись в залежності від його вологості  $W$  та температури  $t$  [12, 29]. Значення струму, що проходить через зернову масу, залежить від напруги на високовольтних електродах, суми опорів діелектричних пластин, що відділяють зернову масу, від високовольтних електродів та опору самого зерна.

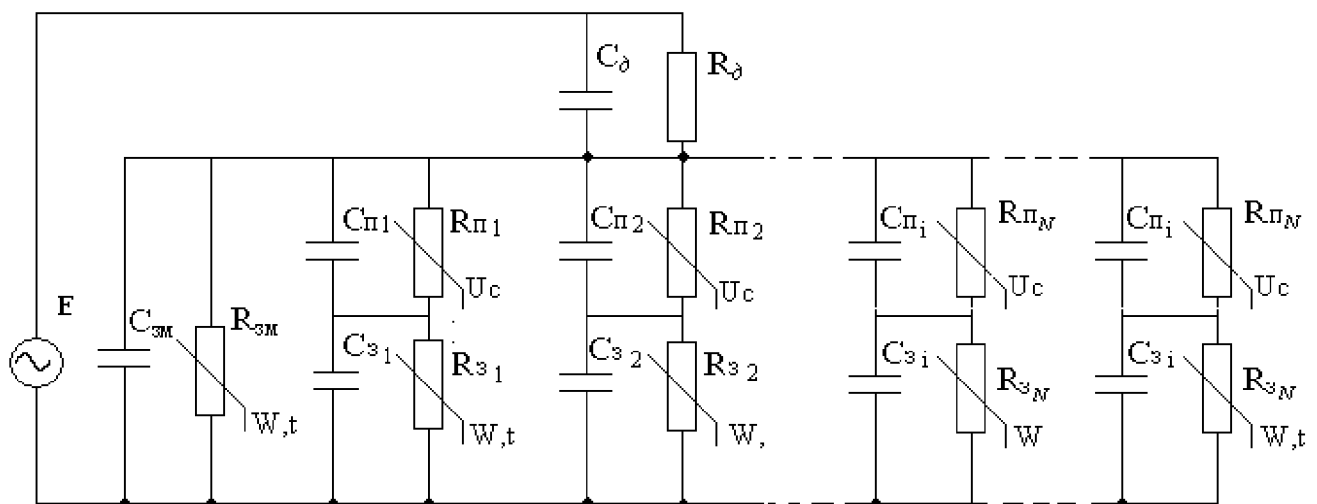


Рис. 2.3. Електрична схема заміщення зернової маси, що знаходиться в електричному полі високої напруженості:  $R_{зм}, C_{зм}$  – опір та ємність зернової маси;  $C_{\delta}, R_{\delta}$  – ємності та опори діелектричних пластин;  $C_{зи}, R_{зи}$  – ємності і опори зернин, які розташовані послідовно з повітряним включенням;  $C_{ni}, R_{ni}$  – ємність і опір повітряного включення, де  $i=1, 2 \dots N$ ,  $N$  – кількість паралельних ланцюгів

Опір повітряного міжзернового проміжку змінюється в залежності від напруги  $U_n$  на ньому. При невеликих значеннях напруги  $U_n < U_{np}$ , де  $U_{np}$  – пробивне значення напруги, опір повітряного включення значно більший ніж опір зерна, що його оточує. Коли величина напруги на повітряному включенні  $U_n$  становить пробивне значення  $U_{np}$ , виникає розряд і в повітряному включенні утворюються іони.

На еквівалентній електричній схемі зернова маса представлена як велика кількість віток, що складаються з опорів і ємностей діелектричних пластин, зерна та повітряних включень.

Розглянемо розрядні процеси на прикладі однієї вітки.

При підключенні до електродів змінної напруги на першому півперіоді ємність повітряного включення  $C_{ni}$  буде поступово заряджатися і при досягненні напруги певного пробивного значення  $U_{npi}$  виникне частковий розряд [8, 70].

Розряд, що виник в повітряному включенні, призводить до утворення вільних зарядів (іонів та електронів). Під дією електричного поля заряджені частинки позитивного і негативного знаку рухаються в протилежних напрямках до країв повітряного включення і адсорбуючись на поверхні зернин, що оточують повітряне включення, створюють шар зарядів. Ці заряди створюють електричне поле, силові лінії якого направлені протилежно до основного, що зменшує результуюче поле у включенні.

При розряді напруга на  $i$ -му включенні падає не до нуля, а до  $U_{n.zi}$  (напруга загасання розряду). Значення  $U_{n.zi}$  звичайно не на багато менша напруги розряду  $U_{n.zi} = (0,7-0,9)U_{n.npi}$  [8, 90].

Після загасання розряду напруга на включенні починає зростати по закону, що відповідає зміні прикладеної напруги, зміщеної на значення постійної складової, яка виникла в наслідок появи зарядів на поверхні включення. Коли напруга на ємності  $C_{ni}$  досягає  $U_{n.npi}$  процес повторюється.

Таким чином розряди у повітряному включенні повторюються через проміжки часу, що відповідають зміні напруги на включенні  $C_{ni}$  на значення  $U_{n.npi} - U_{n.zi}$ , але адсорбовані на поверхні заряди, що залишились від попереднього періоду, спотворюють поле на включенні і сприяють виникненню розрядів вже при дещо інших значеннях  $U_{n.npi}$  та  $U_{n.zi}$ . Це пояснюється тим, що час релаксації зарядів у зерновій масі значно перевищує час тривалості півперіоду напруги. При зростанні часу релаксації частота проходження зарядів значно зменшується.

Часткові розряди зникають коли значення напруги досягає максимуму і знову виникають після зміни напруги на електродах на значення  $\Delta U$ , що відповідає зміні напруги на  $i$ -му включенні  $\Delta U_{ni} = U_{n.npi} - U_{n.zi}$ , причому  $\Delta U$  і  $\Delta U_{ni}$  зв'язані співвідношенням [90]:

$$\Delta U = \frac{C_{\delta} + C_{zi} + C_{ni}}{C_{\delta} + C_{zi}} \cdot \Delta U_{ni}, \quad i=1, 2 \dots N. \quad (2.1)$$

Якщо напруга, що подається на електроди змінюється за виразом  $U=U_m \sin \omega t$ , то напруга на включенні  $U_{mi}$  дорівнює:

$$U_{mi} = U_m \frac{C_\delta + C_{zi}}{C_\delta + C_{zi} + C_{mi}}, \quad i=1, 2 \dots N. \quad (2.2)$$

Тоді число часткових розрядів  $m$  в  $i$ -му включенні за один півперіод дорівнює:

$$m_i = \frac{2 \left( \frac{C_\delta + C_{zi}}{C_\delta + C_{zi} + C_{mi}} U_m - U_{zci} \right)}{U_{npi} - U_{zci}}, \quad i=1, 2 \dots N, \quad (2.3)$$

де  $U_{npi}$  і  $U_{zci}$  – напруга на електродах при виникненні розряду та загасанні розряду у  $i$ -му повітряному включенні зернової маси, кВ.

Для розрахунку пробивної напруги повітряного проміжку між зернинами, які вважаємо неідеальними діелектриками, можна застосувати імперично встановлені формули [61]. Ця напруга залежить від форми, розмірів зернин та відстані між ними, а також відносної густини повітря. Наприклад, для сферичних зернин амплітудне значення пробивної напруги дорівнює:

$$U_{npi} = \frac{E_0 L}{z},$$

де  $E_0$  – максимальна напруженість електричного поля, при якій починається розряд, кВ/см;  $L$  – відстань між зернинами, см;  $z$  – геометричний коефіцієнт, що враховує зниження розрядної напруги із-за неоднорідності поля.

Максимальна напруженість електричного поля, при якій починається розряд,  $E_0$  можна розрахувати за формулою:

$$E_0 = 27,2\delta \left( 1 + \frac{0,54}{\sqrt{r\delta}} \right),$$

де  $r$  – кривизна поверхонь зернин, см;  $\delta$  – відносна густина повітря, яка залежить від тиску та температури повітря  $\delta = 0,385 \frac{P}{T}$  і за нормальних умов дорівнює 1.

Коефіцієнт  $z$ , що враховує неоднорідність поля, визначається в залежності від відстані між електродами та кривизни їх поверхні:

$$z = \frac{1}{4} \left[ \frac{L}{r} + 1 + \sqrt{\left( \frac{L}{r} + 1 \right)^2 + 8} \right].$$

Кількості часткових розрядів  $n_{чpi}$ , у  $i$ -му повітряному включенні за 1с. визначається за виразом [90]:

$$n_{чpi} = 2fm_i, \quad (2.4)$$

де  $f$  – частота мережі;  $m_i$  – число часткових зарядів в  $i$ -му повітряному включенні за один період.

Пробій повітряного включення у зерновій масі завжди буде супроводжуватись нейтралізацією певної кількості зарядів  $U_{н.пpi}C_{ni}$ . При розряді у повітряних включеннях підвищується загальна ємність зернової маси, в результаті чого напруга на електродах зменшується і для її відновлення необхідний додатковий заряд  $\Delta Q_i$ . Для одиничного розряду:

$$\Delta Q_i = U_{пpi} (C_\delta + C_{zi}). \quad (2.5)$$

Враховуючи, що значення зарядів і частота їх проходження не постійні, а змінюються в деяких проміжках, для оцінки їх інтенсивності можна скористатися інтегральним параметром – середнім розрядним струмом, який буде визначатися зарядом, що нейтралізується в повітряному включенні за 1 секунду:

$$I_{сpi} = n_{чpi} \cdot \Delta Q_i. \quad (2.6)$$

Враховуючі співвідношення (2.3), (2.4) та (2.6), розрядний струм для будь-якого  $i$ -ого ланцюга зернової маси буде визначатися наступним чином:

$$I_{сpi} = 2f \frac{2 \left( \frac{C_\delta + C_{zi}}{C_\delta + C_{zi} + C_{ni}} U_m - U_{зzi} \right)}{U_{пpi} - U_{зzi}} \cdot U_{пpi} (C_\delta + C_{zi}), \quad i=1, 2 \dots N. \quad (2.7)$$

На відміну від постійних електричних полів у змінних електричних полях необхідно враховувати струм зміщення, який може суттєво впливати на розподіл поля в багаточаровому діелектрику (рис. 2.4).

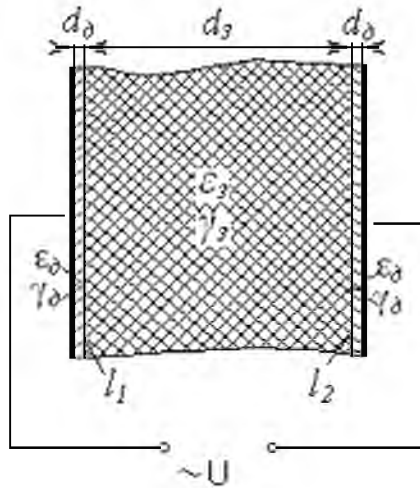


Рис. 2.4. Багатошаровий діелектрик (зернова маса-діелектричні пластини) в електричному полі:  $\epsilon_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $d_0$ ,  $\epsilon_3$ ,  $\gamma_3$ ,  $d_3$  – діелектрична проникність, питома електропровідність, товщина діелектричних пластин та зернової маси.

Припустимо, що багатошаровий діелектрик не є ідеальним, тобто його електрофізичні характеристики визначаються діелектричною проникністю та питомою електропровідністю. Геометричні розміри вздовж пластин вважаємо набагато більшими ніж відстань між пластинами тоді електричне поле між ними можемо вважати однорідним.

У початковий момент часу, тобто коли на електродах з'явиться початкова густина заряду, напруженість електричного поля в діелектричних пластинах  $E_0^0$  та зерновій масі  $E_3^0$  розподілиться відповідно діелектричним проникностям:

$$\frac{E_0^0}{E_3^0} = \frac{\epsilon_3}{\epsilon_0}. \quad (2.8)$$

Однак, внаслідок різної питомої електропровідності та діелектричної проникності шарів розподіл поля одразу почне змінюватись. Густина струму у діелектричних пластинах  $j_0$  та зерновій масі  $j_3$  визначатиметься за законом Ома:

$$j_0 = \gamma_0 E_0 + \epsilon_0 \frac{dE_0}{dt} \quad \text{та} \quad j_3 = \gamma_3 E_3 + \epsilon_3 \frac{dE_3}{dt}. \quad (2.9)$$

Для того, щоб знайти напруженість електричного поля у кожному шарі і загальний струм, використаємо умову безперервності повного струму [143]:

$$j = \gamma_0 E_0 + \epsilon_0 \frac{dE_0}{dt} = \gamma_3 E_3 + \epsilon_3 \frac{dE_3}{dt} \quad \text{на } l_1, l_2. \quad (2.10)$$

де  $l_1$ ,  $l_2$  – границі між діелектричними пластинами та зерновою масою (рис. 2.4).

Залежність напруженості електричного поля в кожному шарі від часу можна представити наступними виразами [143]:

$$\dot{E}_{\bar{a}} = \dot{E}_{\bar{a}m} e^{i\omega t} \quad \text{та} \quad \dot{E}_{\bar{c}} = \dot{E}_{\bar{c}m} e^{i\omega t}, \quad (2.11)$$

де  $i = \sqrt{-1}$  – уявна одиниця;  $\omega$  – кутова частота,  $\text{с}^{-1}$ ;  $t$  – час,  $\text{с}$ .

При цьому слід мати на увазі, що  $\dot{E}_{\bar{a}m}$  та  $\dot{E}_{\bar{c}m}$  величини комплексні і повинні розглядатися залежними від часу. Не можна завчасно передбачити, як будуть змінюватись напруженості поля в кожному шарі з часом, але очевидно, що ці зміни будуть складніші чим періодичні зміни прикладеної напруги. Ми можемо це стверджувати на основі явищ, що проходять в багат шаровому конденсаторі з провідністю діелектричних шарів між його обкладинками при постійній напрузі [146]. Крім того, необхідно передбачити можливий зсув фаз між напруженістю поля в шарі і напругою, що прикладена до електродів, тому  $\dot{E}_{\bar{a}m}$  і  $\dot{E}_{\bar{c}m}$  слід вважати комплексними.

Інше рівняння, яке разом з виразом (2.10) дає можливість визначити залежність  $\dot{E}_{\bar{a}}$  і  $\dot{E}_{\bar{c}}$  від часу при вмиканні напруги, може бути представлено у вигляді:

$$\dot{U}_m e^{i\omega t} = 2\dot{E}_{\bar{a}m} e^{i\omega t} d_{\bar{a}} + \dot{E}_{\bar{c}m} e^{i\omega t} d_{\bar{c}}, \quad (2.12)$$

або

$$\dot{U}_m = 2\dot{E}_{\bar{a}m} d_{\bar{a}} + \dot{E}_{\bar{c}m} d_{\bar{c}}, \quad (2.13)$$

де  $\dot{U}_m$  – комплексна амплітуда напруги, В;  $\omega$  – кругова частота;  $i = \sqrt{-1}$ .

Після підстановки в рівняння (2.10) виразів (2.11) для  $\dot{E}_{\bar{a}}$  та  $\dot{E}_{\bar{c}}$  отримаємо наступне диференціальне рівняння:

$$\gamma_{\bar{a}} \dot{E}_{\bar{a}m} e^{i\omega t} + \varepsilon_{\bar{a}} i \omega \dot{E}_{\bar{a}m} e^{i\omega t} + \varepsilon_{\bar{a}} \frac{d\dot{E}_{\bar{a}m}}{dt} e^{i\omega t} = \gamma_{\bar{c}} \dot{E}_{\bar{c}m} e^{i\omega t} + \varepsilon_{\bar{c}} i \omega \dot{E}_{\bar{c}m} e^{i\omega t} + \varepsilon_{\bar{c}} \frac{d\dot{E}_{\bar{c}m}}{dt} e^{i\omega t}. \quad (2.14)$$

В цьому рівнянні члени  $\varepsilon_{\bar{a}} i \omega \dot{E}_{\bar{a}m} e^{i\omega t}$  і  $\varepsilon_{\bar{c}} i \omega \dot{E}_{\bar{c}m} e^{i\omega t}$  являються комплексними виразами густини ємнісних струмів, що обумовлені періодичними змінами прикладеної напруги. Члени  $\varepsilon_{\bar{a}} \frac{d\dot{E}_{\bar{a}m}}{dt} e^{i\omega t}$  та  $\varepsilon_{\bar{c}} \frac{d\dot{E}_{\bar{c}m}}{dt} e^{i\omega t}$  являються комплексними виразами густини ємнісних струмів, що обумовлені зміною напруженості електричного поля в шарах із-за перерозподілу поля.

Розділивши вираз (2.14) на  $e^{i\omega t}$  і здійснивши перетворення, отримуємо:

$$\dot{j} = (\gamma_{\bar{a}} + i\omega\varepsilon_{\bar{a}}) \dot{E}_{\bar{a}m} + \varepsilon_{\bar{a}} \frac{d\dot{E}_{\bar{a}m}}{dt} = (\gamma_{\bar{c}} + i\omega\varepsilon_{\bar{c}}) \dot{E}_{\bar{c}m} + \varepsilon_{\bar{c}} \frac{d\dot{E}_{\bar{c}m}}{dt}. \quad (2.15)$$

Коефіцієнти при  $\dot{E}_{\partial m}$  та  $\dot{E}_{\partial m}$  – це комплексні значення повних провідностей шарів при змінній напрузі або комплексній провідності:

$$\bar{\gamma}_a = \gamma_a + i\omega\varepsilon_a \quad \text{та} \quad \bar{\gamma}_\varphi = \gamma_\varphi + i\omega\varepsilon_\varphi. \quad (2.16)$$

Таким чином, рівняння (2.15) запишеться у вигляді:

$$\bar{\gamma}_\partial \dot{E}_{\partial m} + \varepsilon_\partial \frac{d\dot{E}_{\partial m}}{dt} = \bar{\gamma}_\varphi \dot{E}_{\partial m} + \varepsilon_\varphi \frac{d\dot{E}_{\partial m}}{dt}. \quad (2.17)$$

Із рівняння (2.13) знаходимо:

$$\dot{E}_{\partial m} = \frac{\dot{U}_m - 2\dot{E}_{\partial m} d_\partial}{d_\varphi}. \quad (2.18)$$

Підставивши отримане значення  $\dot{E}_{\partial m}$  в (2.17), отримуємо наступне диференціальне рівняння:

$$(\bar{\gamma}_\partial d_\varphi + 2\bar{\gamma}_\varphi d_\partial) \dot{E}_{\partial m} + (\varepsilon_\partial d_\varphi + 2\varepsilon_\varphi d_\partial) \frac{d\dot{E}_{\partial m}}{dt} = \bar{\gamma}_\varphi \dot{U}_m. \quad (2.19)$$

Рішення рівняння (2.19) шукаємо у вигляді  $\dot{E}_{\partial m} = \dot{E}_{\partial m}^{zp} + \dot{E}_{\partial m}^{np}$ , де  $\dot{E}_{\partial m}^{zp}$  – загальне рішення однорідного диференційного рівняння, що відповідає рівнянню (2.19);  $\dot{E}_{\partial m}^{np}$  – приватне рішення диференційного рівняння (2.19).

Загальне рішення  $\dot{E}_{\partial m}^{zp}$  шукаємо у вигляді

$$\dot{E}_{\partial m}^{zp} = A e^{pt}, \quad (2.20)$$

де  $A$  – поки ще невідома константа;  $p$  – параметр перехідного процесу.

Записуємо характеристичне рівняння:

$$(\bar{\gamma}_\partial d_\varphi + 2\bar{\gamma}_\varphi d_\partial) \dot{E}_{\partial m} + (\varepsilon_\partial d_\varphi + 2\varepsilon_\varphi d_\partial) \cdot p = 0. \quad (2.21)$$

Звідки знаходимо параметр перехідного процесу:

$$p = -\frac{\bar{\gamma}_\partial d_\varphi + 2\bar{\gamma}_\varphi d_\partial}{\varepsilon_\partial d_\varphi + 2\varepsilon_\varphi d_\partial}. \quad (2.22)$$

Для знаходження постійної  $A$  використовуємо вираз (2.13), який запишемо для часу  $t=0$ :

$$U_m^{(0)} = 2\dot{E}_{\partial m}^{(0)} d_\partial + \dot{E}_{\partial m}^{(0)} d_\varphi. \quad (2.23)$$

Враховуючи те, що

$$\varepsilon_{\partial} \dot{E}_{\partial m}^{(0)} = \varepsilon_{\text{з}} \dot{E}_{\text{з}m}^{(0)}, \quad (2.24)$$

з рівняння (2.23) знаходимо початкове значення для напруженості електричного поля в діелектричній пластині

$$\dot{E}_{\partial m}^{(0)} = \frac{\varepsilon_{\text{з}} \dot{U}_m}{\varepsilon_{\partial} d_{\text{з}} + 2\varepsilon_{\text{з}} d_{\partial}}. \quad (2.25)$$

Для знаходження приватного рішення диференційного рівняння (2.19) розглянемо момент часу  $t=\infty$ . В цьому випадку відповідно до умови безперервності повного струму, запишемо:

$$\dot{j}_{\partial m} = \dot{j}_{\text{з}m} \text{ на } l_1, l_2, \quad (2.26)$$

де  $\dot{j}_{\partial m}$  та  $\dot{j}_{\text{з}m}$  – густина комплексної амплітуди повного струму в діелектричних пластинах та зерновій масі.

Враховуючи, що повний струм у квазістаціонарному режимі визначається за формулою  $\dot{j}_m = \gamma \dot{E}_m + i\omega \varepsilon \vec{E}_m$ , граничні умови (2.26) запишемо у вигляді:

$$(\gamma_{\partial} + i\omega \varepsilon_{\partial}) \dot{E}_{\partial m}^{np} = (\gamma_{\text{з}} + j\omega \varepsilon_{\text{з}}) \dot{E}_{\text{з}m}^{np} \text{ на } l_1, l_2, \quad (2.27)$$

або

$$\bar{\gamma}_{\partial} \dot{E}_{\partial m}^{np} = \bar{\gamma}_{\text{з}} \dot{E}_{\text{з}m}^{np} \text{ на } l_1, l_2, \quad (2.28)$$

де  $\dot{E}_{\partial m}^{np}$  та  $\dot{E}_{\text{з}m}^{np}$  – комплексна амплітуда напруженості електричного поля в діелектричних пластинах та зерновій масі для устанавленого режиму.

Користуючись граничними умовами (2.28) і співвідношенням (2.13), знаходимо напруженість електричного поля в устанавленому режимі, тобто приватне рішення рівняння (2.19):

$$\dot{E}_{\partial m}^{np} = \frac{\bar{\gamma}_{\text{з}} \dot{U}_m}{2\bar{\gamma}_{\text{з}} d_{\partial} + \bar{\gamma}_{\partial} d_{\text{з}}}. \quad (2.29)$$

Таким чином, напруженість електричного поля в діелектричній пластині визначається за виразом:

$$\dot{E}_{\partial m}(t) = A e^{pt} + \dot{E}_{\partial m}^{np}. \quad (2.30)$$

Знайдемо комплексну константу  $A$  із початкової умови (2.25):

$$\frac{\varepsilon_3 \dot{U}_m}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3} = A + \dot{E}_{\delta m}^{np}. \quad (2.31)$$

Звідки:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\varepsilon_3 \dot{U}_m}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3} - \frac{\bar{\gamma}_3 \dot{U}_m}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3} = \frac{2\bar{\gamma}_3 d_\delta \varepsilon_3 + \bar{\gamma}_\delta d_3 \varepsilon_3 - 2\bar{\gamma}_3 d_\delta \varepsilon_3 - \bar{\gamma}_3 d_3 \varepsilon_\delta}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} \dot{U}_m = \\ &= \frac{\bar{\gamma}_\delta d_3 \varepsilon_3 - \bar{\gamma}_3 d_3 \varepsilon_\delta}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} \dot{U}_m. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Таким чином, комплексна амплітуда напруженості електричного поля у діелектричних пластинах знаходиться так:

$$\dot{E}_{\delta m} = \frac{(\bar{\gamma}_\delta \varepsilon_3 - \bar{\gamma}_3 \varepsilon_\delta) d_3 \dot{U}_m}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} \exp\left[\frac{\bar{\gamma}_\delta d_3 + 2\bar{\gamma}_3 d_\delta}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3} t\right] + \frac{\bar{\gamma}_3 \dot{U}_m}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}. \quad (2.33)$$

Далі, використовуючи співвідношення (2.12) знаходимо:

$$\dot{E}_{3m} = \frac{(-\bar{\gamma}_\delta \varepsilon_3 + \bar{\gamma}_3 \varepsilon_\delta) 2d_\delta \dot{U}_m}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} \exp\left[\frac{\bar{\gamma}_\delta d_3 + 2\bar{\gamma}_3 d_\delta}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3} t\right] + \frac{\bar{\gamma}_\delta \dot{U}_m}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}. \quad (2.34)$$

Переходимо до рівнянь для визначення миттєвих значень напруженості електричного поля  $\dot{E}_\delta$  і  $\dot{E}_3$ :

$$\begin{aligned} \dot{E}_\delta &= \frac{(\varepsilon_3 \gamma_\delta - \varepsilon_\delta \gamma_3) d_3 \dot{U}_m}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} \exp\left[-\frac{\bar{\gamma}_\delta d_3 + 2\bar{\gamma}_3 d_\delta}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3} t + j\omega t\right] + \frac{\bar{\gamma}_3 \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}; \\ \dot{E}_3 &= \frac{(\gamma_3 \varepsilon_\delta - \gamma_\delta \varepsilon_3) 2d_\delta \dot{U}_m}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} \exp\left[-\frac{\bar{\gamma}_\delta d_3 + 2\bar{\gamma}_3 d_\delta}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3} t + j\omega t\right] + \frac{\bar{\gamma}_\delta \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Показник степеню  $e$  в 2.35 можна представити у вигляді:

$$-\frac{t(\bar{\gamma}_\delta d_3 + 2\bar{\gamma}_3 d_\delta)}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3} + j\omega t = -\frac{(\gamma_\delta d_3 + 2\gamma_3 d_\delta) t}{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3}.$$

Таким чином, постійна часу  $\tau$  дорівнює:

$$\tau = \frac{2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3}{\gamma_\delta d_3 + 2\gamma_3 d_\delta}. \quad (2.36)$$

У результаті, напруженості поля  $\dot{E}_\delta$  та  $\dot{E}_3$  в будь-який момент часу, при змінній напрузі, виражаються наступним чином:

$$\dot{E}_{om} = \frac{(\varepsilon_3 \gamma_\delta - \varepsilon_\delta \gamma_3) d_3 \dot{U}_m}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\bar{\gamma}_3 \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}; \quad (2.37)$$

$$\dot{E}_{3m} = \frac{(\gamma_3 \varepsilon_\delta - \gamma_\delta \varepsilon_3) 2d_\delta \dot{U}_m}{(2\varepsilon_3 d_\delta + \varepsilon_\delta d_3)(2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3)} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\bar{\gamma}_\delta \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}. \quad (2.38)$$

Густина струму, що проходить через зернову масу, можна отримати підставивши вираз (2.35) в рівняння (2.10):

$$j_3 = \frac{2d_\delta (\varepsilon_3 \gamma_\delta - \varepsilon_\delta \gamma_3)^2 d_3 \dot{U}_m}{(\varepsilon_\delta d_3 + 2\varepsilon_3 d_\delta)^2 (\bar{\gamma}_\delta d_3 + 2\bar{\gamma}_3 d_\delta)} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\bar{\gamma}_\delta \bar{\gamma}_3 \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}. \quad (2.39)$$

Відносна діелектрична проникність зернової маси, вологістю 12 – 17 %, лежить в діапазоні  $\varepsilon_3 \in [3; 10]$ , а питома електропровідність –  $\gamma_3 \in [2 \cdot 10^{-9}; 4 \cdot 10^{-6}]$  См/м [18]; відповідно для діелектричних пластин вказані характеристики лежать в діапазоні  $\varepsilon_\delta \in [2; 8]$ ,  $\gamma_\delta \in [10^{-17}; 10^{-10}]$  См/м, при цьому товщина діелектричних пластин  $d_\delta \in [0,25; 2]$  мм, а товщина шару зернової маси  $d_\delta \in [26; 30]$  мм. При таких значеннях першим доданком у співвідношеннях (2.37) і (2.38) можна знехтувати. Тоді напруженість електричного поля в області зерна і діелектричних пластин може бути знайдено наступним чином:

$$\dot{E}_\delta = \frac{\bar{\gamma}_3 \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}; \quad (2.40)$$

$$\dot{E}_3 = \frac{\bar{\gamma}_\delta \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}, \quad (2.41)$$

а густина повного струму:

$$j_{3m} = \frac{\bar{\gamma}_\delta \cdot \bar{\gamma}_3 \dot{U}_m e^{j\omega t}}{2\bar{\gamma}_3 d_\delta + \bar{\gamma}_\delta d_3}. \quad (2.42)$$

Загальний струм, що проходить через зернову масу, яка знаходиться у електричному полі високої напруженості і відділена від електродів діелектричними пластинами, складається із розрядного струму (2.7) та струму зміщення (2.41):

$$I = \begin{cases} I_{зм}, & \text{якщо } U_{пі} < U_{при} \\ I_{зм} + \sum_{i=1}^N I_{срі}, & \text{якщо } U_{пі} \geq U_{при} \end{cases}, \quad (2.43)$$

де  $N$  – кількість ланцюгів, що складаються з опорів та ємностей діелектричних пластин, зерна та повітряних включень;  $I_s = I_m(j_s) \cdot S$ ,  $S$  – площа електродів.

Співвідношення (2.40) і (2.41) дозволяють визначити напругу  $U_m$  на електродах камери обробки при якій відбуваються часткові розряди в зерновій масі. Однак, враховуючи різноманітність форм зернин, їх хаотичного взаємного розташування у зоні обробки, широких діапазонів зміни питомої електропровідності та діелектричної проникності, які можливо визначити лише експериментальним шляхом, зазначені співвідношення дозволяють дати лише оцінку напруги при якій виникають розрядні процеси.

### 2.3. Синтез озону та оксидів азоту в зерновій масі під дією розрядів та їх вплив на мікроорганізми

Іонізаційні процеси, що виникають в повітряних включеннях зернової маси під дією електричного поля високої напруженості мають важливе значення при знезаражуючій обробці зернових [59]. Оскільки кожна зернина перебуває у щільному контакті з повітрям, при іонізації якого, утворюється озон, який здійснює ефективну знезаражуючу дію поверхні зерна від мікроорганізмів.

Зернову масу, що знаходиться в електричному полі високої напруженості, як було показано у попередньому розділі, можна розглядати, як конденсатор з багатокомпонентним діелектриком (діелектричні пластини, зернова маса) до якого підведена висока напруга змінного струму (рис 2.5).

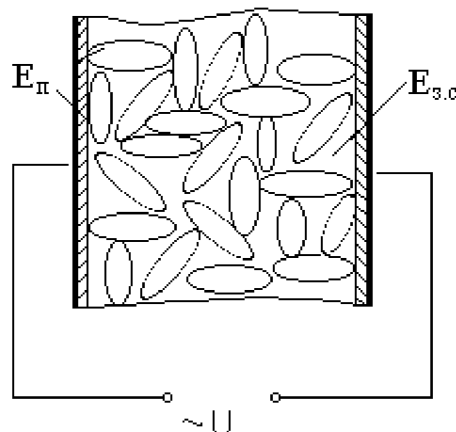


Рис. 2.5. Конденсатор із багатокомпонентним діелектриком (зернова маса, діелектричні пластини)

При подачі напруги на електроди у повітряних включеннях створюється напруженість електричного поля. При досягненні значення  $E_{ноч}$  виникає ударна іонізація. При проходженні іонізаційних процесів в повітряних включеннях будуть проходити електрохімічні реакції, що зумовлять перехід частини кисню  $O_2$  у його видозмінну форму – озон  $O_3$  і утворення оксидів азоту. Озон, що утворюється знезаражує поверхневу мікрофлору зерна, а оксиди азоту виконують роль природного каталізатора.

Озон один з найсильніших природних окислювачів (другий після фтору). Його окислювальний потенціал 2.07В (у фтора 2.4). Завдяки такому високому окислювальному потенціалу озон діє на зерно, як знезаражуючий засіб. Озон окислює всі метали, за виключенням золота і групи платини, а також активно вступає у хімічну взаємодію з багатьма органічними та ароматичними з'єднаннями. При взаємодії з біологічними об'єктами озон діє комплексно. В результаті його взаємодії з білками й ліпідами – основними компонентами мембран, змінюється мембранна проникність і функції мембранних ферментів, а також інактивація функціональних груп та вторинних процесів [35]. Озон реагує практично з усіма з'єднаннями, що входять до складу живої клітини.

Вплив озону на шкідливу мікрофлору зернової маси суттєво залежить від його концентрації. Найменш чутлива до озону грибна флора, більш чутливі бактерії. Чутливість одноклітинних організмів до концентрації озону може змінюватись навіть у межах однієї групи. Та важливим є той фактор, що навіть в малих концентраціях озон суттєво впливає на репродуктивні функції мікроорганізмів. Практично повне знищення бактерій можливе при його концентрації  $3 \cdot 10^8$  молекул  $O_3$  на клітину (рис. 2.6).

Важливим фактором для знезаражуючої обробки зернової маси є наявність у повітрі оксидів азоту, атомарного азоту та вологи. Озон, як сильний окислювач доокислює оксиди азоту:



А той, в свою чергу, є природним каталізатором реакцій по утворенню озону. Також бактерицидний ефект підсилюється у 10 – 100 разів за наявності в повітрі води в кількості 10 – 50 г/м<sup>3</sup> [43, 105].

При наявності перелічених вище факторів знезаражуюча обробка зерна стає більш ефективною.

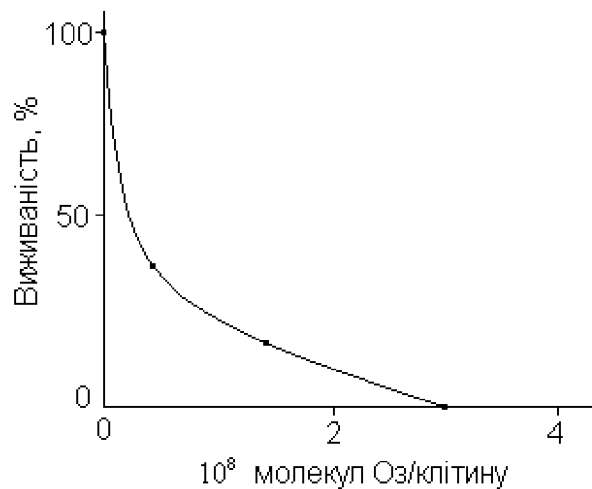


Рис. 2.6. Вплив концентрації озону на здатність до виживання бактерій

Важливим фактором для знезаражуючої обробки зернової маси є наявність у повітрі оксидів азоту, атомарного азоту та вологи. Озон, як сильний окислювач доокислює оксиди азоту:



А той, в свою чергу, є природним каталізатором реакцій для утворення озону. Також бактерицидний ефект підсилюється в 10 – 100 разів за наявності в повітрі води в кількості 10 – 50 г/м<sup>3</sup> [43, 105].

При наявності перелічених вище факторів знезаражуюча обробка зерна стає більш ефективною.

Аналізуючи наведені вище дані, можна констатувати, що ефективність знезаражуючої обробки зерна в електричному полі високої напруженості змінного струму буде залежати від концентрації озону та оксидів азоту, вологості зерна та часу обробки:

$$EZO = f(K, K_a, \tau, W), \quad (2.46)$$

де  $K$  – концентрація озону;

$K_a$  – концентрація оксидів азоту;

$\tau$  – час знаходження зернової маси під дією електричного поля;

$W$  – вологість зерна.

Крім перелічених факторів на інтенсивність іонізації впливають геометричні розміри зернового матеріалу. Зернини різних культур мають різну форму (соя – кругла, овес – продовгуватий з тонкими закінченнями).

При обробці різного зернового матеріалу змінюється кількість і розміри повітряних включень в яких проходять іонізаційні процеси. Іонізаційні процеси будуть відрізнятися і для різних сортів однієї культури. Розглянувши декілька

досліджень з різними сортами сої встановили, що зернини різних сортів відрізняються формою та різною шороховатістю поверхні, що також має вплив на інтенсивність іонізаційних процесів.

Отже, концентрація озону та оксидів азоту залежить від інтенсивності іонізаційних процесів, які в свою чергу залежать від напруги, що подається на електроди камери обробки, товщини діелектричних пластин, що відділяють зернову масу від високовольтних електродів, питомої електропровідності зернової суміші та геометричних розмірів зернин:

$$K_o = f(U, h_n, \gamma_{zc}, \Phi_3), \quad (2.47)$$

де  $\Phi_3$  – геометрична форма зернин;

$h_n$  – товщина діелектричних пластин;

$\gamma_{zc}$  – питома електропровідність зернової суміші.

При знезаражуючій обробці в електричному полі високої напруженості змінного струму необхідно знати напругу початкової іонізації. В залежності від неї будуть визначатись параметри обробки.

Напруга початкової іонізації буде залежати від відстані між електродами в камері обробки, товщини діелектричних пластин, вологості зерна, форми зернин та відносної густини повітря:

$$U_{noc} = f(H, h_{пл}, W, \Phi_3, \delta), \quad (2.48)$$

де  $H$  – товщина шару зернової маси;

$\delta$  – відносна густина повітря.

При подальшому підвищенні напруги, що подається на електроди камери обробки, над  $U_{noc}$ , іонізаційні процеси стають більш стійкими (інтенсивними) – це напруга стійкої іонізації  $U_{cm}$ .

Отже процес знезаражуючої обробки відбувається в такій послідовності: на електроди камери обробки подається напруга в результаті зернова маса, що обробляється, знаходиться в електричному полі високої напруженості змінного струму. При певній початковій нарузі в повітряних міжзернових включеннях виникають часткові розряди. Під їх дією проходять іонізаційні процеси, що супроводжується електрохімічними реакціями в результаті яких утворюється озон і оксиди азоту, що мають сильну знезаражуючу дію і знешкоджують шкідливу мікрофлору на поверхні зерна.

Інтенсивність іонізаційних процесів є головним чинником, що впливає на концентрацію озону при знезаражуючій обробці зерна в електричному полі високої напруженості змінного струму. На сьогоднішній день практично немає даних про залежність іонізаційних процесів від різних властивостей зерна та навколишнього середовища, що обумовлює необхідність проведення експериментальних досліджень у цьому напрямі.

### **3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗЕРНОВІЙ МАСІ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ**

#### **3.1. Методика та установка для дослідження електрофізичних процесів в зерновій масі**

За проведеним літературним аналізом встановлено, що дослідження електрофізичних процесів, які проходять в зерновій масі під впливом електричного поля, більшою мірою були спрямовані на покращення посівних якостей насіння і проводились з використанням джерела живлення високої напруги постійного струму [26]. Застосування сильних електричних полів для знезаражувальної обробки зернових потребує додаткових досліджень. Ефективність такої обробки може підвищитись при використанні джерела живлення високої напруги змінного струму завдяки збільшенню інтенсивності розрядних процесів і відповідно концентрації озону. Тому необхідно розробити установку та методику для дослідження електрофізичних процесів у зерновій масі, що знаходиться під дією електричного поля високої напруженості змінного струму.

Зернова маса є гетерогенною сумішшю і на 30–50 % складається з повітряних включень. На зернову масу, що знаходиться між пластинчастими електродами діє електричне поле. У результаті по різні сторони повітряного включення накопичуються різнойменні заряди. При певній напруженості поля (залежить від фізичних властивостей зернової маси) в локальному повітряному включенні виникає розряд. Перші розряди виникають в повітряних включеннях де нерівномірність розподілу поля найбільша, а із збільшенням прикладеної напруги розряди виникають у все більшій кількості повітряних включень, причому величина імпульсу розряду у наступних буде більша ніж у попередніх. Крім того буде підвищуватись інтенсивність розрядів у включеннях де вони почались при меншій нарузі.

У лабораторній установці необхідно було передбачити можливість реєстрації розрядних процесів, що проходять в зерновій масі під дією електричного поля високої напруженості змінного струму. Відомі методи, що використовуються для реєстрації розрядних процесів у діелектрику з повітряними включеннями, дуже чутливі до зовнішніх перешкод та складні в процесі досліджень. [70, 149].

Для проведення експериментальних досліджень в електричне коло електродної системи дослідної установки було введено активний опір на якому, за допомогою осцилографа, фіксувалася амплітуда та частота імпульсів струму. На рис. 3.1 зображена функціональна схема дослідної установки.

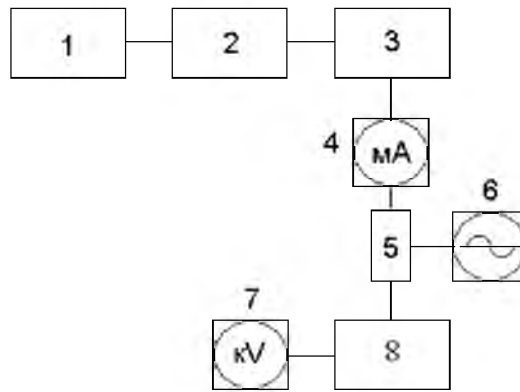


Рис. 3.1. Функціональна схема дослідної установки: 1 – джерело живлення; 2 – автотрансформатор; 3 – трансформатор високовольтний; 4 – мікроамперметр; 5 – активний опір; 6 – осцилограф; 7 – кіловольтметр. 8 – камера обробки

Дослідна установка складається з автотрансформатора, що служить для регулювання напруги, високовольтного трансформатора, камери обробки в яку засипається зернова маса. Для вимірювання струму, що проходить через зернову масу використовуємо мікроамперметр магнітоелектричної дії. Вимірювання напруги, що подається на електроди виконувалось кіловольтметром С 96. Для реєстрації імпульсів струму використано осцилограф марки “Tektronix TDS 1012”. Принципова електрична схема дослідної установки зображена на рис. 3.2, а зовнішній вигляд на рис. 3.3.

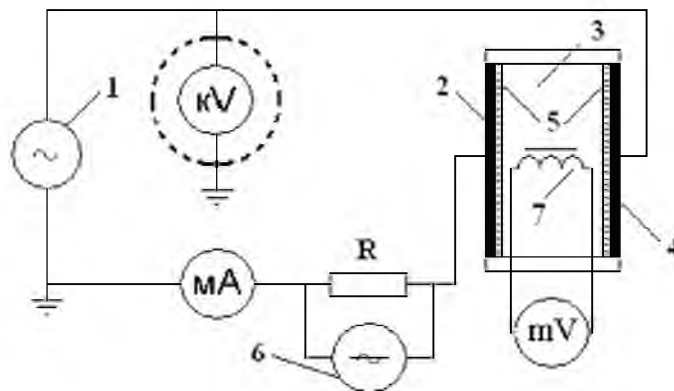


Рис. 3.2. Принципова електрична схема дослідної установки: 1 – джерело високої напруги змінного струму; 2,4 – плоско-паралельні пластинчасті електроди; 3 – дослідна камера для обробки зернового матеріалу; 5 – діелектричні пластини; 6 – осцилограф, 7 – індуктивний датчик

Установка працює наступним чином. У дослідну камеру 3 – засипається зернова маса. Вмикається автотрансформатор, при цьому автоматично вмикається високовольтний трансформатор після чого висока напруга змінного струму подається на електроди 2 і 4. Продукція, що обробляється відділена від електродів діелектричними пластинами 5 і знаходиться в електричному полі.

При відповідній напруженості електричного поля в об'ємі продукції починають виникати розряди. При цьому на опорі будуть виникати високочастотні імпульси струму, які фіксуються за допомогою осцилографа. Частота проходження імпульсів струму є критерієм інтенсивності розрядних процесів в повітряних включеннях зернової маси. Напруга початкової і стійкої іонізації будуть суттєво змінюватись в залежності від перелічених вище властивостей зернової маси і повітря.



Рис. 3.3. Зовнішній вигляд дослідної установки

Враховуючи багатогранність дії різних факторів на електрофізичні процеси, що проходять в зерновій масі під дією електричного поля високої напруженості змінного струму, дослідження виконувались шляхом проведення окремих послідовних груп експериментальних досліджень, які включали:

- дослідження впливу діелектричних пластин на інтенсивність іонізаційних процесів у зерновій масі;
- дослідження інтенсивності іонізаційних процесів при обробці зернової маси різних культур;
- дослідження впливу вологості зернової маси на початкову напруженість іонізаційних процесів;
- вплив напруженості електричного поля на інтенсивність іонізаційних процесів у зерновій масі.

Конструкція установки розроблена таким чином, що зернова маса, яка обробляється відділена від електродів діелектричними пластинами, матеріал і товщина яких, як показали попередні теоретичні дослідження, суттєво впливає на електрофізичні процеси у зерновій масі. Для проведення досліджень було виготовлено діелектричні пластини з 7 різних матеріалів, які не містять шкідливих речовин і можуть використовуватись в харчовій промисловості. Пластини відрізнялись за матеріалом та товщиною. В якості об'єктів обробки розглядалися зернова маса ячменю та пшениці (ячмінь – як основний, а пшениця як продукт обробки для перевірки і порівняння результатів досліджень).

Напруга на електродах при дослідах змінювалась автотрансформатором у межах від 0 кВ до 16 кВ і контролювалась кіловольтметром С 96.

Досліджувались струм, що протікає через зернову масу та розрядні процеси. Струм контролювався мікроамперметром магнітоелектричної системи типу M265M. Розрядні процеси реєстрували за допомогою індуктивного датчика, що закріплений на камері обробки до виводів якого під'єднаний вольтметр універсальний типу В7-26. Значення напруги, зареєстроване вольтметром, який підключено до індуктивності, будемо називати (за аналогією з ізоляційними матеріалами) відносною інтенсивністю іонізації [89].

У попередньому розділі роботи було зазначено, що інтенсивність іонізаційних процесів в зерновій масі суттєво залежатиме і від виду культури, оскільки змінюється кількість і розміри повітряних включень, а також форма зернин. Дослідження в цьому напрямі проводились на розробленій установці з приведеним вище обладнанням та використанням діелектричних пластин з поліетилену. В якості дослідного матеріалу використовувались чотири культури зернини яких мають різну форму. В камеру обробки по черзі засипається зернова маса різних культур та поступово підвищується напруга на електродах. При цьому фіксуються покази вольтметра та амперметра.

Крім перерахованих вище факторів на інтенсивність іонізаційних процесів впливають фізичні характеристики зерна: вологість, температура. Так при зміні температури зерна від 10 до 25 °С питома електропровідність зернової маси ячменю збільшується в 5...6 разів, при зміні вологості від 12,6 до 24 % збільшується до 6000 разів [26]. Тому далі слід більш детально дослідити вплив вологості на інтенсивність іонізаційних процесів.

Дослідні зразки зернової маси різної вологості створювались штучним шляхом. Рівні порції зернової маси зволожували різною кількістю дистильованої води та залишали в закритій ємкості на три доби для рівномірного розподілу вологи або просушували на протязі різного часу.

Дослідження проводились на установці в електричне коло якої введено активний опір (R) виводи якого під'єднанні до першого каналу осцилографа "Tektronix TDS 1012". При проходженні розрядних струмів та струмів зміщення на опорі відбуваються втрати напруги, які фіксуються на екрані осцилографа. До другого каналу під'єднується щуп для визначення напруги в колі.

Таким чином при поступовому підвищенні напруги за допомогою осцилографа реєструємо розрядні процеси у зерновій масі та їх частоту, а також напругу на електродах.

### **3.2. Електрофізичні процеси в зерновій масі**

Як вже було зазначено вище, інтенсивність іонізаційних процесів у зерновій масі буде залежати від конструктивних параметрів установки та режимних параметрів, а також фізичних характеристик зернового матеріалу. Серед конструктивних параметрів найбільший вплив мають матеріал та товщина діелектричних пластин, що відділяють зернову масу від високовольтних електродів. Тому було проведено ряд досліджень з різними діелектричними

пластинами [16]. Дослідження проводились на розробленій установці зображеній на рис.3.4.



Рис.3.4. Зовнішній вигляд установки для дослідження інтенсивності іонізаційних процесів у зерновій масі під дією електричного поля високої напруженості змінного струму

У дослідженнях використовувались 7 видів діелектричних пластин, що відрізнялись по матеріалу та товщині. Для проведення досліджень використовували ячмінь сорту „Скарлет” і „Етикет” та пшеницю сорту „Подольанка”. Характеристики діелектричних пластин та зернової маси приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

**Характеристики діелектричних пластин та зернової маси**

№	Культура та сорт	Вологість зерна, %	Матеріал діелектричної пластини	Товщина діелектричної пластини, мм
1	Ячмінь „Скарлет”	12,7	Хостафан РЕ	0,25
2	Ячмінь „Скарлет”	12,7	Поліетилен М	0,25
3	Ячмінь „Скарлет”	12,7	Лакотканина Ф-4Д-Е01Б	0,25
4	Ячмінь „Скарлет”	12,7	Лакотканина ЛКМ	0,25
5	Ячмінь „Етикет”	14,6	Оргскло ТОСП	1
6	Ячмінь „Етикет”	14,6	Гетинакс	1
7	Ячмінь „Етикет”	14,6	Поліетилен М	1
8	Пшениця „Подольанка”	12,4	Хостафан РЕ	0,25
9	Пшениця „Подольанка”	12,4	Поліетилен М	0,25
10	Пшениця „Подольанка”	12,4	Лакотканина Ф-4Д-Е01Б	0,25
11	Пшениця „Подольанка”	12,4	Лакотканина ЛКМ	0,25

Діелектричні пластини, що використовуються в камері обробки і відділяють зернову масу від електродів повинні відповідати наступним вимогам: запобігати виникненню значних струмів провідності, інтенсивність іонізаційних процесів повинна бути не менше визначених меж, а також мати невелику вартість. Відносна інтенсивність іонізаційних процесів визначали за відомою методикою [18]. Відносну питому інтенсивність іонізаційних процесів визначали за рівняннями наведеними в роботах [18, 14].

Результати досліджень наведені в таблиці 3.2 та в додатках Ж1, Ж2, Ж3.

Таблиця 3.2

**Результати досліджень інтенсивності іонізаційних процесів у зерновій масі при використанні діелектричних пластин з різного матеріалу і товщини**

№	Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$E_z$ , кВ/см	1,82	2,55	3,08	3,65	4,18	4,71	5,04	—
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$8 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	—
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0,021	0,211	0,7	2,1	5,3	9,9	12,7	—
2	$E_z$ , кВ/см	1,74	2,24	2,98	3,41	3,95	4,15	4,45	4,95
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$8 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0,02	0,63	1,58	2,32	5,69	7,8	10,1	15,8
3	$E_z$ , кВ/см	2,05	2,49	2,99	3,41	3,82	4,05	4,45	4,84
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0,02	0,21	2,74	11	20	22,1	33,7	48,5
4	$E_z$ , кВ/см	1,46	1,93	2,49	3,08	3,42	3,85	4,55	5,01
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$8 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0,02	0,21	0,63	1,36	3,36	6,1	12,6	17,4
5	$E_z$ , кВ/см	0,32	1,28	1,86	2,57	3,21	3,85	4,5	5,14
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	0,012	0,015	0,019	0,025
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0	0	1,07	17,1	55,7	81,4	117	141
6	$E_z$ , кВ/см	0,32	0,96	1,28	1,86	2,57	3,21	3,85	4,24
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-3}$	0,013	0,018	0,023
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0	0	5,14	20,1	43	77,1	107,1	126,4
7	$E_z$ , кВ/см	0,32	0,96	1,28	1,93	2,57	3,53	4,17	5,14
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	0,011	0,014	0,018
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	8,6	14	20,4	34,3	49,3	102,9	132,9	180
8	$E_z$ , кВ/см	2,62	2,95	3,88	4,68	5,04	—	—	—
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	—	—	—
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0,024	0,071	0,238	0,595	0,786	—	—	—
9	$E_z$ , кВ/см	1,9	2,8	3,28	3,6	4,3	4,7	5	—
	$J$ , А/м <sup>2</sup>	$7 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	—
	$U_{\text{іоніт}}$ , мВ·м	0,024	0,095	0,238	0,476	0,905	1,24	1,55	—

10	$E, \text{кВ/см}$	1,92	2,65	2,75	3	3,65	3,91	4,1	4,3
	$J, \text{А/м}^2$	$7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$
	$U_{\text{іоніт}}, \text{МВ} \cdot \text{м}$	0,02	0,17	0,24	0,55	0,95	1,36	1,67	2,38
11	$E, \text{кВ/см}$	1,93	2,76	3,22	3,46	4,1	4,8	5,05	—
	$J, \text{А/м}^2$	$7 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	—
	$U_{\text{іоніт}}, \text{МВ} \cdot \text{м}$	0,02	0,19	0,236	0,4	0,78	1,41	1,7	—

У дослідженнях проведених на зерновій масі ячменю сорту „Скарлет” із використанням чотирьох видів діелектричних пластин товщиною 0,25 мм встановлено, що інтенсивність іонізаційних процесів найбільша при використанні лакотканини Ф-4Д-Е01Б, але при цьому через зернову масу протікає значний струм провідності. Тому використання цих пластин призведе до значних затрат електроенергії і підвищить собівартість обробки.

Найменший струм провідності при використанні діелектричних пластин з хостафану РЕ, але при цьому низька інтенсивність іонізаційних процесів. Крім того цей матеріал має більшу вартість порівняно з іншими дослідженими варіантами. Таким чином при використанні діелектричних пластин з лакотканини ЛКМ та поліетилену М відносна інтенсивність іонізаційних процесів найкраще відповідає поставленим вимогам. При цьому через зернову масу протікає незначний струм провідності. Проте поліетилен має значно кращі механічні властивості і найбільше підходить для використання в таких установках. Залежності відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів та густини струму в зерновій масі ячменю сорту „Скарлет” вологістю 12,7 % від напруженості поля при використанні діелектричних пластин з різного матеріалу наведені на рис. 3.5 та рис. 3.6 відповідно.

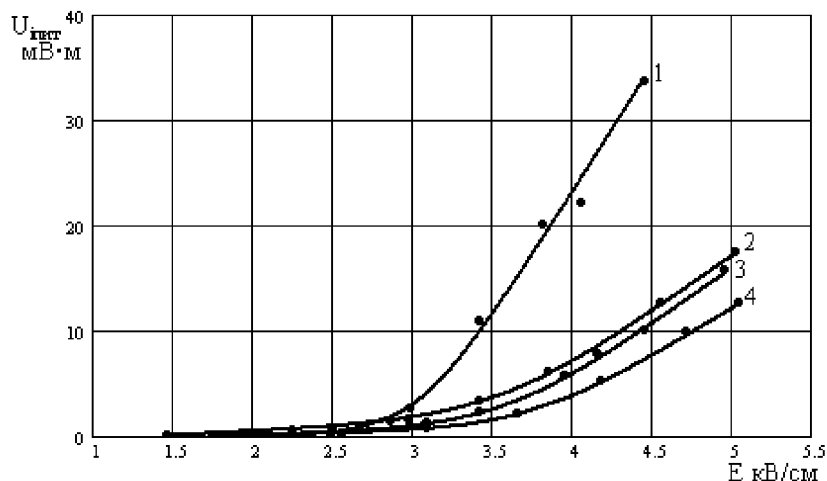


Рис. 3.5. Залежність відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів у зерновій масі ячменю сорту „Скарлет” вологістю 12,7% від напруженості електричного поля при різних діелектричних пластинах: 1 – лакотканина Ф-4Д-Е01Б; 2 – лакотканина ЛКМ; 3 – поліетилен М; 4 – хостафан РЕ

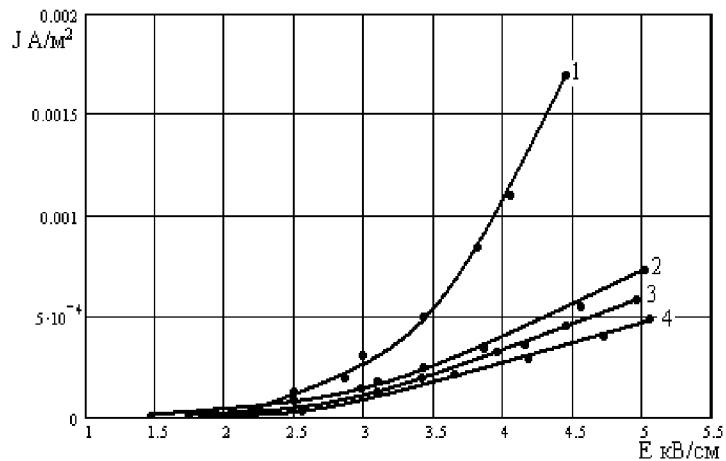


Рис. 3.6. Залежність густини струму в зерновій масі ячменю сорту „Скарлет” вологістю 12,7 % від напруженості електричного поля при різних діелектричних пластинах: 1 – лакотканина Ф-4Д-Е01Б; 2 – лакотканина ЛКМ; 3 – поліетилен М; 4 – хостафан РЕ

З наведених рисунків видно, що при використанні діелектричних пластин з поліетилену інтенсивність іонізаційних процесів вища ніж у зразка 4, а зі зразком 2 знаходиться майже на рівні. При цьому струм провідності менший у порівнянні зі зразками 1 та 2. Аналогічні залежності для ячменю сорту „Етикет” вологістю 14,6 % наведені на рис. 3.7 та рис. 3.8 відповідно.

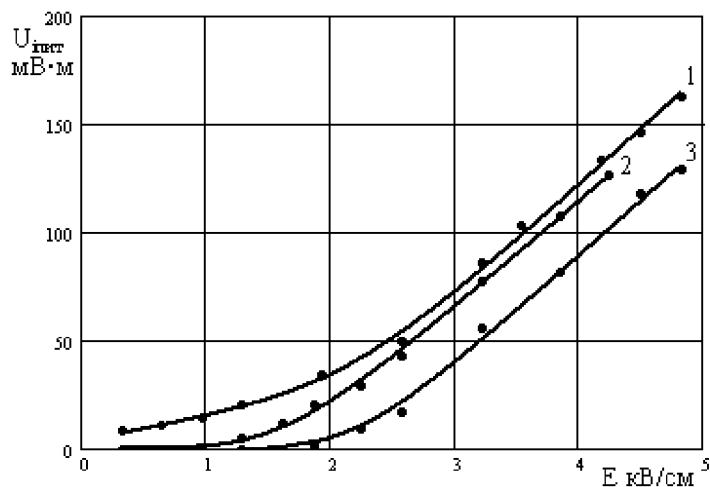


Рис. 3.7. Залежність відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів у зерновій масі ячменю сорту „Етикет” вологістю 14,6 % від напруженості електричного поля при різних діелектричних пластинах: 1 – поліетилен М; 2 – гетинакс; 3 – оргскло ТОСП

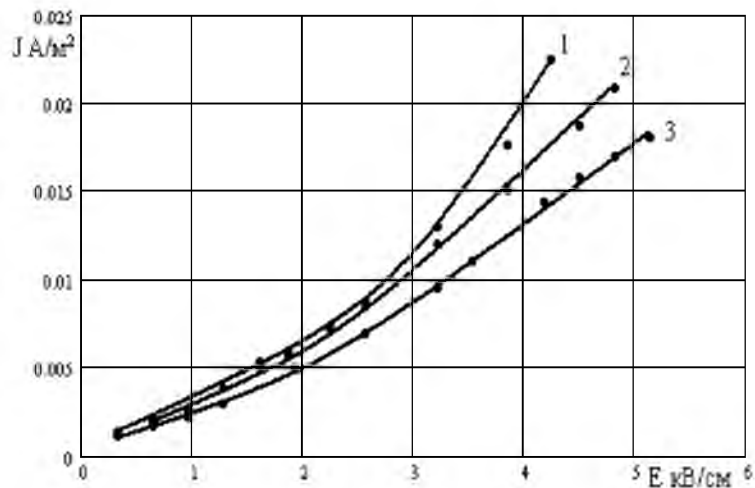


Рис. 3.8. Залежність густини струму при забезпеченні в зерновій масі ячменю сорту „Етикет” вологістю 14,6 % від напруженості електричного поля при різних діелектричних пластинах: 1 – гетинакс; 2 – оргскло ТОСП; 3 – поліетилен М

При використанні діелектричних пластин з різного матеріалу змінюється струм, що протікає через зернову масу, а відповідно і потужність. Діаграма потужностей установки при забезпеченні  $U_{\text{шиг}}=125$  мВ·м в масі ячменю для різного матеріалу діелектричних пластин наведена на рис. 3.9.

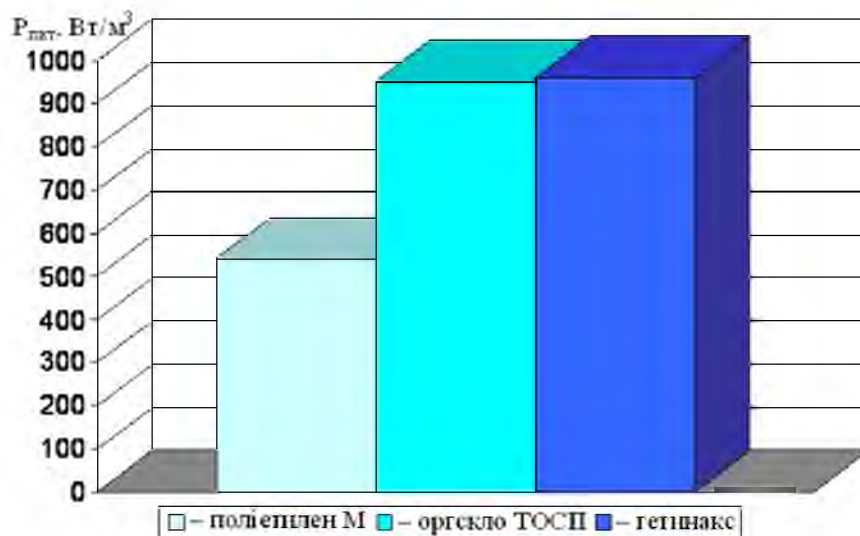


Рис. 3.9. Питомі потужності установки при забезпеченні  $U_{\text{шиг}}=125$  мВ·м в масі ячменю для різного матеріалу діелектричних пластин

З наведеної діаграми видно, що матеріал діелектричних пластин суттєво впливає на питому потужність установки. Для забезпечення  $U_{\text{шиг}}=125$  мВ·м, при використанні діелектричних пластин з поліетилену, необхідна питома потужність  $550$  Вт/м<sup>3</sup>, оргскла –  $950$  Вт/м<sup>3</sup>, гетинаксу –  $960$  Вт/м<sup>3</sup>. Таким чином ефективніше використовувати діелектричні пластини з поліетилену оскільки при забезпеченні необхідного режиму питома потужність установки буде меншою ніж з пластинами з інших досліджених матеріалів. При зменшенні потужності відповідно зменшуються і витрати на обробку.

Також були проведені дослідження на пшениці сорту „Подольська” в яких використовувались 4 види діелектричних пластин товщиною 0,25 мм. Отримані результати підтвердили, що серед досліджених матеріалів для виготовлення діелектричних пластин найкраще підходить поліетилен М. Залежності відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів та густини струму від напруженості електричного поля в зерновій масі пшениці наведені на рис.3.10 та рис.3.11 відповідно. Діаграма потужності установки при використанні діелектричних пластин з різного матеріалу наведена на рис. 3.12.

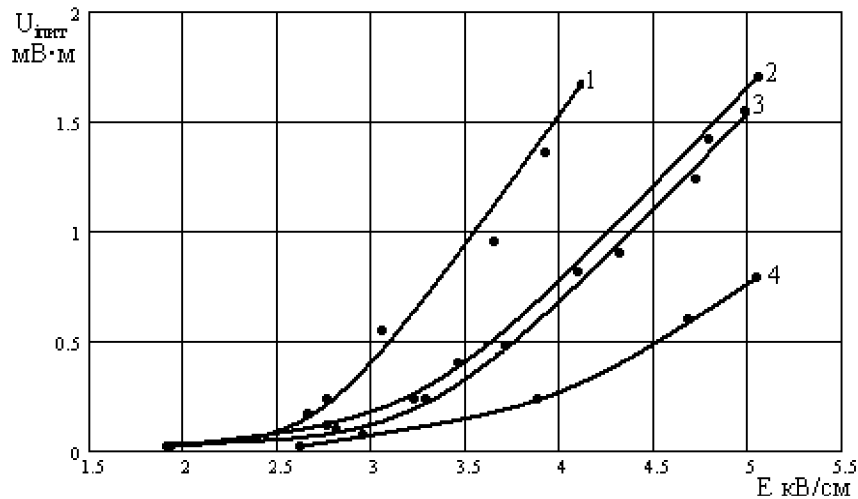


Рис. 3.10. Залежність відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів у зерновій масі пшениці від напруженості електричного поля при різних діелектричних пластинах: 1 – лакотканина Ф-4Д-Е01Б; 2 – лакотканина ЛКМ; 3 – поліетилен М; 4 – хостафан РЕ

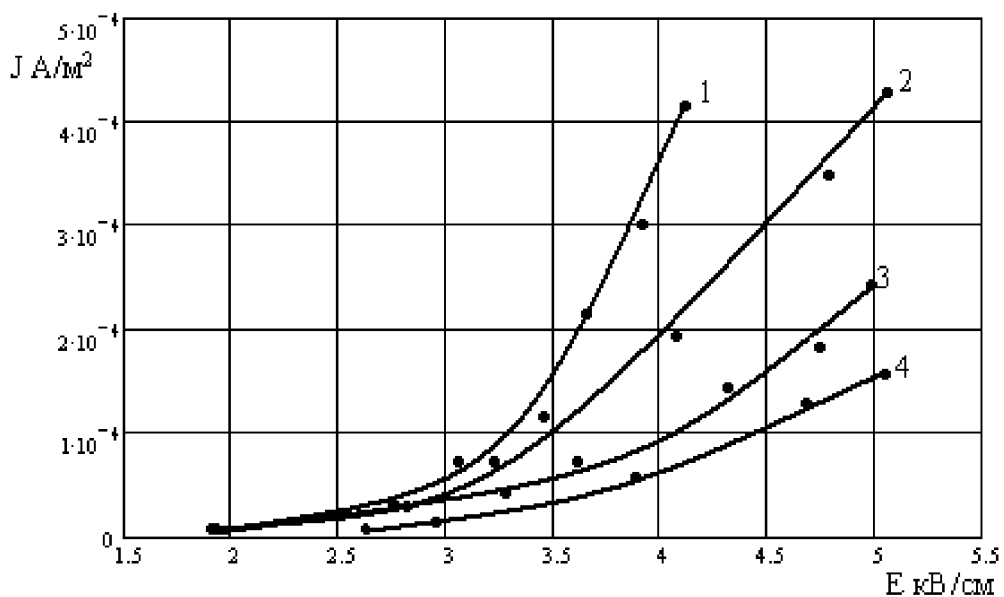


Рис. 3.11. Залежність густини струму в зерновій масі пшениці від напруженості електричного поля при різних діелектричних пластинах: 1 – лакотканина Ф-4Д-Е01Б; 2 – лакотканина ЛКМ; 3 – поліетилен М; 4 – хостафан РЕ

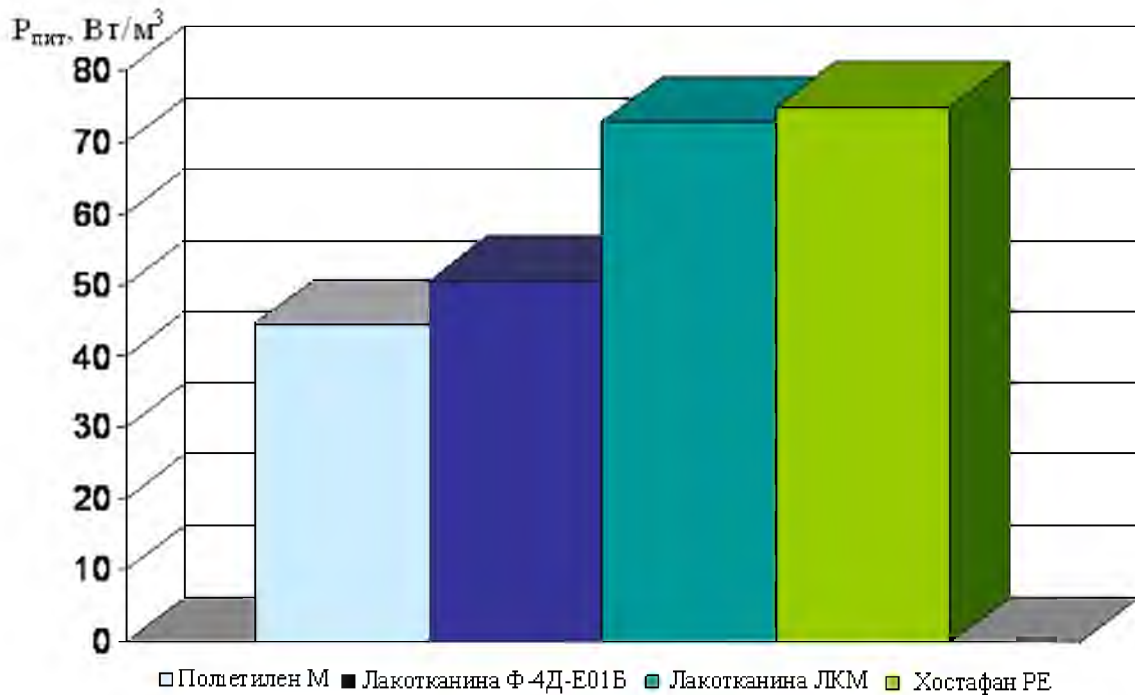


Рис. 3.12. Питома потужність установки при забезпеченні  $U_{\text{іоні}}=0.75$  мВ·м в масі пшениці для різного матеріалу діелектричних пластин

З наведеної діаграми видно, що при знезаражуючій обробці пшениці, як і у випадку з ячменем, найменша питома потужність при використанні діелектричних пластин з поліетилену.

Таким чином встановлено, що за відносною питомою інтенсивністю іонізаційних процесів, струмом провідності та питомою потужністю діелектричні пластини з поліетилену найкраще відповідають поставленим вимогам. Крім того він має хороші механічні характеристики та невисоку вартість.

Також необхідно було з'ясувати вплив виду культури на інтенсивність іонізаційних процесів. Для цього були проведені дослідження з чотирма культурами. Види культур та їх характеристики приведені в таблиці 3.3.

Результати досліджень приведені в таблиці 3.4 та в додатку Ж4.

Таблиця 3.3

### Характеристики діелектричних пластин та зернової маси

№	Культура	Вологість зерна, %	Матеріал діелектричної пластини	Товщина діелектричної пластини, мм
1	Ячмінь	12,7	Поліетилен М	0,25
2	Пшениця	14,4	Поліетилен М	0,25
3	Жито	15	Поліетилен М	0,25
4	Овес	12,7	Поліетилен М	0,25

Таблиця 3.4

**Результати досліджень відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів у зерновій масі різних культур при використанні діелектричних пластин з поліетилену**

№	Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Е, кВ/см	1,3	2	2,5	3	3,71	4,22	4,5	5
	Ј, А/м <sup>2</sup>	1,6·10 <sup>-5</sup>	9,7·10 <sup>-5</sup>	1,9·10 <sup>-4</sup>	2,7·10 <sup>-4</sup>	4,5·10 <sup>-4</sup>	6,3·10 <sup>-4</sup>	7,7·10 <sup>-4</sup>	9,8·10 <sup>-4</sup>
	U <sub>іоніт</sub> , мВ·м	0,021	0,32	0,74	2,1	9,9	15,3	17,6	21,4
2	Е, кВ/см	2,19	2,65	3,09	3,49	4,08	4,38	4,88	—
	Ј, А/м <sup>2</sup>	7·10 <sup>-6</sup>	1,4·10 <sup>-5</sup>	2,9·10 <sup>-5</sup>	5,7·10 <sup>-5</sup>	1,3·10 <sup>-4</sup>	1,6·10 <sup>-4</sup>	2,3·10 <sup>-4</sup>	—
	U <sub>іоніт</sub> , мВ·м	0,02	0,095	0,237	0,475	0,76	0,95	1,42	—
3	Е, кВ/см	1,56	2,09	2,46	3,05	3,55	4,05	4,78	4,95
	Ј, А/м <sup>2</sup>	1,6·10 <sup>-5</sup>	1,4·10 <sup>-4</sup>	2,4·10 <sup>-4</sup>	3,4·10 <sup>-4</sup>	5,5·10 <sup>-4</sup>	7,7·10 <sup>-4</sup>	1,3·10 <sup>-3</sup>	1,4·10 <sup>-3</sup>
	U <sub>іоніт</sub> , мВ·м	0,02	0,21	0,63	5,25	10,5	16,4	34	37,2
4	Е, кВ/см	1,43	1,76	2,39	2,86	3,55	3,85	4,25	4,71
	Ј, А/м <sup>2</sup>	1,6·10 <sup>-4</sup>	3,2·10 <sup>-4</sup>	6,4·10 <sup>-4</sup>	1,3·10 <sup>-3</sup>	2,7·10 <sup>-3</sup>	3,6·10 <sup>-3</sup>	5,4·10 <sup>-3</sup>	7,8·10 <sup>-3</sup>
	U <sub>іоніт</sub> , мВ·м	0,02	0,58	11,6	29,8	57,8	73,5	82	96,7

У дослідженнях проведених з зерною масою різних культур з використанням діелектричних пластин з поліетилену товщиною 0,25 мм встановлено, що інтенсивність іонізаційних процесів найбільша при обробці зернової маси вівса, потім зменшується у наступній послідовності: жито, ячмінь, пшениця. Густина струму також була найбільша у зерновій масі вівса і знижувалась у такій же послідовності. Залежності відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів та густина струму в масі зерна різних культур наведені на рис. 3.13 та 3.14 відповідно.

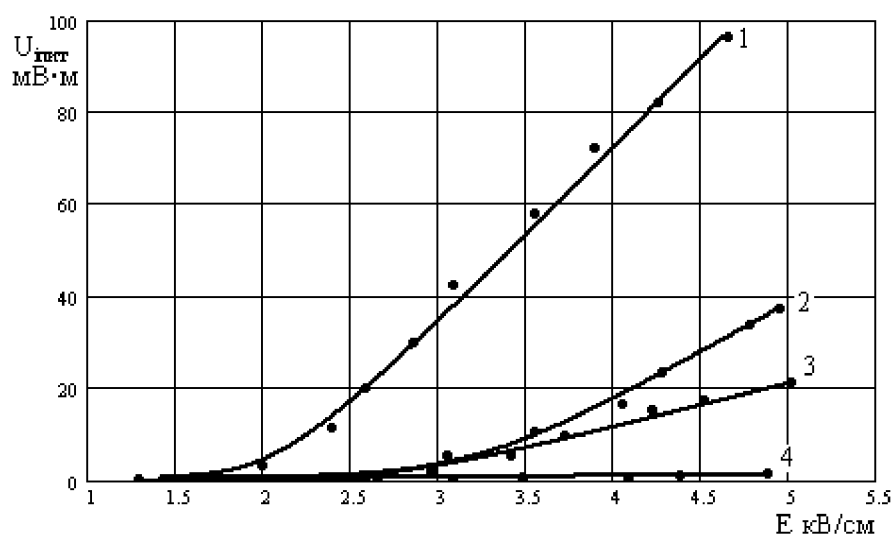


Рис. 3.13. Залежність відносної питомої інтенсивності іонізаційних процесів від напруженості електричного поля при діелектричних пластинах з поліетилену товщиною 0,25 мм: 1 – овес; 2 – жито; 3 – ячмінь, 4 – пшениця

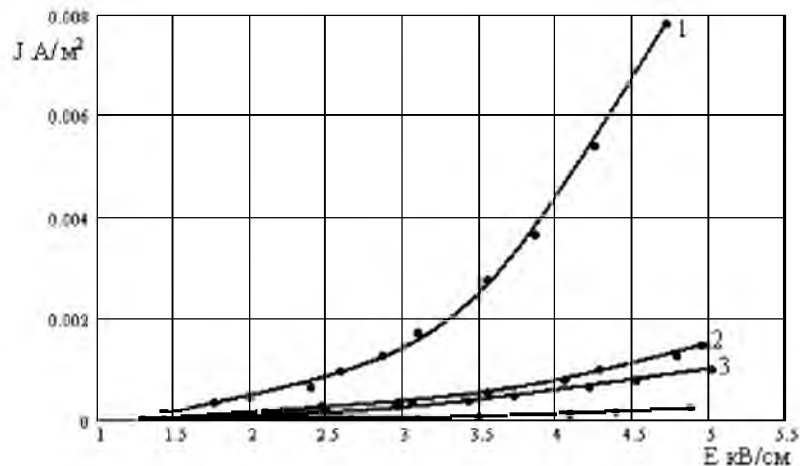


Рис. 3.14. Залежність густини струму від напруженості електричного поля при діелектричних пластинах з поліетилену товщиною 0,25 мм: 1 – овес; 2 – жито; 3 – ячмінь, 4 – пшениця

Розглянувши форму зернин культур, що використовувались у дослідження можемо констатувати, що при більш продовгугатому зерні (овес, жито), іонізаційні процеси проходять більш інтенсивніше. Крім того значний вплив має радіус закруглень зернин. Так зернини вівса мають майже однакові розміри з зернинами жита, але більш загострені краї, що суттєво підвищує інтенсивність іонізаційних процесів. Таку ж різницю бачимо і між ячменем та пшеницею.

Як зазначалося вище на інтенсивність іонізаційних процесів у зерновій масі суттєво впливає вологість зернової маси. Для проведення досліджень в цьому напрямі було отримано п'ять зразків зернової маси з різною вологістю. Три зразки було зволожено дистильованою водою, а один підсушений. Після попередньої підготовки всі зразки розмістили в закритих ємкостях на три доби для рівномірності розподілу вологи. Таким чином було отримано п'ять зразків ячменю різної вологості: 12,7 %, 14,2 %, 16 %, 17 %, 19 %.

При обробці зернової маси в електричному полі високої напруженості необхідно знати напругу початку іонізаційних процесів, оскільки перевищення напруги над початковою буде визначати інтенсивність проходження іонізації в повітряних включеннях зернової маси і впливатиме на режим обробки. Для з'ясування зміни напруги початку іонізаційних процесів в залежності від вологості були зняті осцилограми представлені на рис. 3.15.

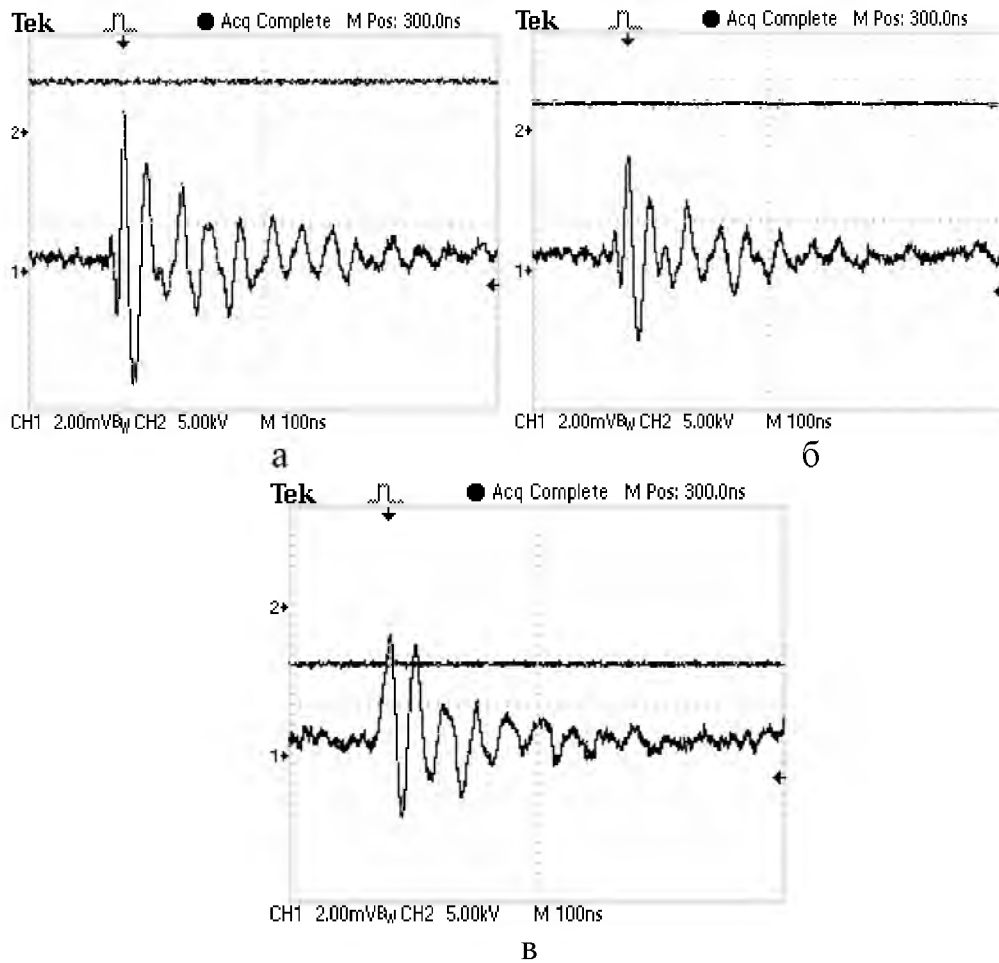


Рис. 3.15. Осцилограми початкових розрядів у зерновій масі ячменю при вологості: а – 12,7 %; б – 14,2 %; в – 16 %

На першому каналі представлених осцилограмах зафіксовано початкові розряди, що виникали в зерновій масі при поступовому підвищенні напруги, а на другому каналі відображено амплітудне значення напруги при якій виникли розряди. На осцилограмах видно, що при вологості 12,7 % розрядні процеси почалися при напрузі 4,5 кВ (напруженість поля 1,5 кВ/см), при вологості 14,2 % напруга становила 3 кВ (напруженість поля 1 кВ/см), при вологості 16 % розрядні процеси розпочались при напрузі 5,5 кВ (напруженість поля 1,83 кВ/см). У зерновій масі кондиційної вологості 14,2 % перші розряди виникають при значно меншій напрузі. Тобто при обробці зернової маси кондиційної вологості необхідні режимні параметри можна досягати при меншій напрузі, що зменшить затрати на обробку. Залежність напруженості поля початку іонізаційних процесів від вологості зернової маси наведені на рис. 3.16.

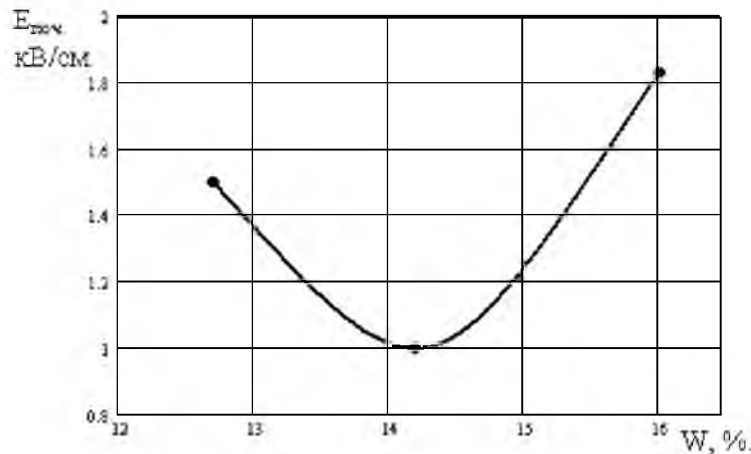


Рис. 3.16. Залежність напруженості поля початку іонізаційних процесів від вологості зернової маси

З підвищенням напруженості електричного поля розряди виникають у все більшій кількості повітряних включень зернової маси, а у включеннях де вони почалися раніше збільшується частота їх проходження. При знятті осцилограм спостерігали, що частота розрядів у зерні кондиційної вологості перевищувала частоту в інших дослідних зразках в 2,5–3,5 рази. Так при однаковій напруженості поля 3,3 кВ/см частота проходження розрядів становила: в зерновій масі вологістю 12,7 % – 1100 Гц; 14,2 % – 2800 Гц; 16 % – 900 Гц; 17 % – 850 Гц. Залежність частоти розрядів від вологості зернової маси наведені на рис. 3.17.

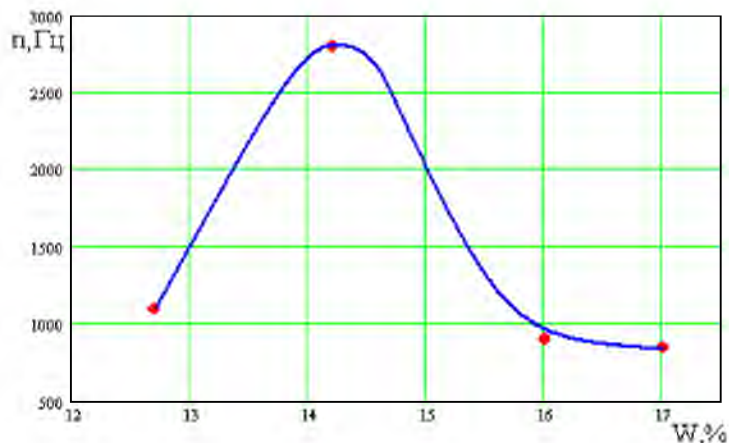


Рис. 3.17. Залежність частоти розрядів від вологості зернової маси

Осцилограми розрядних процесів у зерновій масі ячменю різної вологості при напруженості поля 3,3 кВ/см відображено на рис. 3.18.

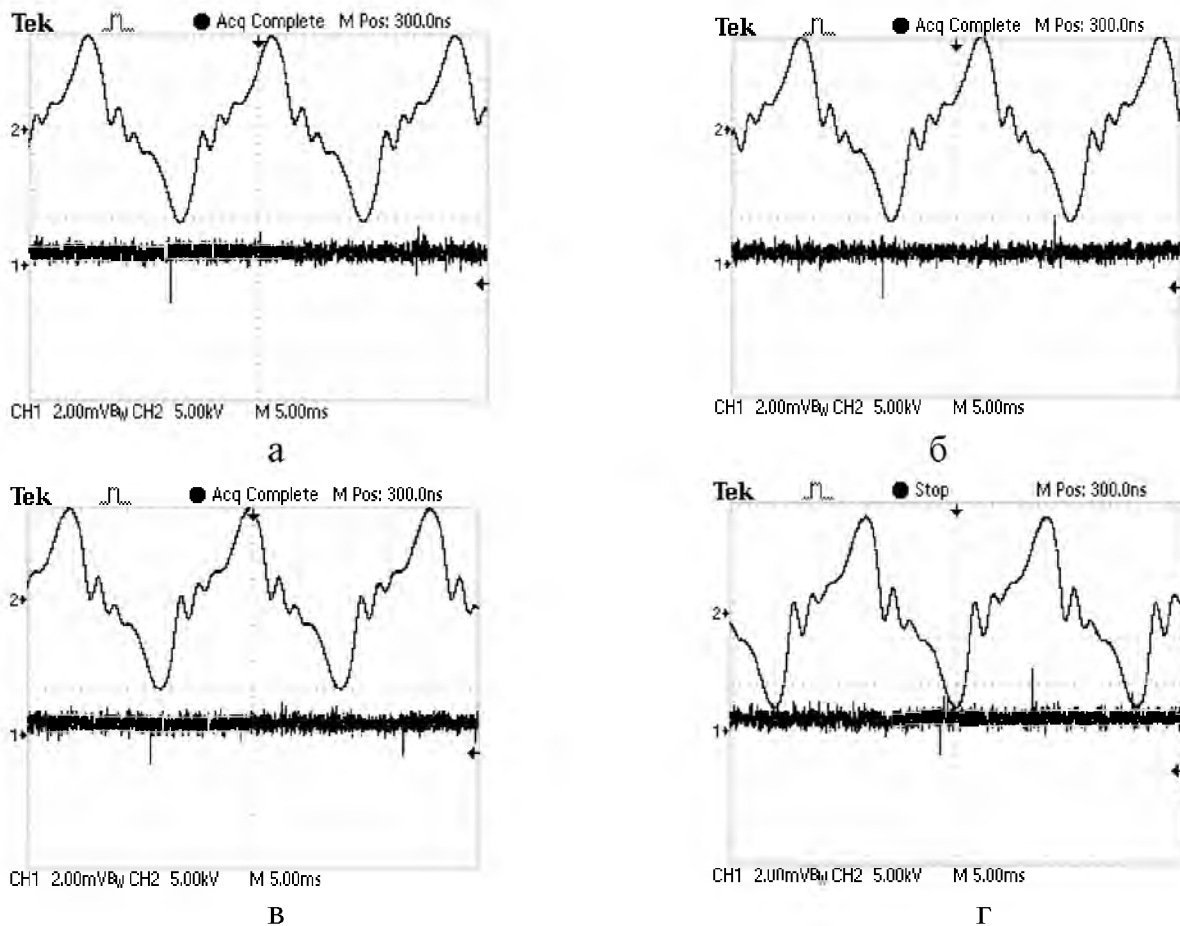


Рис. 3.18. Осцилограми розрядних процесів у зерновій масі ячменю різної вологості при напруженості поля 3,3 кВ/см: а – 12,7 %; б – 14,2 %; в – 16 %, г– 17 %

Наведені осцилограми дозволяють зробити висновок, що в зерновій масі кондиційної вологості іонізаційні процеси проходять з більшою інтенсивністю. Результати теоретичних досліджень показали, що концентрація озону повинна зростати з підвищенням інтенсивності іонізаційних процесів. Це обумовлює необхідність проведення експериментальних досліджень залежності концентрації озону від наведених вище факторів.

### 3.3. Концентрація озону в зерновій масі при різних режимах обробки

Результатом розрядних процесів у зерновій масі є хімічні реакції утворення озону та його розпаду. Для утворення молекули озону необхідний вільний атом, який з'являється в наслідок взаємодії молекули кисню з вільним електроном.



Реакція по дисоціації молекули кисню проходить дуже швидко. Постійна часу цього процесу дуже мала і складає одиниці наносекунд.

Молекула озону утворюється при приєднанні вільного атома до молекули кисню, але для проходження цієї реакції необхідна третя частинка: молекула,

іон, електрон, атом у нейтральному або збудженому стані. Утворення молекули озону потребує часу до 10 мкс. [44].



Крім того в наслідок хімічних реакцій частинки газу постійно рухаються, що призводить до розпаду молекули озону:



Ця реакція залежить від температури і проходить тим інтенсивніше чим вища температура. Кількість озону в озono-повітряній суміші залежить від перевищення інтенсивності утворення над інтенсивністю розпаду.

Таким чином у зерновій масі, що знаходиться під дією електричного поля високої напруженості утворюється озон, концентрація якого залежить від інтенсивності іонізаційних процесів, що регулюється режимними параметрами. Встановлення залежностей між властивостями зернової маси, режимними параметрами та концентрацією озону дозволить встановити ефективні режими знезаражувальної обробки. Для встановлення цих залежностей були проведені експериментальні дослідження.

Дослідження проводились на розробленій установці, принципова схема якої зображена на рис. 3.19, зовнішній вигляд рис. 3.20.

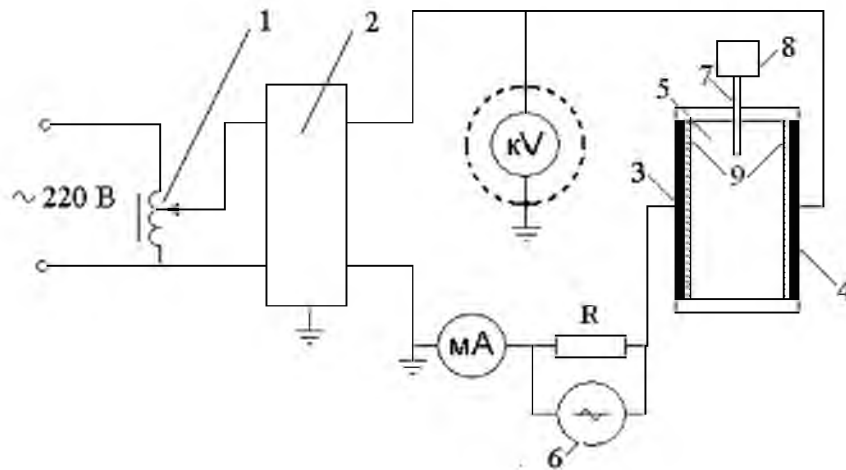


Рис. 3.19. Схема установки для визначення концентрації озону в зерновій суміші: 1 – автотрансформатор; 2 – трансформатор ОСВ-1,5; 3, 4 – плоско-паралельні пластинчасті електроди; 5 – камера для розміщення зерна; 6 – осцилограф; 7 – індикаторна трубка; 8 – аспіратор АМ – 5; 9 – пластини з діелектричного матеріалу



Рис. 3.20. Зовнішній вигляд установки для визначення концентрації озону у зерновій суміші

Вимірювання концентрації озону проводили з використанням лінійно – колористичного методу в основу якого покладено вплив озону на індикаторний порошок, що виготовлений на основі фуксину. При взаємодії з озоном цей органічний барвник змінює свій червоний колір на фіолетовий. Хоча на сьогоднішній день існують і інші ефективні методи визначення концентрації озону [99, 122, 123, 124, 129].

Цей метод чутливий при малих концентраціях і в той же час дозволяє вимірювати досить високі концентрації. Крім того, наявність двоокису азоту до 2,4 мкг. у пробі не впливає на точність вимірювання.

Верхня кришка камери обробки виготовлена з отвором в який вставляється трубка 7 (рис. 3.19), що наповнена індикаторним порошком [118]. Після вмикання установки, через індикаторну трубку, до кінця якої приєднаний аспіратор 8, з рівномірною швидкістю (25 мл/хв.) протягується до 1000 мл. повітря.

У результаті протягування повітря в індикаторній трубці утворювався шар фіолетового кольору, довжину якого вимірювали та підставивши в формулу 3.4 визначали концентрацію озону в камері обробки.

$$K_{O_3} = 0,39 \frac{l \cdot 1000}{V}, \quad (3.4)$$

де 0,39 – емпіричний коефіцієнт;  $l$  – довжина сине-фіолетового шару, мм;  
 $V$  – об'єм проби повітря прокачаного через трубочку, мл.

У процесі знезаражувальної обробки зерна важливе місце займають матеріал та товщина діелектричних пластин, що відділяють зернову масу від високовольтних електродів і запобігають виникненню струму провідності, який є небажаним фактором при даному виді обробки. З широкого спектру діелектричних матеріалів, що на сьогодні випускає промисловість, необхідно було виділити найбільш ефективний за фізичними та технологічними параметрами, а також вартості. Попередні дослідження показали, що одним з таких матеріалів може бути

поліетилен марки М, який має хороші механічні властивості та діелектричну проникність, а також виготовляється в широкому спектрі товщини (розд. 3.2.)

Для визначення ефективної товщини поліетилену, що може використовуватись при різних режимах обробки та різній вологості зернової маси, були проведені дослідження на ячменю сорту “Етикет”. Відстань між електродами камери обробки становила 3 см, висота шару ячменю 6см, ширина електродів 10 см. Встановлюючи напругу на електродах 16 кВ змінювали товщину поліетилену, що відділяє зернову масу від високовольтних електродів. Залежність концентрації озону від товщини діелектричних пластин та потужності установки для ячменю вологістю 12,2, 14,5 та 17,2 % наведені на рис. 3.21 та 3.22. Детальні розрахунки представлені в додатку А1.

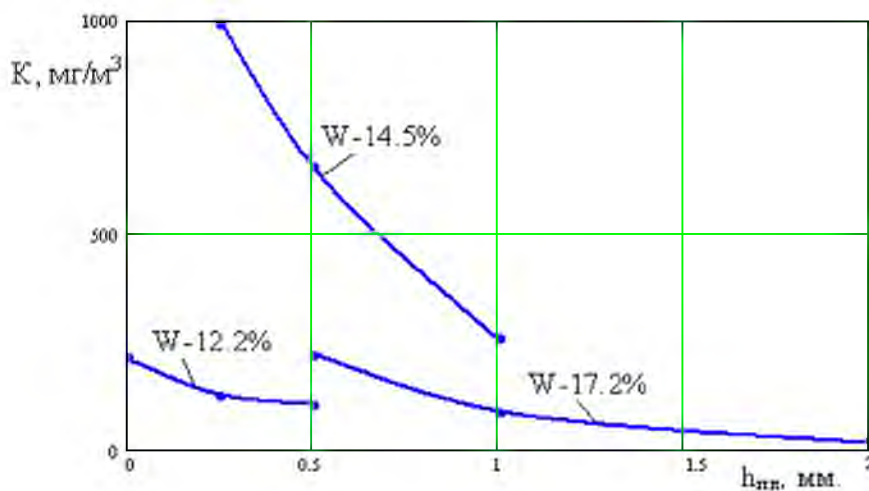


Рис. 3.21. Залежність концентрації озону від товщини діелектричних пластин в зернової масі різної вологості

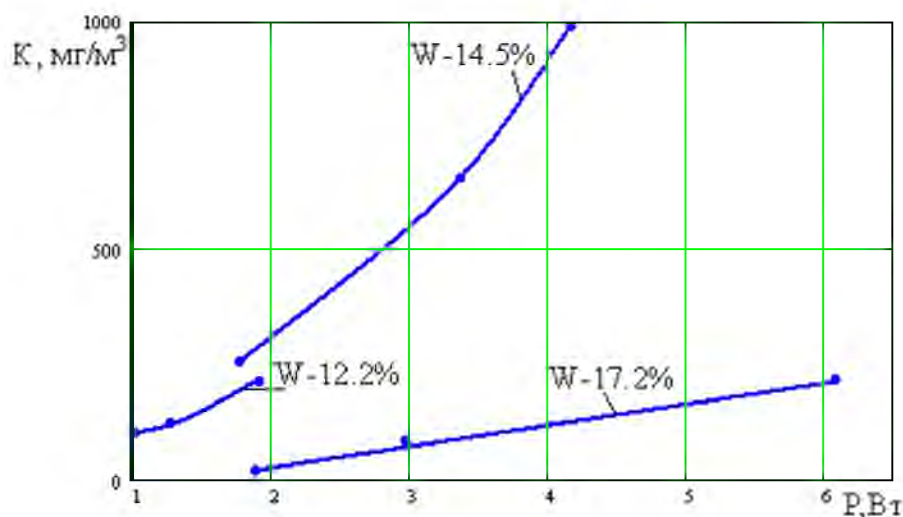


Рис. 3.22. Залежність концентрації озону від потужності в зернової масі різної вологості

З наведених залежностей видно, що при обробці вологої зернової маси більше 17% доцільно використовувати діелектричні пластини з поліетилену товщиною 0,5 мм. Оскільки при використанні товстіших діелектричних пластин

зменшується концентрація озону, а тонші діелектричні пластини призводять до зростання струму провідності, що може призвести до пробою зернової маси.

При обробці сухої зернової маси до 13% концентрація озону зменшується із зростанням товщини пластин. Найвища концентрація досягається при обробці без пластин, а струм провідності при цьому незначний. Тобто суху зернову масу доцільно обробляти без діелектричних пластин.

Обробку ж зернової маси кондиційної вологості можна проводити з пластинами товщиною від 0,25 до 1мм, але при використанні пластин різної товщини змінюється концентрація озону і для забезпечення дози обробки  $2940 \text{ мг}\cdot\text{хв}/\text{м}^3$ , яка встановлена експериментальними дослідженнями наведеними в розділі 3.4 цієї роботи, необхідно збільшувати час обробки, що значно впливає на питомі затрати електроенергії. Залежність питомої затрати електроенергії від товщини діелектричних пластин наведені на рис. 3.23.

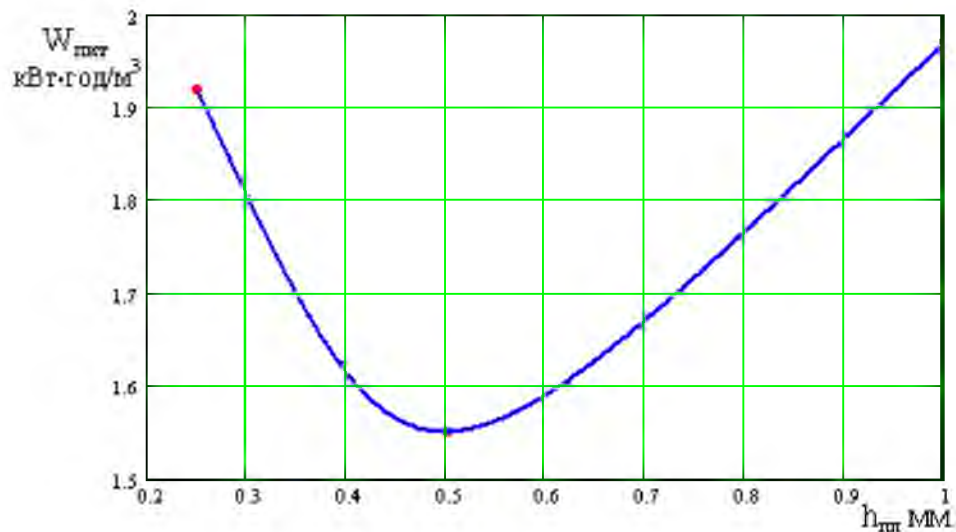


Рис. 3.23. Залежність питомих затрат електроенергії при обробці зернової маси ячменю вологістю 14,5 % від товщини діелектричних пластин

Так при використанні діелектричних пластин товщиною 1 мм для забезпечення дози  $2940 \text{ мг}\cdot\text{хв}/\text{м}^3$  зернову масу ячменю необхідно обробляти 11,7 хв. при потужності 1,76 Вт. При таких режимних параметрах на обробку  $1 \text{ м}^3$  зернової маси ячменю необхідно затратити  $1,97 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$  електроенергії.

Встановлення в камеру обробки діелектричних пластин товщиною 0,25 мм дозволяє підвищити концентрацію озону в масі ячменю до  $988 \text{ мг}/\text{м}^3$ . При такій концентрації для забезпечення встановленої дози час обробки становитиме 3хв. Але проведені експериментальні дослідження, які наведені в розділі 4.3 цієї роботи показали, що найкраща ефективність обробки досягається при мінімальному часі обробки 5 хв. Тобто при потужності 4,16 Вт та часу обробки 5 хв. для забезпечення ефективної обробки ячменю при використанні пластин товщиною 0,25 мм необхідно затратити  $1,92 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$  електроенергії.

При обробці маси ячменю з пластинами товщиною 0,5 мм необхідно доза забезпечується при експозиції 4,58 хв. З врахуванням потужності установки, яка при використанні діелектричних пластин товщиною 0,5 мм становить 3,36 Вт та

встановленого мінімального часу обробки 5хв. питомі затрати електроенергії становитимуть 1,55 кВт·год/м<sup>3</sup>. Таким чином при використанні діелектричних пластини товщиною 0,5 мм ефективна доза обробки забезпечується при найменших енергетичних затратах.

З наведеного матеріалу видно, що доцільніше проводити знезаражуючу обробку зернової маси кондиційної вологості 14–14,5 % з використанням діелектричних пластин з поліетилену товщиною 0,5 мм. При обробці зернової маси некондиційної вологості та використанні діелектричних пластин іншої товщини для досягнення ефективної дози обробки необхідно підвищувати режимні параметри, що неодмінно призводить до підвищення питомої потужності, а відповідно і енергетичних затрат.

Для встановлення залежності концентрації озону від напруженості електричного поля змінного струму для зернової маси кондиційної вологості при використанні діелектричних пластин з поліетилену товщиною 0,5 мм. Були проведені дослідження на ячменю сорту “Етикет” вологістю 14,5 % при відстані між електродами 3 см та висоті шару ячменю 6 см. Результати досліджень представлені на рис. 3.24 та в додатку А.

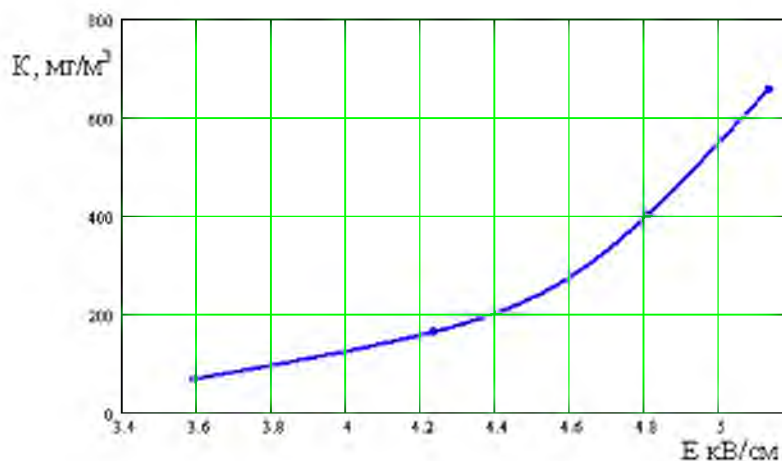


Рис. 3.24. Залежність концентрації озону від напруженості електричного поля в зерновій масі вологістю 14,5 %, при діелектричних пластинках з поліетилену товщиною 0,5 мм

З підвищенням напруги, яка подається на високовольтні електроди, зростає напруженість поля в зерновій масі, а відповідно і концентрація озону. При напруженості поля 5кВ/см концентрація озону в зерновій масі ячменю вологістю 14,5 % становила 550 мг/м<sup>3</sup>. Потужність лабораторної установки при цьому становила 3,15 Вт (рис. 3.25). При таких режимних параметрах для обробки ячменю зазначеною дозою питомі затрати електроенергії становитимуть 1,56 кВт·год/м<sup>3</sup>. Це ще раз підтверджує, що для обробки 1 м<sup>3</sup> ячменю вологістю 14,5 % необхідно 1,5-1,6 кВт/год електроенергії.

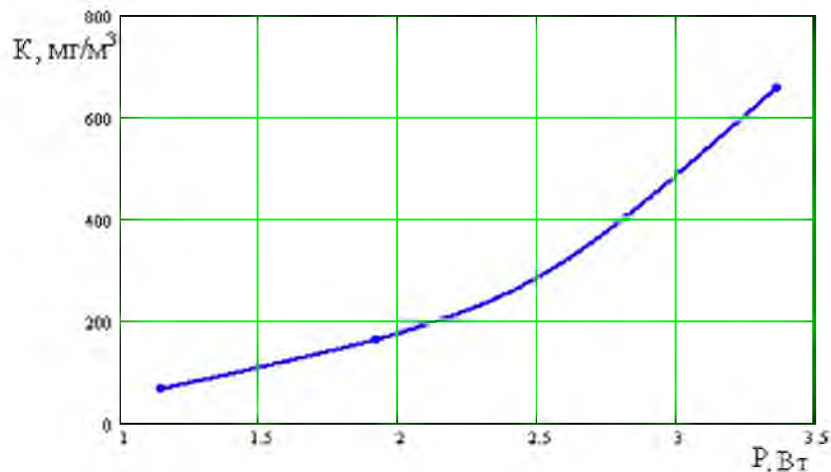


Рис. 3.25. Залежність концентрації озону від потужності у зерновій масі вологістю 14,5 % при діелектричних пластинах з поліетилену товщиною 0,5 мм

Проходження іонізаційних процесів у зерновій масі, крім утворення озону, супроводжується утворення оксидів азоту, що мають властивості каталізатора, який значно підсилює дію озону. Вимірювання концентрації оксидів азоту також виконували лінійно – колористичним методом з використанням індикаторних трубок, що виготовляються промисловістю. Залежність зображена на рис. 3.26 засвідчує зростання концентрації оксидів азоту з підвищенням напруженості електричного поля, як і у випадках з концентрацією озону.

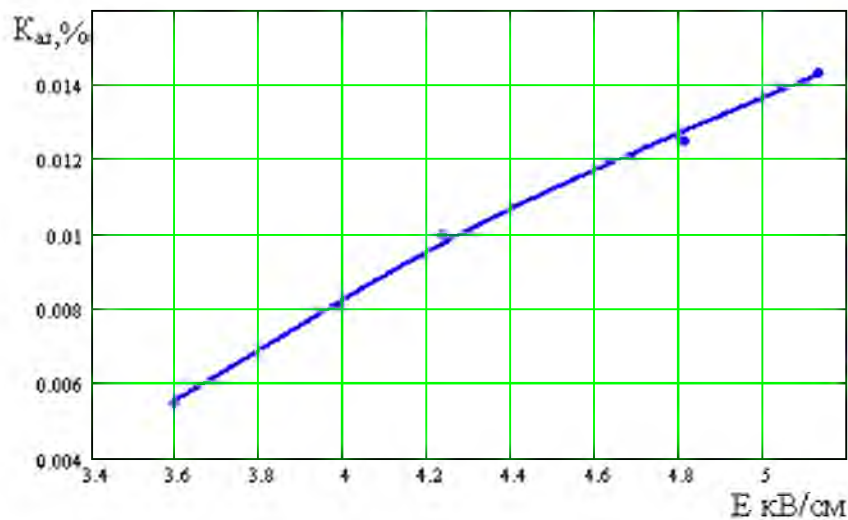


Рис. 3.26. Залежність концентрації оксидів азоту від напруженості поля у зерновій масі вологістю 14.5 % при діелектричних пластинах з поліетилену товщиною 0,5 мм

Відомо, що концентрації оксидів азоту до 0,15 % безпечні для людини і застосовуються навіть у медицині. Після обробки ран оксидами азоту прискорюється їх загоювання та знешкоджується мікрофлора, що запобігає ускладненням [119]. З наведеної залежності видно, що при обробці зернової маси запропонованим способом з напруженістю поля 5 кВ/см концентрація оксидів азоту становить 0,014 %.

Як було зазначено вище із усіх властивостей зернової маси, що впливають на режимні параметри знезаражувальної обробки зерна запропонованим способом найважливішою є його вологість. Тому, що вона обумовлює діелектричні властивості зернової маси, які суттєво впливають на розрядні процеси в ній під дією електричного поля високої напруженості, а відповідно і концентрацію озону. Важливим залишається той факт, що регулювання вологості зернової маси тривалий, трудомісткий і енерговитратний процес. Складність полягає ще у тому, що при зміні умов навколишнього середовища в яких зберігається зерно його вологість також змінюється. Тобто режимні параметри, що забезпечать ефективну знезаражувальну обробку необхідно визначати для кожної партії зерна в залежності від його вологості.

Для дослідження впливу вологості на концентрацію озону використовували ячмінь сорту “Етикет” з вологістю у межах з 12.2 до 17.2 %. При дослідженнях використовувались діелектричні пластини з поліетилену товщиною 0,5 мм, відстань між електродами становила 3 см, висота суміші ячменю 6 см. Напруга на електродах становила 16 кВ [17].

У результаті проведених досліджень визначено математичну залежність  $K_o=f(W)$ . Результати досліджень наведені на рис. 3.27 та в додатку А. Графік функції, який побудовано за отриманою математичною залежністю також відображено на рис. 3.27.

Аналітичний вираз залежності  $K_o=f(W)$ , отриманий на ПЕОМ з використанням програмного забезпечення, представлено виразом:

$$K_o = -52834 + 9891 \cdot W - 600 \cdot W^2 + 11.88 \cdot W^3, \quad (3.5)$$

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

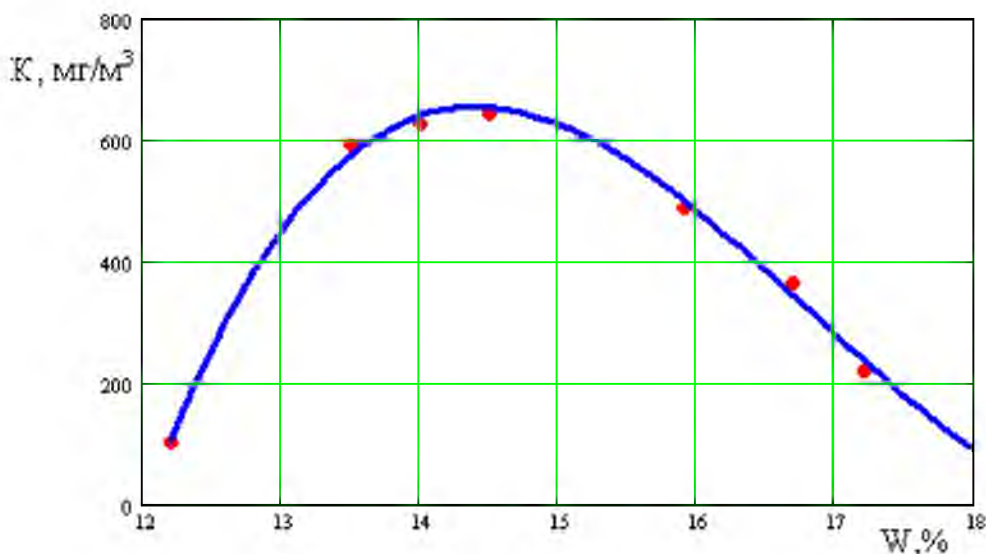


Рис. 3.27. Залежність концентрації озону в зернової масі при напрузі 16 кВ та відстані між електродами 3см з встановленими діелектричними пластинами з поліетилену товщиною 0,5 мм в залежності від її вологості: • – дані отримані за матеріалами досліджень; — – графік функції побудований за емпіричною формулою

Максимум концентрації озону досягається при кондиційній вологості зерна 14-14,5 %. Це можна пояснити здатністю зернової маси переходити від стану діелектрика до провідника в залежності від вологості. Так при вологості 12 % зерно перебуває в стані діелектрика і кількість іонів у міжклітинній рідині дуже мала. У такому стані зернової маси часткові розряди виникають досить рідко і відповідно концентрація озону досить низька. З підвищенням вологості збільшується кількість іонів у міжклітинній рідині зернин, що сприяє утворенню електричного поля в повітряних включеннях і відповідно інтенсивнішому проходженню розрядних процесів. Тому відбувається зростання концентрації озону до вологості 14,5 %. При подальшому підвищенні вологості кількість іонів продовжує зростати, але через зернову масу починає протікати струм провідності, що перешкоджає накопиченню заряду в повітряних включеннях. Інтенсивність виникнення часткових розрядів зменшується. Так після вологості 15% спостерігаємо поступове зниження концентрації озону.

Адекватність математичних моделей визначали за критерієм Фішера при довірчій імовірності 0,95:

$$\Phi = \frac{D_a}{D_{cp}}, \quad (3.6)$$

де  $D_a$  – дисперсія адекватності;

$D_{cp}$  – середня дисперсія експерименту.

$$D_a = \frac{m}{N-l} \cdot \sum_{v=1}^N (\bar{y}_v - \hat{y}_v)^2; \quad (3.7)$$

$$D_{cp} = \frac{1}{N(m-1)} \cdot \sum_{v=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{vj} - \bar{y}_v)^2, \quad (3.8)$$

де  $\hat{y}_v$  – теоретичне значення функції для кожного вимірювання;

$\bar{y}_v$  – середнє значення функції за експериментальними даними для кожної серії вимірювань;

$N$  – кількість експериментальних точок;

$m$  – кількість вимірювань в одній серії (одному досліді);

$y_{vj}$  – значення функції за експериментальними даними;

$l$  – кількість коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Розрахункове значення критерію Фішера –  $\Phi$  порівнювалось з критичним значенням –  $\Phi_{кр}$  для заданої імовірності й кількості ступенів вільності  $V_1 = N-l$ ,  $V_2 = N \cdot (m-1)$ .

Гіпотеза адекватності теоретичної моделі приймається за умови  $\Phi < \Phi_{кр}$ .

У додатку А1 в якості приклада приведено розрахунок критерію Фішера і проведена оцінка встановленої математичної моделі при визначенні концентрації озону в зерновій масі різної вологості. Критерій Фішера дорівнює  $\Phi = 2,375$ . Це значення менше критичного  $\Phi_{кр}=2,87$ .

У проведених дослідженнях залежності концентрації озону від вологості зерна на електроди камери обробки подавалась напруга 16 кВ, але при цьому напруженість поля в зерновій масі була різною. Це пов'язано з розподілом напруженості електричного поля відповідно до діелектричної проникності шарів, яка у випадку із зерною масою залежить від вологості. Залежності концентрації озону та питомої затраченої потужності при різній вологості зерна наведені на рис. 3.28 та 3.29 відповідно.

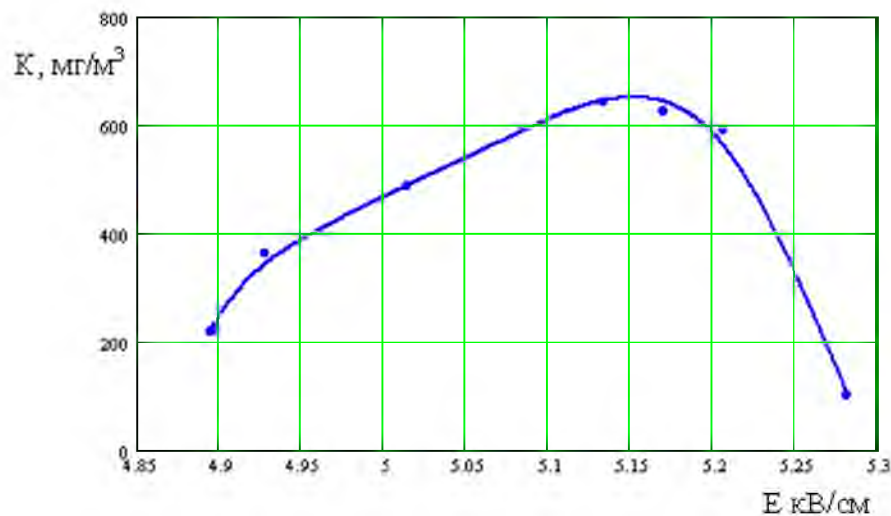


Рис. 3.28. Залежність концентрації озону від напруженості поля в зерновій масі з різною вологістю при діелектричних пластинах з поліетилену товщиною 0,5 мм

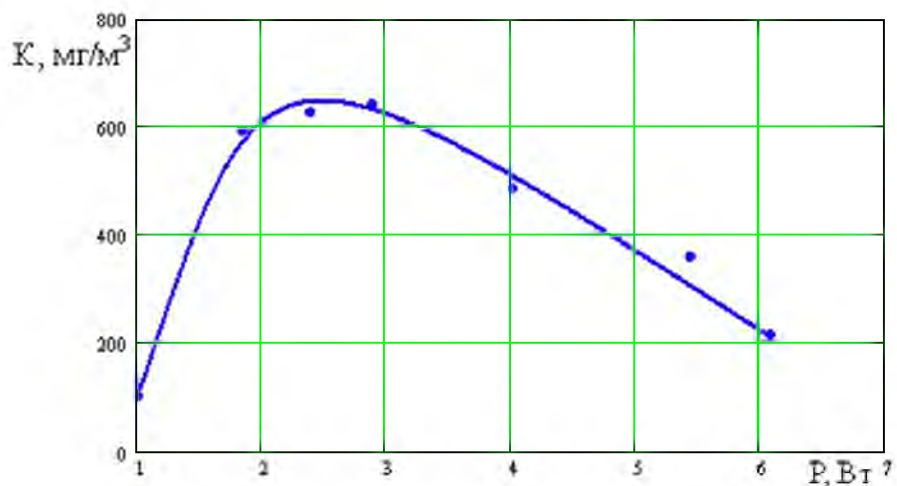


Рис. 3.29. Залежність концентрації озону в зерновій масі різної вологості від потужності установки при діелектричних пластинах з поліетилену товщиною 0,5 мм

У результаті проведених досліджень встановлено, що найбільша концентрація озону утворюється при обробці зернової маси ячменю вологістю 14,5 %.

При дослідженні впливу товщини діелектричних пластин на концентрацію озону в зерновій масі ячменю використовували заводські номінали товщини поліетилену: 0,25; 0,5; 1; 2 мм. Аналіз результатів досліджень за показниками концентрація озону, потужність установки та питомі затрати електроенергії дозволив встановити ефективну товщину поліетилену, що дорівнює 0,5 мм.

Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що при обробці зернової маси ячменю вологістю 14–14,5 %, концентрація озону становить більше 600 мг/м<sup>3</sup>, при напрузі 16 кВ та відстані між електродами 3 см. Питомі затрати електроенергії при обробці ячменю вологістю 14,5 % становлять 1,5–1,6 кВт·год/м<sup>3</sup>. Як відомо з літературних джерел (розділ 1.2 цієї роботи), концентрація 350 мг/м<sup>3</sup> практично стерилізує зернову масу від усіх видів мікроорганізмів. Тому можна зробити висновок, що запропонований спосіб знезаражуючої обробки зернової маси в електричному полі високої напруженості змінного струму може бути ефективним засобом боротьби з поверхневою мікрофлорою.

#### **3.4. Вплив знезаражуючої обробки на життєдіяльність мікрофлори зерна та його посівні якості**

Висока якість насіння є однією із головних умов отримання високих і якісних врожаїв сільськогосподарських культур. Насіння сільськогосподарських культур багате білками, вуглеводами і мінеральними речовинами, представляє собою хороший живильний субстрат для життєдіяльності і зберігання патогенних мікроорганізмів. Насінням можуть розмножуватися багато хвороб, що погіршують якість і знижують врожай.

У наслідок посіву зараженого насіння хвороби передаються на рослини в період вегетації обумовлюючи зараження нового врожаю.

Дослідження впливу знезаражуючої обробки проводили в двох напрямках. Вплив на мікроорганізми, які викликають псування насіння при зберіганні та вплив на хвороботворні мікроорганізми, які проявляються при висіві насіння.

Обробка дослідних зразків проводилась на розробленій установці (підрозділ 3.1).

Серед мікроорганізмів, що негативно впливають на якість насіння при зберіганні, найбільш потенційно небезпечними та стійкими до різних засобів обробки є плісняві гриби. У розділі 1.2 цієї роботи наведені дані по дослідженнях життєздатності спор пліснявих грибів, які вирощувались на зерні пшениці та ячменю вологістю 25%. Втрата життєздатності спор у межах 99,8–99,9 % була досягнута при концентрації озону 350 мг/м<sup>3</sup> і експозиції 2 хв і більше. При концентрації 150 мг/м<sup>3</sup> і тій же експозиції цей показник становив 33,8–76,5 %, але слід відзначити, що у цих дослідах озон подавався до зернової маси по трубопроводу і його концентрація вимірювалась на виході озонатора, а не у

зерновій масі. Озон має властивість швидко розпадатися тому фактична концентрація, якою оброблялася зернова маса, буде значно меншою. Крім того він активно взаємодіє з поверхневими шарами і погано проникає до нижніх шарів зернової маси, що робить обробку нерівномірною. Тому постала необхідність проведення досліджень на розробленій установці з вимірюванням концентрації озону безпосередньо в масі зерна.

Дослідження проводили на пшениці сорту Подолянка при температурі повітря 19,3<sup>0</sup>С та вологості 70%. Режими обробки наведені в таблиці 3.5.

При режимах обробки I – III насіння обробляли озоном протягом 5 хв; при IV – VI режимах - 3 хв, потім установку вимикали, насіння перемішували і знову обробляли ще 2 хв.

Таблиця 3.5

**Режим обробки зернової маси пшениці сорту Подолянка в електричному полі високої напруженості**

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

Видовий склад збудників хвороб насіння озимої пшениці визначали за методиками, наведеними у працях Н. А. Наумової [107], В. С. Шевелухи, К. В. Новожилова, С. Ф. Сидорової та ін. [159]. Результати наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

**Видовий склад збудників на поверхні насіння**

Варіант	видовий склад збудників									
	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Alternaria tenuis</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Penicillium sp.</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Fusarium sporotrichiell</i> <sup>a</sup>	<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

У результаті проведених досліджень на насінні пшениці було виявлено паразитичні та сапрофітні мікроорганізми [74].

Шкідливість хвороб насіння, спричинених паразитичними організмами, проявляється по різному, в залежності від патогенності організму, від глибини його проникнення і залягання у насінні, а також від умов навколишнього середовища.

Негативний вплив полягає в пошкодженні тканин насіння, що призводить до зниження його схожості, послаблення проростків, випадання сходів, прорідження посівів. Поширеним представником паразитичних мікроорганізмів є гриби роду *Fusarium*, деякі види якого були виявлені на дослідному насінні.

Хоча серед цього поширеного роду одні з видів пристосувались до розвитку на вегетативних рослинах, тобто придбали паразитичні властивості; інші ж види слабо розвиваються на рослинах у період вегетації, а проявляють велику активність у період зберігання насіння, коли життєві процеси в насінні призупиняються.

У результаті обробки кількість насінин, заражених *Fusarium sporotrichiella* Bilai зменшилась на 80 %, *Fusarium graminearum* Schw – на 80 %, *Fusarium culmorum* (W. C. Sm.) Sacc – на 64 %, *Fusarium oxysporum* Shlecht – на 80 % і *Fusarium moniliforme* Sheld на 85 % (рис. 3.30).

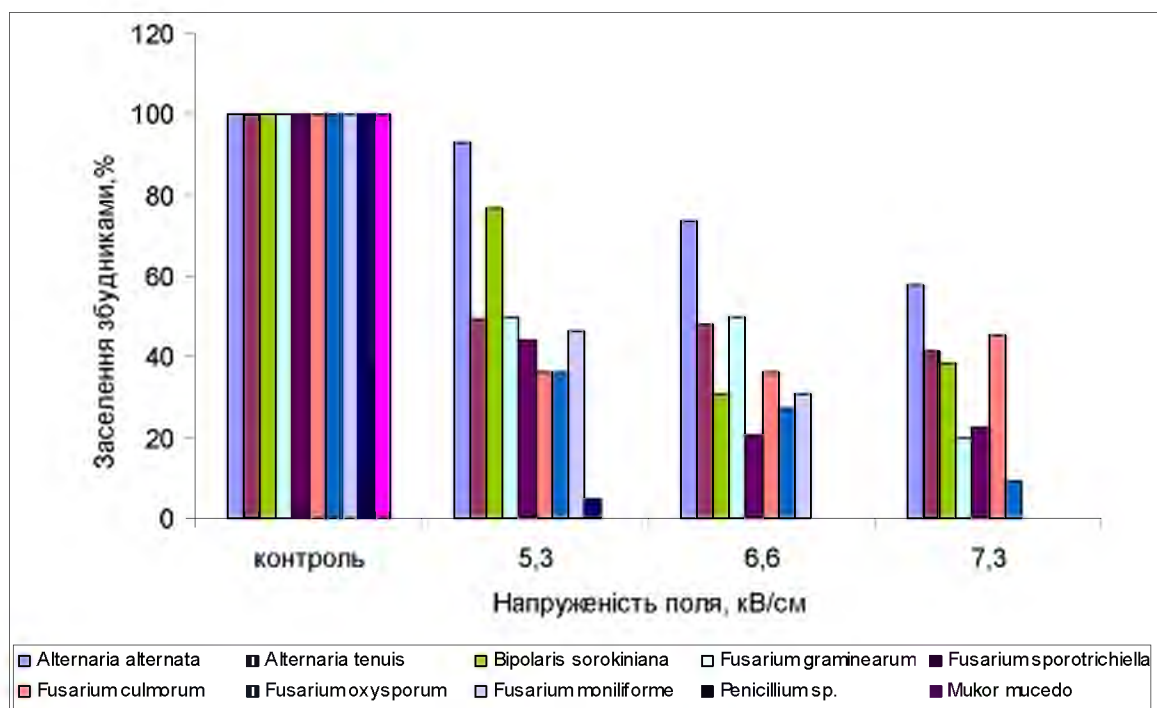


Рис. 3.30. Вплив озону на мікобіоту насіння озимої пшениці сорту Подолянка

Також, серед виявлених грибів до паразитичних слід віднести *Bipolaris sorokiniana shoemaker*, що викликає кореневу гниль після висіву насіння. Ефективність знищення даного збудника склала 70%. Як і у випадках з паразитичними фузаріозами найефективніший результат був досягнутий при напруженості поля 6,6 кВ/см.

Крім паразитичних організмів на поверхні насіння різних культур звичайно знаходиться велика кількість сапрофітних мікроорганізмів, спор грибів і бактерій, що потрапляють на насіння ще в період його досягання на

материнській рослині. В умовах високої вологості повітря або при наявності підвищеної вологості насіння багато сапрофітних мікроорганізмів починають швидко розвиватися, що викликає загибель раніше здорового насіння.

Серед сапрофітних найбільш небезпечні гриби роду *Alternaria*, оскільки вони можуть розвиватися без надмірної вологи насіння. У результаті обробки кількість зернівок заселених збудниками *Alternaria alternata* Keis зменшилось на 43 % по відношенню до контролю, а *Alternaria tenuissima* (Kunze ex Nees et T.Nees: Fries) Wiltshire – на 59%. Найефективніший вплив на даних збудників, як і на сапрофітних фузаріозів, був виявлений при обробці зернової маси в електричному полі з напруженістю 7,3 кВ/см. Також на контролі була відмічена присутність представників роду *Penicillium* та *Mukor mucedo* для розвитку яких необхідна велика кількість вологи. В оброблених варіантах *Penicillium* було виявлено лише при мінімальному режимі обробки, а *Mukor mucedo* було знезарежено при всіх режимах обробки.

Також були проведені дослідження де зернова маса оброблялась на протязі 3 хв потім установка вимикалась, насіння перемішувалось і установка вмикалась ще на 2 хв. Результати дослідження наведені на рис. 3.31.

Отримані результати мікологічного аналізу виявились гірші ніж у варіантах, де насіння не перемішували.

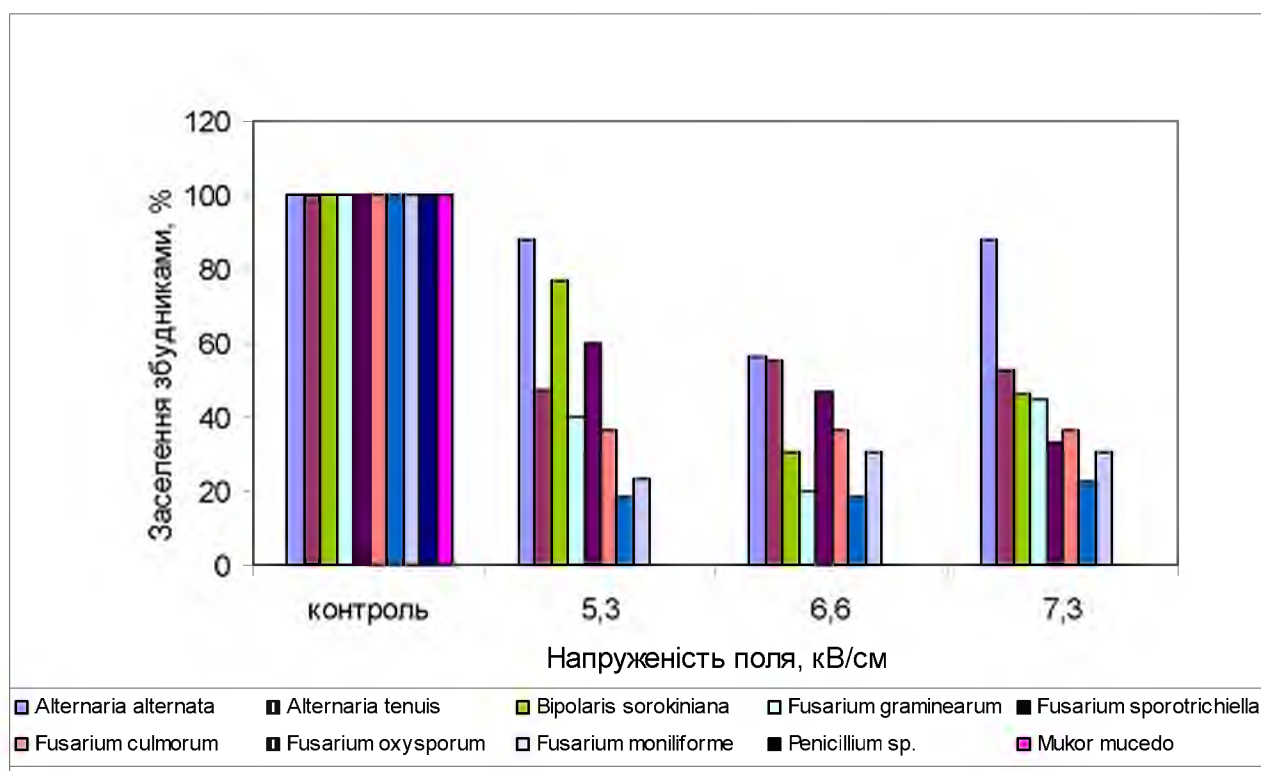


Рис. 3.31. Вплив озону на мікобіоту насіння озимої пшениці сорту Подолянка (насіння перемішували)

Проведені дослідження показали, що гриби, із різних родів, по різному реагують на обробку озonom. Так представники роду *Penicillium* та *Mukor mucedo* знищуються майже на 100% при обробці зернової маси озonom, що

утворюється в ній під дією електричного поля високої напруженості. Представники роду *Fusarium* по різному реагують на озон в залежності від своїх паразитичних або сапрофітних властивостей, але запропонований спосіб дозволяє знищувати близько 80% грибів даного роду. Найбільш стійкими виявились представники роду *Alternaria*, які були знищені на 50%.

Також було проведено мікроскопічний аналіз впливу озону на конідії пліснявих грибів. У контрольних зразках конідії мають чітку розвинену форму (рис. 3.32а) та вибудовану структуру ланцюжків (рис. 3.32б). При сприятливих умовах гриби з такими конідіями будуть швидко розвиватися і псувати зернову масу. В оброблених же зразках поодинокі конідії пригнічені або втратили свою життєздатність (рис. 3.32в), а ланцюжки, що вони утворювали зруйновані (рис. 3.32г). Таким чином ще раз підтверджується здатність озону взаємодіяти з елементами клітин впливаючи на них.

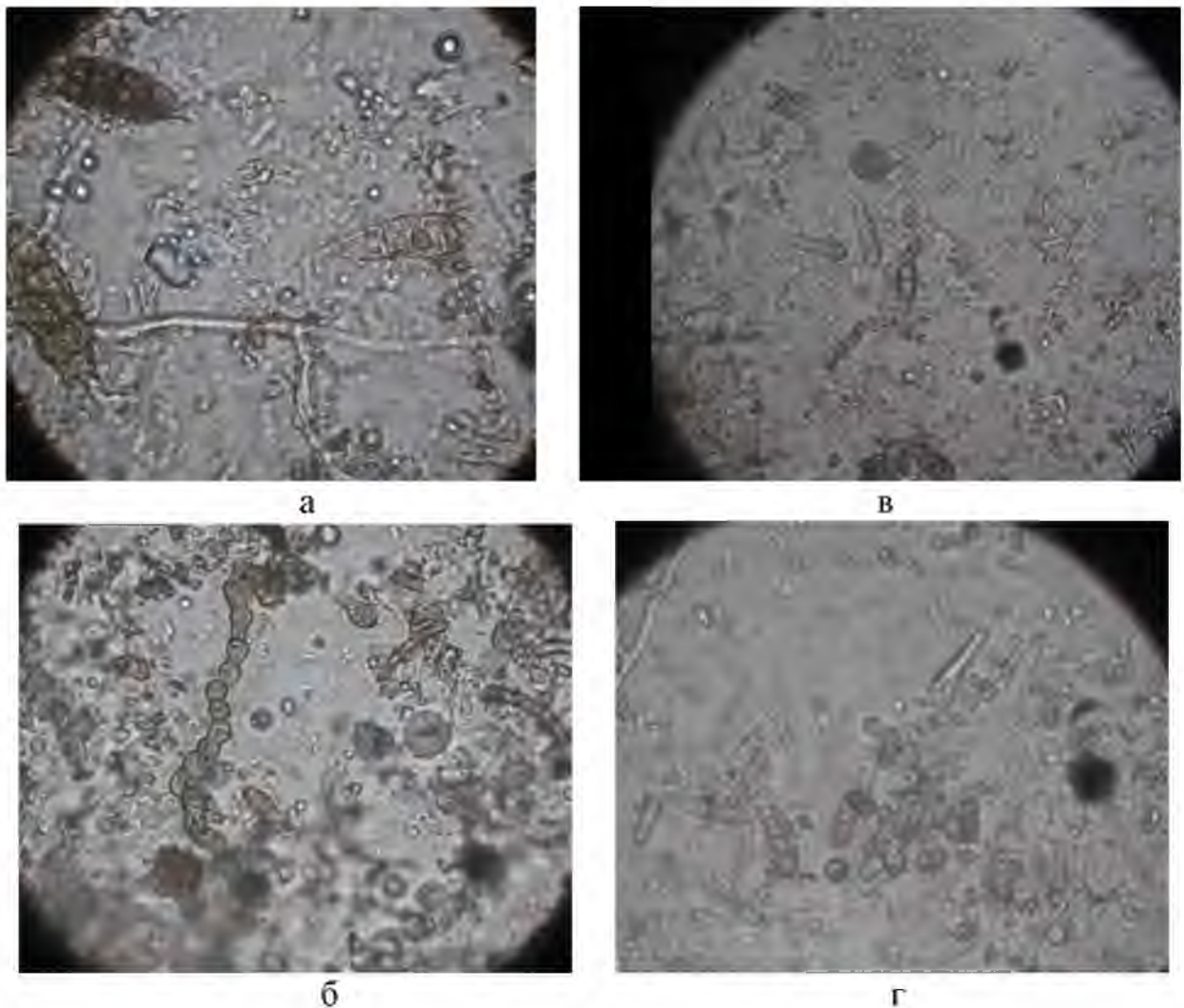


Рис. 3.32. Вплив озону на конідії пліснявих грибів: а,б) контроль, в,г) варіант оброблений в електричному полі високої напруженості змінного струму

На поверхні насіння, крім паразитичних та сапрофітних грибів, знаходиться велика кількість хвороботворних мікроорганізмів, які перебувають в

стані спокою і проявляються лише в стадії молочної стиглості. Найнебезпечніша з них – тверда сажка. Недбале ставлення до цієї хвороби може призвести до повної втрати врожаю [7].

Тверда сажка пшениці може бути викликана двома грибами – *Tilletia caries* і *Tilletia levis*, які зустрічається в насінневому матеріалі у виді домішок – сажкових зерен (мішечків) або у виді спор, що прилипають до поверхні насінин. Спори потрапляють на насіння ще при збиранні врожаю і знаходяться у стані спокою. При посіві насіння спори проростають і потрапляють в молоді проростки. Найбільше зараження проростків проходить в умовах сильного зволоження поверхні і пониженої температури. Міцелій гриба росте разом з рослиною, досягає колосу. Гриб руйнує зав'язі колосків, і після дозрівання міцелій розпадається на спори. Хворі колоски наповнюються масою сажкових спор, покритих оболонкою зернини. Чим більше спор сажки знаходиться на посівному зерні, тим більше відсоток заражених колосків нового врожаю в полі.

Інфіковані рослини мають розмір стебла і колоса на 15–20 см менше, порівняно зі здоровими [124, 70, 88]. При зараженні рослин знижується маса 1000 зерен [169, 185], формується менше зернівок у колосі на 10–15 %, знижується їх якість [103, 73, 155, 153]. Крім кількісних втрат врожаю, тверда сажка погіршує якість виробленої продукції – сажкове зерно стає непридатним для використання в їжу і на фураж через накопичення в ньому триметиламіну [109]. Хімічні методи боротьби, що використовуються для боротьби з твердою сажкою часто не дають бажаних результатів.

З метою встановлення ефективності дії розробленого способу обробки на цю хворобу були проведенні дослідження на пшениці сорту Подолянка заспореного *T.caries* [22, 78]. Заспoreння проводили за методом А. І. Борггарда-Анпилогова [98]. Навантаження теліоспор *T.caries* на насінину визначали за методикою, наведеною у праці Н. А. Наумової [107]. Дослідження проводилися при температурі повітря 19,3<sup>0</sup>С та вологості 70 %.

Режими обробки наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

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

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

Із за специфіки насінневого матеріалу, як біологічного об'єкта, важко підібрати в реальних умовах комплекс параметрів, який би функціонально

визначав кінцевий результат. Важливо найти узагальнений параметр (дозу впливу  $D$ ), який буде визначати результат обробки.

Основними параметрами режиму обробки, від яких залежить життєздатність спор твердої сажки, є концентрації озону та час експозиції. Тому логічно буде представити дозу обробки  $D$ , як дію на зернову масу озоном певної концентрації на протязі деякого часу:

$$D = K \cdot t, \quad (3.9)$$

де  $D$  – доза обробки,  $\text{мг} \cdot \text{хв} / \text{м}^3$ ;

$K$  – концентрація озону,  $\text{мг} / \text{м}^3$ ;

$t$  – час експозиції, хв.

Таким чином життєздатність спор ( $N$ ) *T.caries*, буде залежати від дози  $N=f(D)$ .

У результаті проведених досліджень визначено математичну залежність  $N=f(D)$ . Задача регресії виконувалася за допомогою програмного забезпечення ПЕОМ. Результати досліджень наведені на рис.3.33 та в додатку Б. Графік функції, який побудовано за отриманою математичною залежністю наведено на рис. 3.33.

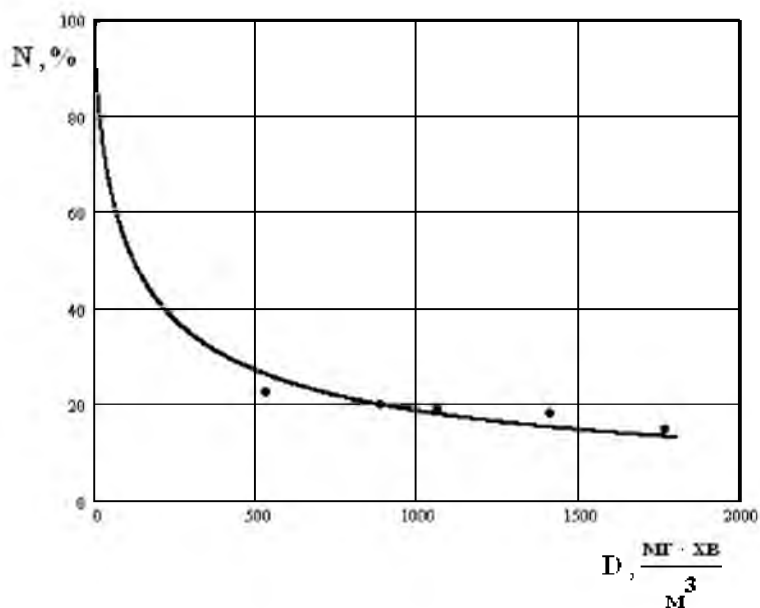


Рис. 3.33. Залежність життєздатності спор твердої сажки від дози обробки:  
• – дані отримані за матеріалами досліджень; — – графік функції побудований за емпіричною формулою

З наведеного рисунка видно, що при збільшенні дози обробки зменшується кількість життєздатних спор.

Аналітичний вираз залежності  $N=f(D)$ , отриманий на ПЕОМ за допомогою програмного забезпечення представлено формулою:

$$N = \frac{1}{0,01 + 0,00035 \cdot D^{0,7}}, \quad (3.10)$$

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

Адекватність моделі перевірено за критерієм Фішера.

Аналіз отриманих результатів показав, що ефективна доза обробки (знезараження 90 % спор) знаходиться при значеннях більше 2940 мг хв./м<sup>3</sup>.

Під час проведення мікроскопічного аналізу, за допомогою фотозйомки, було зафіксовано різницю концентрації спор твердої сажки в змивах контрольного та обробленого варіантів пшениці Подолянка (рис.3.34).

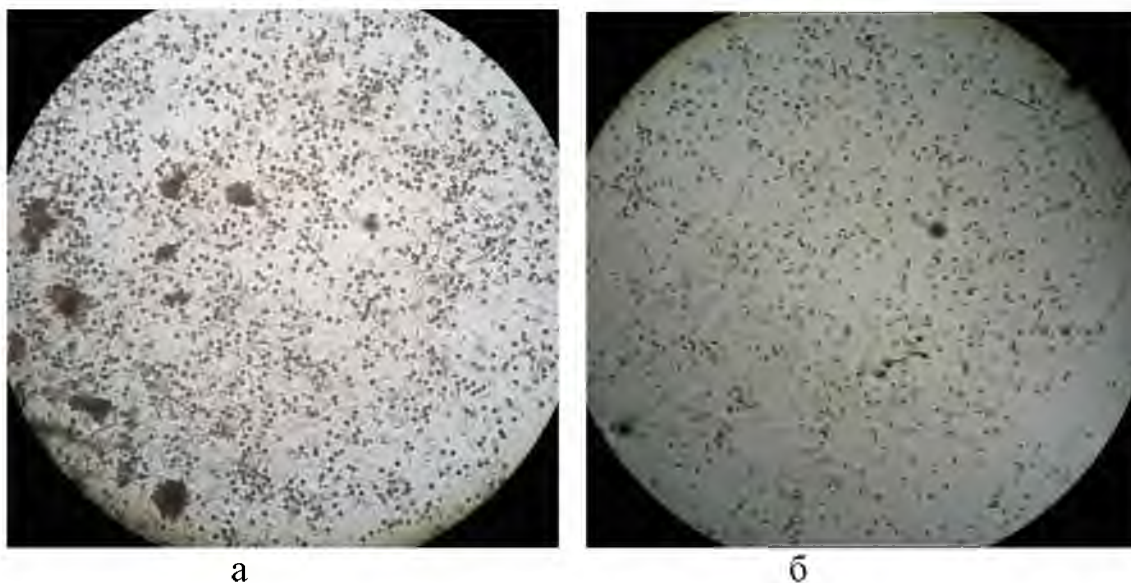


Рис.3.34. Концентрація спор твердої сажки в змивах заспореної пшениці Подолянка: а) контроль, б) оброблена озоном

Знезаражуючій обробці може піддаватись вся зернова маса, що надходить до господарства. В подальшому технологічному процесі вона розподіляється на насіннєвий матеріал, продовольче та фуражне зерно. Знешкодження шкідливої мікрофлори достатньо, щоб підвищити енергетичну цінність фуражного зерна, а для насіннєвого матеріалу та деяких партій продовольчого зерна (виготовлення солоду), важливим залишається вплив на кінцевий результат – енергію проростання і схожість. У зв'язку з цим були проведені дослідження в яких після визначення впливу на шкідливу мікрофлору досліджувались посівні якості [15]. Результати досліджень наведені у таблиці 3.8.

За результатами лабораторних досліджень енергія проростання і схожість покращилась у всіх оброблених варіантах. Це пов'язано із зменшенням кількості шкідливих мікроорганізмів на поверхні зернин, що можуть пригнічувати процеси росту.

Таблиця 3.8

**Режими обробки зернової маси пшениці сорту Подолянка в електричному полі високої напругеності**

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

Таким чином у результаті незаражуючої обробки в електричному полі високої напругеності змінного струму на поверхні зерна значно зменшується кількість шкідливих мікроорганізмів. У результаті чого покращуються його посівні та хлібопекарські якості, а також харчова цінність.

## **4. РОЗРОБКА СПОСОБУ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОЇ МАСИ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ЗМІННОГО СТРУМУ ТА ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ**

### **4.1. Спосіб та технологічний процесу знезаражуючої обробки зернової маси в електричному полі високої напруженості при зберіганні**

Успішне зберігання зернової маси в складах і елеваторах, а також при тимчасовому зберіганні на токах і майданчиках, з найменшими втратами у вазі і якості можна досягнути при правильному рішенні всіх питань технологічного і оперативного порядку.

В Україні, як і в більшості країн, найбільш поширений спосіб зберігання зернової маси в сухому стані. Однак у період масового збору врожаю кількість зерна, що надходить до зерноочисних сушильних комплексів перевищує їх пропускну здатність. Недолік сушильних потужностей у піковий період змушує виробників накопичувати зернову масу на площадках тимчасового зберігання. Саме на цей період припадає найбільший відсоток втрат зібраного врожаю.

Вологість щойно зібраної зернової маси досить висока [74]. При високій вологості і сприятливих погодних умовах (вологість, температура) вона є ідеальним субстратом для розвитку мікроорганізмів. Крім того в повітряних проміжках свіже зібраного зерна багато кисню, що також стимулює розвиток шкідливої мікрофлори [69].

Зберігання вологого зерна в насипах перед сушкою значно зменшує його схожість, навіть за короткий термін, а при надмірній вологості воно майже повністю втрачає свою життєздатність за три доби [165, 166].

У сільському господарстві з метою збереження життєздатності зернової маси, на цьому етапі, застосовують – перемішування, вентилявання та просушування сонячним промінням. Усі ці заходи є не досить ефективними, або потребують значних матеріальних затрат.

У запропонованому нами способі зернова маса обробляється в електричному полі високої напруженості змінного струму без застосування окремого генератора озону та додаткового обладнання, що використовується для подачі озону від генератора до продукції, а генерування озону здійснюється безпосередньо самою продукцією рівномірно без вентилявання.

До початку обробки необхідно встановити вологість зернової маси. В залежності від її значення визначаються режимні параметри обробки. Після визначення режимних параметрів налагоджують установку: на реле часу встановлюють час обробки та за допомогою регулятора напруги встановлюють необхідну напруженість електричного поля.

У камері обробки установки завантажують зернову масу. Вмикають установку і живлення подається на високовольтні електроди, які розміщені в камері обробки, по чергово із зануленими. Таким чином вся зернова маса знаходиться під дією електричного поля високої напруженості змінного струму, напруженість якого задається режимом обробки.

В повітряних включеннях зернової маси, що знаходиться під дією електричного поля високої напруженості починають виникати часткові розряди. Проходження часткових розрядів призводить до іонізаційних процесів, які сприяють проходженню хімічних реакцій перетворення молекул кисню в його видозмінну форму озон (механізм утворення молекул озону під дією електричного поля високої напруженості детально описано в розділі 3.3 даної роботи). Крім того в результаті хімічних реакцій будуть утворюватися окиси азоту, які значно підсилюють дію озону. У результаті зернова маса буде рівномірно оброблятися цими речовинами, протягом заданого часу. Ефективність дії озону на шкідливу мікрофлору при обробці зернової маси запропонованим способом детально досліджено та описано в розділі 3.4 цієї роботи. Після проходження обробки спрацьовує реле часу, яке вимикає живлення. Відкривається засувка і зернова маса висипається. Цикл повторюється необхідну кількість разів.

Розроблений спосіб обробки зернової маси при зберіганні має ряд суттєвих переваг по відношенню до існуючих:

- екологічна чистота;
- відсутність впливу на біологічну структуру зерна;
- можливість використовувати оброблене зерно для будь-яких цілей;
- низькі витрати електроенергії;
- низька собівартість обробки у порівнянні з хімічними засобами, що застосовуються для знезаражуючої обробки;
- відсутність перехідних елементів між озонатором та продукцією.

Важливим питанням впровадження способу у виробництві є пристосування його до технологічного процесу. Розроблена нами схема технологічної лінії знезаражуючої обробки зерна в електричному полі високої напруженості наведена на рис. 4.1.

Знезаражуюча обробка зернової маси відбувається по наступній схемі.

Після подачі живлення вмикається завантажувальний транспортер 1, який із зернотоку або зерносховища подає зернову масу до завантажувального бункеру 3. Звідки зернова маса самопливом потрапляє в камеру обробки. Рівень зернової маси у завантажувальному бункері контролюється датчиками рівня 9, сигнал з яких передається до електронного програматора. При достатньому рівні зернової маси за допомогою програматора подається живлення на джерело високої напруги. Далі, в залежності від заданого режиму обробки, програматором задається витримка часу на вмикання приводу засувки, що відрегульована на певний рівень відкриття 10. Засувка відрегульована таким чином, щоб зернова маса, яка самопливом вивантажується з камери обробки до вивантажувального бункера 4. При заповненні вивантажувального бункера або зменшенні рівня зернової маси у завантажувальному бункері спрацьовують датчики рівня даючи сигнал на ввімкнення відповідного транспортера. Функціональна схема технологічної лінії для обробки зернової маси у сильних електричних полях наведена на рис. 4.2.

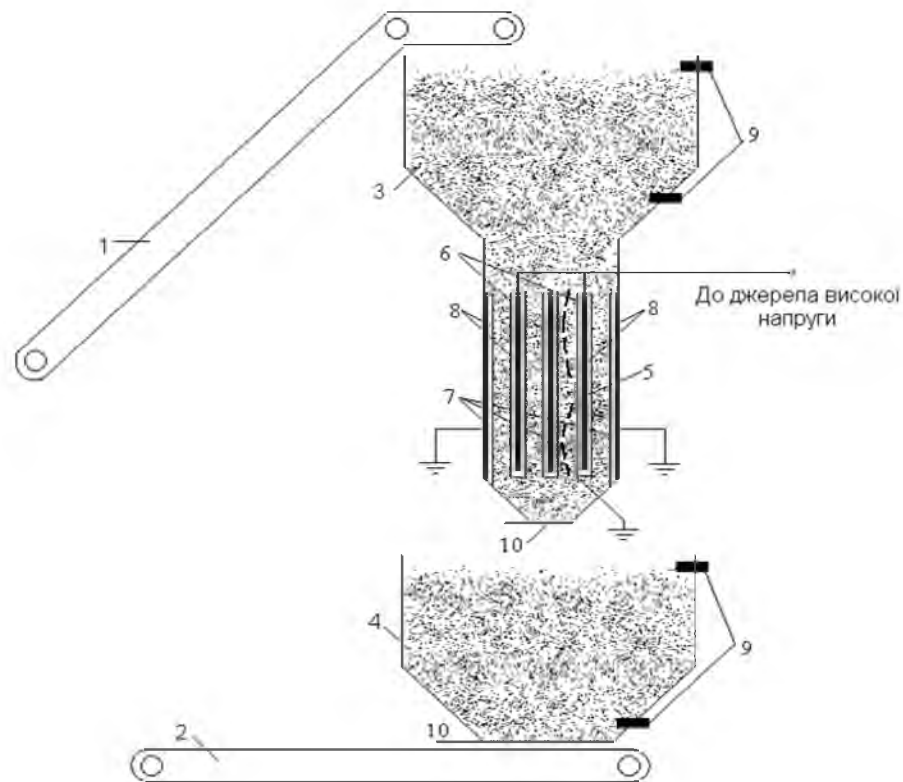


Рис. 4.1. Схема технологічної лінії для знезаражуючої обробки зернової маси в електричному полі високої напругеності: 1 – завантажувальний транспортер; 2 – вивантажувальний транспортер; 3 – завантажувальний бункер; 4 – вивантажувальний бункер; 5 – камера обробки; 6 і 7 – плоско паралельні електроди; 8 – діелектричні пластини; 9 – датчики рівня; 10 – електромеханічні засувки

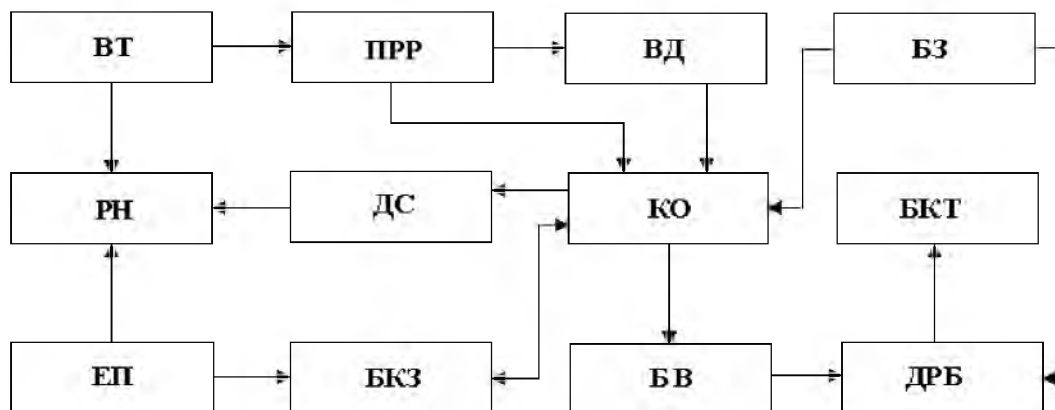


Рис. 4.2. Функціональна схема технологічної лінії для обробки зернової маси в електричному полі високої напругеності: ЕП – електронний програматор; РН – регулятор напруги; ВТ – високовольтний трансформатор; ПРР – перемикач режиму роботи; ВД – випрямляч на діодах; ДС – датчик струму; КО – камера обробки;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

Також було розроблено блок-схему алгоритму роботи технологічної лінії в автоматичному режимі, яка наведена на рис. 4.3.

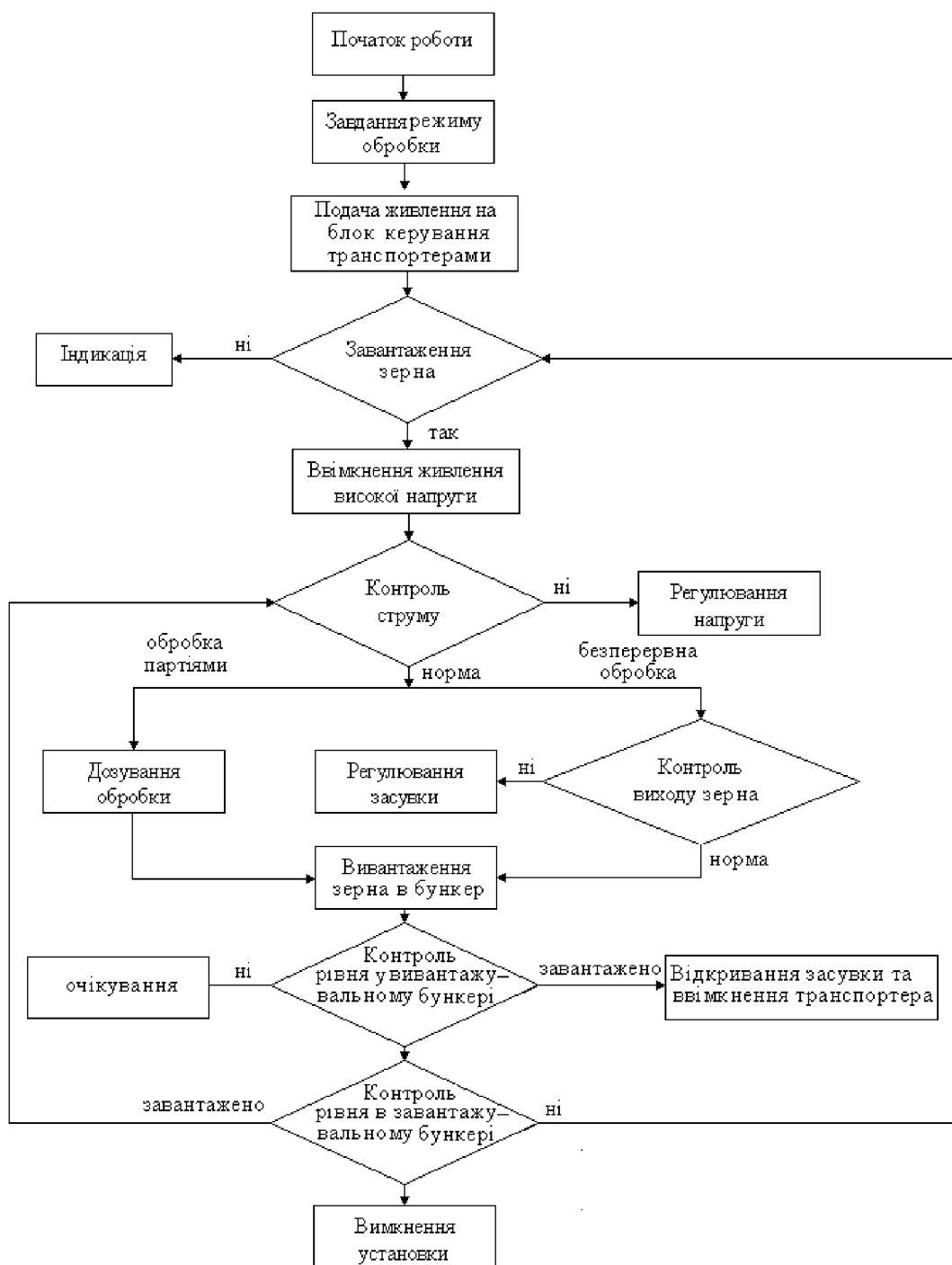


Рис. 4.3. Блок-схема алгоритму роботи технологічної лінії для знезаражуючої обробки зернової маси

Таким чином розроблено спосіб та технологічний процес знезаражуючої обробки зернової маси в електричному полі високої напруженості, який може застосовуватися, як при післязбиральній обробці зернових на зберігання так і при обробці зернових іншого призначення з метою їх знезараження.

## 4.2. Дослідження експериментальної установки

Розроблений спосіб знезаражуючої обробки зернової маси передбачає вплив на шкідливу мікрофлору озonom, який утворюється під дією електричного поля високої напруженості. Утворення в зерновій масі озону з концентрацією необхідною для ефективної обробки, можливе при забезпеченні необхідними технічними засобами [120, 121].

Технічні засоби, що використовуються для обробки зернової маси з використанням електричного поля високої напруженості повинні відповідати наступним вимогам: забезпечувати напруженість поля не менше 5,5 кВ/см з можливістю його регулювання, мати мінімальні габарити, засоби захисту від перевантаження та безпечність для обслуговуючого персоналу [57].

Конструкція установки розроблена таким чином, що зовнішні електроди заземлені і виконують роль кожуха, у зв'язку з чим відпадає необхідність у захисному корпусі, знижується матеріалоемність установки, що має важливе значення, оскільки при цьому заощаджується метал, знижується маса.

Одним з джерел небезпеки ураження електричним струмом є високовольтні електроди, які знаходяться під високим потенціалом відносно заземленого корпусу установки. Конструкцією установки передбачено встановлення високовольтних електродів всередині камери обробки. Камера обробки, засувка, та бункер, що встановлюється над камерою обробки виготовляються з діелектричного матеріалу, зовнішні електроди заземлені. Таким чином доступ обслуговуючого персоналу до високовольтних електродів обмежений з усіх сторін. Всі струмоведучі частини підлягають заземленню та зануленню.

Електрична частина установки об'єднує в собі схему керування, схему подачі живлення до регулятора напруги, а також високовольтний трансформатор з помножувачем напруги, що забезпечують подачу високої напруги до системи електродів між якими знаходиться продукція. Електрична схема установки зображена на рис. 4.4.

Установка працює наступним чином: вмикається автоматичний вимикач  $QF$ , подається напруга живлення про що сигналізує лампа  $EL1$ . Після вмикання кнопки  $SB2$  подається напруга на котушку магнітного пускача  $KM$ , і замикаються контакти  $KM1$ ,  $KM2$  та загорається сигнальна лампа  $EL2$ . Через регулятор напруги живлення подається на високовольтний трансформатор ВТ. Після трансформатора у колі встановлений перемикач режиму роботи «З»-«С». При знезаражуючій обробці перемикач встановлюється в положення «З» і на електроди камери обробки подається висока напруга змінного струму від трансформатора, при стимулюючій обробці перемикач встановлюється в положення «С» і на електроди камери обробки через помножувач напруги ПН подається висока напруга постійного струму. Також в електричне коло установки включений кінцевий вимикач  $SQ$ , який встановлений на двері шафи з високовольтним обладнанням і призначений для відключення живлення установки при спробі відкриття шафи у робочому режимі.

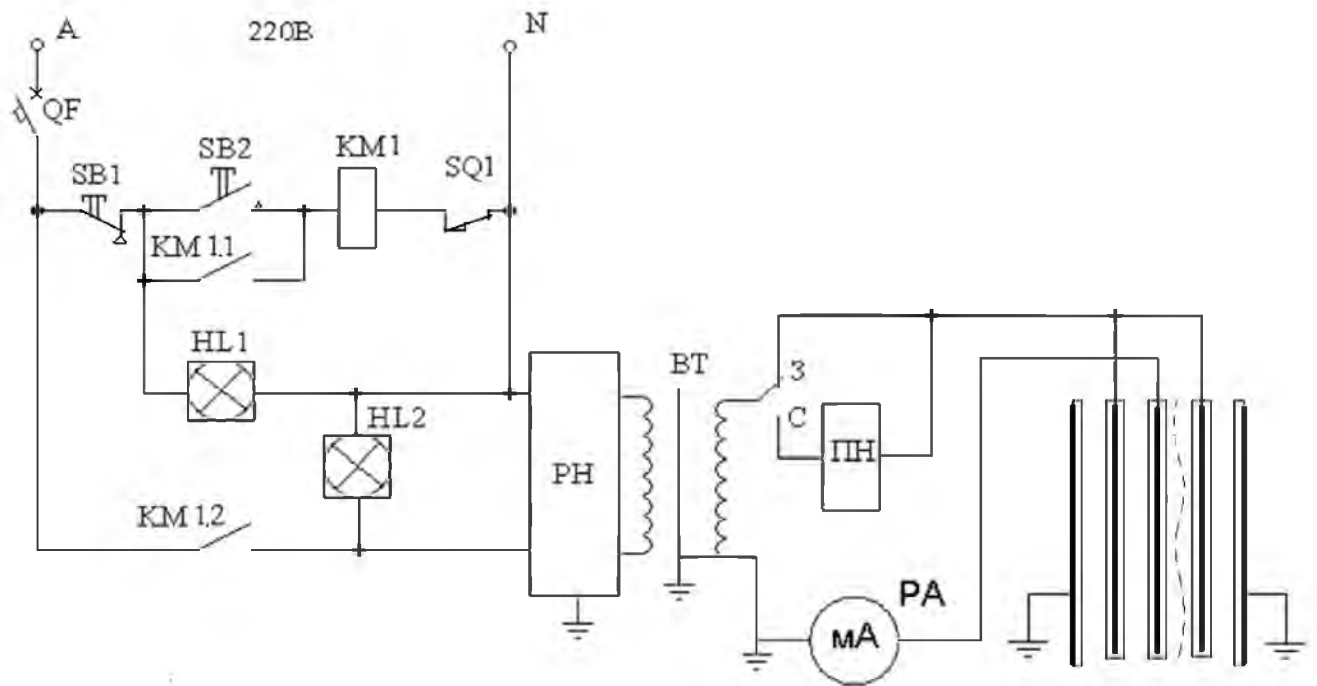


Рис. 4.4. Електрична схема установки для обробки зернових в електричному полі високої напруги

Установка являє собою пересувну малогабаритну конструкцію, в склад якої входить рухома основа на якій розміщені: джерело високої напруги, пульт керування, камера обробки [31]. Схему установки зображено на рис. 4.5, зовнішній вигляд рис. 4.6.

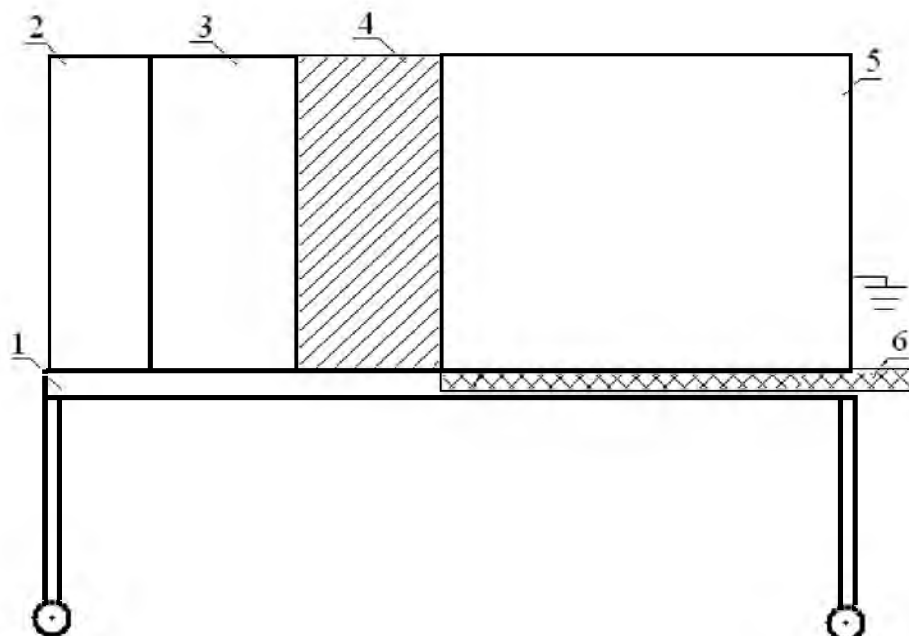


Рис. 4.5. Схема установки для обробки зерна: 1 – мобільна основа для кріплення обладнання; 2 – пульт керування; 3 – джерело високої напруги; 4 – захисний кожух з діелектричного матеріалу, 5 – камера обробки; 6 – засувка з діелектричного матеріалу



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

Пересувна конструкція: являє собою мобільну конструкцію розмірами 1500x900x500 мм, що розміщена на 4 колесах і призначена для розташування всього обладнання, яке входить до складу установки. Вона обладнана спеціальними ручками для можливості переміщення.

Джерело високої напруги: складається із спеціально розробленого та виготовленого однофазного, підвищувального, сухого трансформатора ОСВ – 1,5 220/15000 та помножувача напруги.

Технічні характеристики трансформатора наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

**Технічна характеристика трансформатора ОСВ – 1,5 220/15000**

Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення параметра
1	2	3
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 разом з помножувачем напруги встановлено на пересувній конструкції у спеціальній шафі. Живлення джерела здійснюється через пульт керування двожильним проводом,  $2 \times 2,5 \text{ мм}^2$ . Подача високої напруги до електродів здійснюється високовольтним кабелем, наприклад типу КВПЭВ – 2к. Зовнішній вигляд підвищувального трансформатора та помножувача напруги зображено на рис. 4.7 та рис. 4.8 відповідно.



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



Рис. 4.8. Каскадний помножувач напруги

Вивід високовольтного трансформатора з'єднаний з перемикачем режиму роботи „С” (Стимуляція) або „З” (Знезараження), вивід перемикача „З” приєднано до вертикально розташованих високовольтних пластинчатих електродів, вивід перемикача „С” приєднано до каскадного помножувача напруги до виводу якого приєднані вертикально розташовані високовольтні пластинчаті електроди. Помножувач напруги виконано за каскадною схемою випрямлення. В якості високовольтних діодів можуть бути застосовано діоди,

наприклад, типу Д1008 в кількості 8 штук та високовольтних конденсаторів, наприклад, К15-4 в кількості 4 шт. Кількість каскадів – 2.

Режим роботи установки задається зміною напруги на первинній обмотці трансформатора. Тому необхідно було встановити залежність напруги, яка знімається з вторинної обмотки від напруги, що подається на первинну обмотку. Залежність зображено на рис. 4.9. Характеристика знята без навантаження.

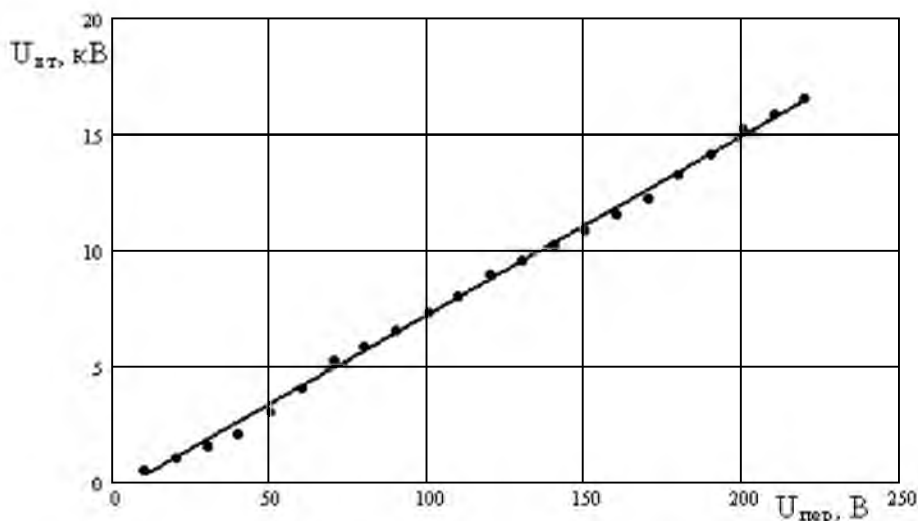


Рис. 4.9. Залежність вторинної напруги трансформатора від первинної

Пульт керування: розміщено в спеціальній шафі (600x500x300мм), на кришці – панелі пульта знаходиться пускорегулююча апаратура. На боковій стороні пульта розміщена регулююча та контрольно-вимірювальна апаратура. Живлення пульта здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Регулювання високої напруги здійснюється зміною напруги на первинній обмотці автотрансформатора РНО – 250 або регулятором напруги [30]. Вимірювання високої напруги виконується дільником напруги, який виконано на базі послідовно з'єднаних резисторів КЕВ або кіловольтметром С- 96.

Камера обробки: виготовляється із діелектричного матеріалу, наприклад, оргскло, товщиною 10мм. В камері обробки розміщені високовольтні електроди типу “площина – площина”. При знезаражувальній обробці в камері встановлюються пластини з діелектричного матеріалу, які відділяють зернову масу від електродів і обмежують струм провідності. Міжелектродний простір утворює об'єм камери обробки. Кількість електродів може бути 11 шт. і більше, у даному випадку 15. Висота електродів – 500 мм, ширина – 400 мм. Площа поверхні пластинчатих електродів обмежується тільки величиною номінального струму джерела високої напруги, а відстань між електродами величиною високої напруги. Зовнішні електроди занулені та заземлені. Принципова схема камери обробки зображено на рис. 4.10, зовнішній вигляд рис. 4.11.

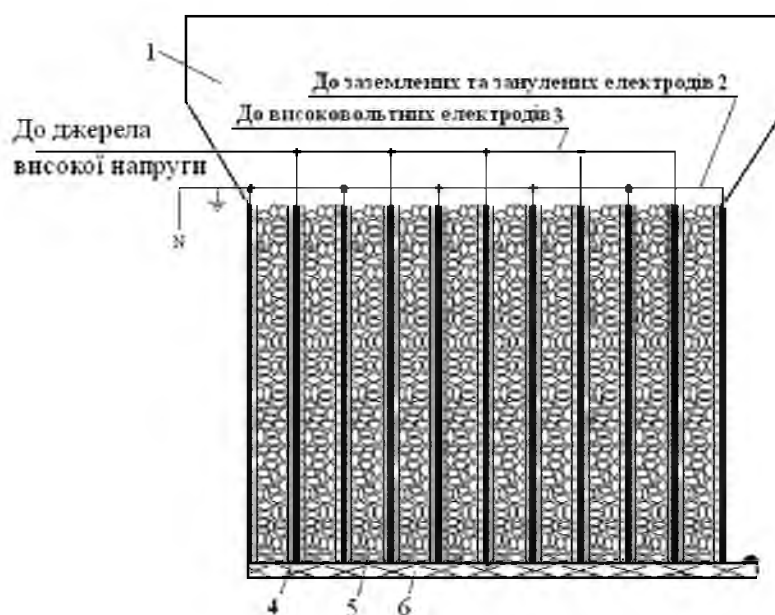


Рис. 4.10. Схема камери обробки де, 1 – бункер; 2 – заземлені електроди; 3 – високовольтні електроди; 4 – пластини з діелектричного матеріалу; 5 – зернова маса; 6 – засувка



Рис. 4.11. Зовнішній вигляд камери обробки

Розроблена установка може використовуватися, як у технологічних процесах знезараження зернових, так і з метою передпосівної стимуляції насіння. При режимі стимуляції насіння сільськогосподарських культур до електродів підводиться висока напруга постійного струму, що обумовлено біологічною дією на насіння при такому виді електрофізичної обробки. Застосування сильних електричних полів постійного струму для передпосівної стимуляції насіння обґрунтовано у наукових працях д.т.н. Береки О. М. [26]. Для знезаражуючої обробки зернових запасів при зберіганні необхідні технологічні режими при яких необхідна концентрація озону утворювалася б з меншими енергетичними затратами і було б відсутнє стимулювання насіння. Ці умови досягаються при використанні сильного електричного поля змінного струму. Тому, що при

змінному струмі інтенсивність часткових розрядів більша ніж при постійному, а відповідно і концентрація озону більша. Також при змінному струмі у міжклітинній рідині зернин відсутній масоперенос іонів, що є одним із головних факторів біологічної стимуляції зерна при даному способі обробки.

При технологічному процесі стимуляції насіння, перемикач режиму роботи встановлюється у положення „С” і з камери обробки продукції виймаються діелектричні пластини. У камеру для обробки засипається насіння. Вмикається регулятор напруги, при цьому автоматично вмикається високовольтний трансформатор і двополярний каскадний помножувач напруги, після чого висока напруга постійного струму подається на високовольтні пластинчасті електроди. Насіння розміщується в усьому об’ємі між плоско – паралельними електродами де воно обробляється в електричному полі високої напруженості постійного струму. Подається висока напруга такої величини, яка забезпечує відповідне значення густини електричного струму для конкретної сільськогосподарської культури, наприклад для ячменю кондиційної вологості в межах 30...90 мА/м<sup>2</sup> [26]. Після відповідної витримки часу установка вимикається, насіння висипається із камери обробки.

При технологічному процесі знезараження продукції перемикач режиму роботи ставиться в положення „З” і в камеру обробки продукції встановлюються діелектричні пластини. В камеру для обробки засипається продукція. Вмикається автотрансформатор, при цьому автоматично вмикається високовольтний трансформатор, після чого висока напруга змінного струму подається на високовольтні пластинчасті електроди. Продукція, яка відділена від електродів діелектричними пластинами, знаходиться в електричному полі високої напруженості змінного струму. При відповідній напруженості електричного поля у повітряних проміжках зернової маси відбуваються часткові розряди і у всьому об’ємі продукції утворюється озон, концентрація якого регулюється напруженістю електричного поля високої напруженості змінного струму. Після відповідної витримки часу за допомогою засувки продукція під дією своєї ваги висипається із камери обробки.

Перевагою розробленої установки у порівнянні з іншими технічними засобами електрофізичної обробки зерна є: можливість обробки насіння зернових з метою покращення посівних якостей та знезаражуючої обробки при зберіганні, невелика матеріалоемність та малоенергоємність, відсутність мутагенної дії на зерно та екологічна чистота технологічного процесу, використання енергії електричного поля безпосередньо в якості робочого органу без проміжних трансформацій. Таким чином розширено технологічні можливості розробленої установки.

Для визначення робочих параметрів установки, що суттєво залежать від виду обробки (знезараження, стимуляція) та фізичних характеристик зернової маси необхідно було дослідити характеристики установки з діелектричними пластинами з поліетилену товщиною 0,5 мм та без пластин, при безпосередньому контакті зернової маси з електродами. Серед фізичних характеристик зернової маси найважливіше значення має її вологість, оскільки вплив вологості в сотні

разів перевищує вплив інших фізичних характеристик зернової маси на електропровідність зернової маси, а відповідно і на режим обробки [26]. Тому дослідження проводили з використанням зернової маси ячменю різної вологості: 12,9 %; 13,8 %; 14,8 %; 16 %.

Результати експериментальних досліджень відображені на рис. 4.12– 4.15 та в додатку Д.

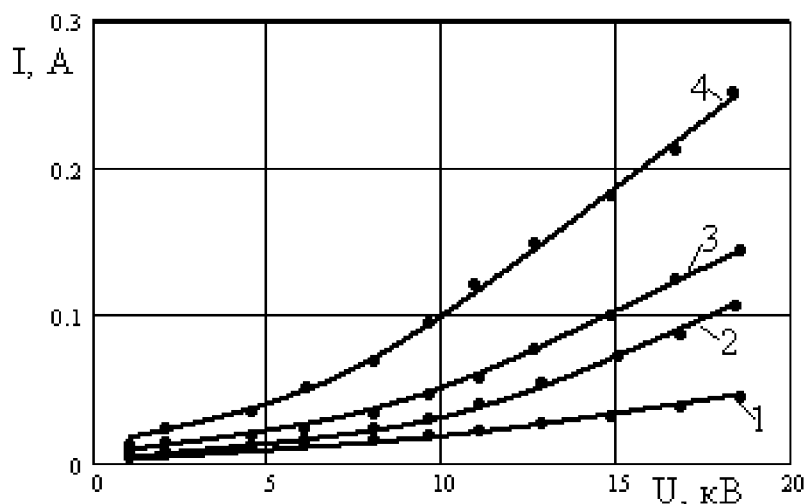


Рис. 4.12. Залежність струму в камері обробки від напруги на електродах з встановленими діелектричними пластинами з поліетилену товщиною 0,5 мм при різній вологості ячменю: 1 – 12,9 %; 2 – 13,8 %; 3 – 14,8 %; 4 – 16 %

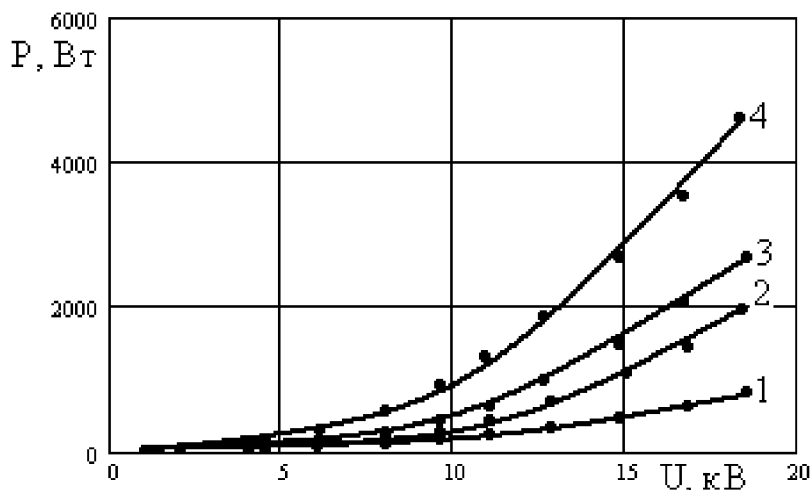


Рис. 4.13. Потужність установки при зміні напруги на електродах камери обробки з встановленими в камеру обробки діелектричними пластинами з поліетилену товщиною 0,5 мм при різній вологості ячменю: 1 – 12,9 %; 2 – 13,8 %; 3 – 14,8 %; 4 – 16 %

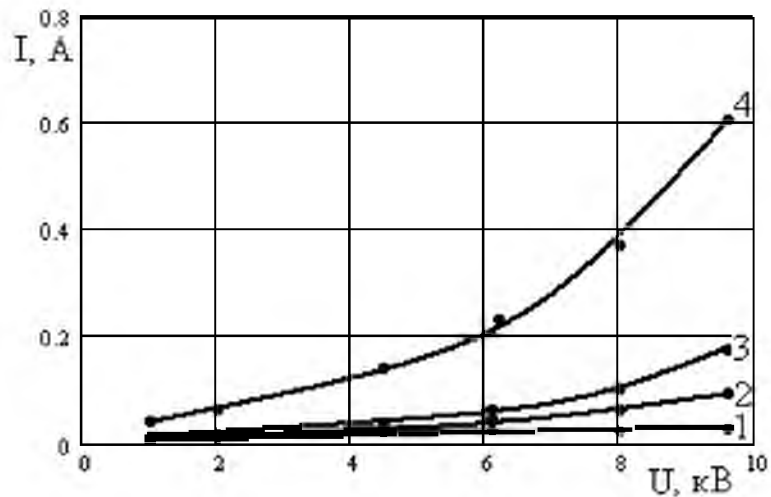


Рис. 4.14. Залежність струму в камері обробки від напруги на електродах без діелектричних пластин при різній вологості ячменю: 1 – 12,9 %; 2 – 13,8 %; 3 – 14,8 %; 4 – 16 %

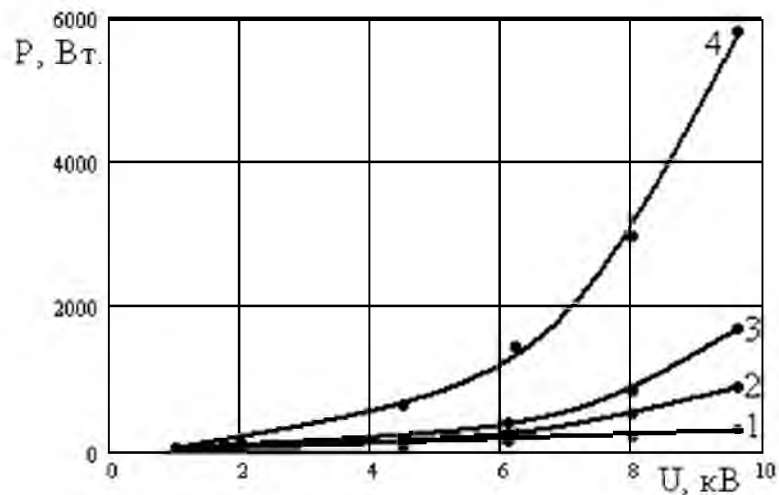


Рис. 4.15. Потужність установки при зміні напруги на електродах камери обробки без діелектричних пластин при різній вологості ячменю: 1 – 12,9 %; 2 – 13,8 %; 3 – 14,8 %; 4 – 16 %

Аналізуючи залежності можемо зробити висновки, що для зернової маси ячменю у досліджуваному діапазоні вологості, встановлення в камеру обробки діелектричних пластин дозволяє зменшити струм установки, а відповідно і потужність в 1,6–6,3 разів по відношенню до режимів де пластини не використовуються. Причому різниця між потужностями та струмами при використанні діелектричних пластин та без них зростає з підвищення вологості зернової маси.

Вплив вологості зернової маси на режими обробки також досить значний, як при використанні діелектричних пластин так і без них. При обробці ячменю вологістю 16 % струм та потужність зростають в 3 рази при використанні пластин та в 6 разів без них по відношенню до режимів коли обробляється зернова маса вологістю близькою до кондиційної 13,8 %. Тобто обробка вологої зернової маси потребує значно вищих енергетичних затрат, а як показали дослідження приведені

у розділі 3.3 цієї роботи, ефективність обробки в цих межах починає зменшуватися, що ще раз підтверджує доцільність обробки зернової маси кондиційної вологості.

На рис. 4.16 та 4.17 наведені експериментальні дані величини струму та потужності установки при зміні вологості зернової маси із встановленими діелектричними пластинами у камері обробки при напрузі на електродах 16 кВ та відстанню між ними 3 см.

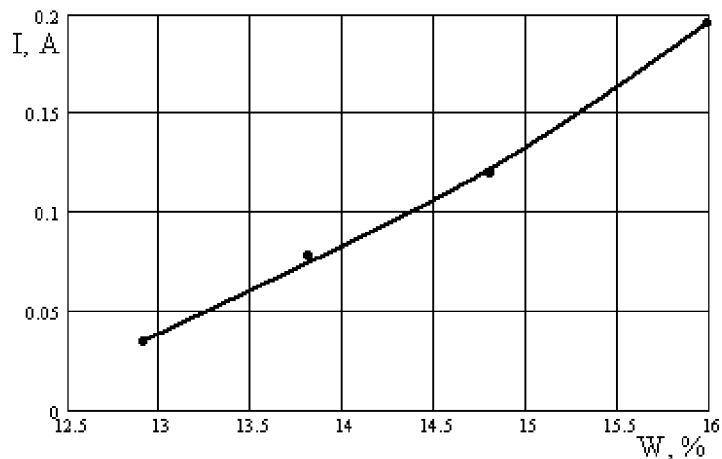


Рис. 4.16. Залежність струму в камері обробки при зміні вологості зернової маси з встановленими в камері обробки діелектричними пластинами з поліетилену при напрузі 16 кВ (відстань між електродами 3 см)

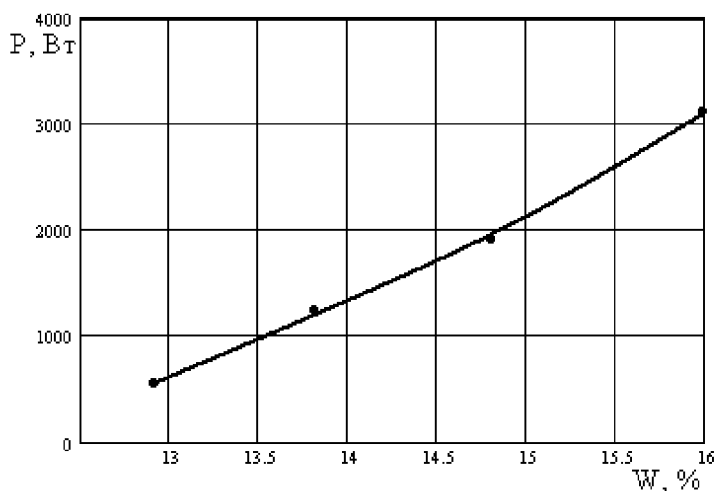


Рис. 4.17. Потужність установки при зміні вологості зернової маси з встановленими у камері обробки діелектричними пластинами з поліетилену при напрузі на електродах 16 кВ (відстань між електродами 3 см)

Отже, з наведених характеристик установки видно, що із підвищенням вологості зернової маси значно підвищується струм, а відповідно і витрати електричної енергії на обробку. Враховуючи результати досліджень впливу вологості на інтенсивність іонізаційних процесів та концентрації озону в зерновій масі ячменю (розд. 3.2 та 3.3 цієї роботи), та витрати електричної енергії на обробку можемо зробити висновок, що найбільш ефективно обробляти зернову масу кондиційної вологості 14–14,5 %. Оскільки саме в цих межах

ефективна концентрація озону досягається, при менших затратах електричної енергії у порівнянні із зразками іншої вологості.

#### 4.3. Визначення часу необхідного для знезаражуючої обробки зернової маси у виробничих умовах

У результаті проведених експериментальних досліджень, що наведені в розділі 3.4 цієї роботи було встановлено ефективну дозу знезаражуючої обробки, яка залежить від часу експозиції та концентрації озону. Визначивши концентрацію озону у зерновій масі можна встановити час необхідний для отримання ефективної дози. У виробничих умовах завдання визначення дози ускладнюється, оскільки вимірювання концентрації озону складний та трудомісткий процес, який потребує додаткового обладнання, що має високу вартість. Тому виникла необхідність розробки альтернативного та простого способу визначення дози обробки зерна в залежності від відомого параметру зернової маси, наприклад вологості.

З цією метою, скориставшись формулою (3.9) отримали залежність для визначення часу експозиції при різній концентрації озону, що необхідний для забезпечення дози обробки  $2940 \text{ мг м}^3/\text{хв.}$ , яка забезпечує знешкодження 90 % шкідливих мікроорганізмів (розд. 3.4). Залежність наведена на рис 4.18. Параметри визначені для розробленої установки, з відстанню між електродами 3 см, діелектричними пластинами з поліетилену товщиною 0,5 мм та напруги на електродах 16 кВ.

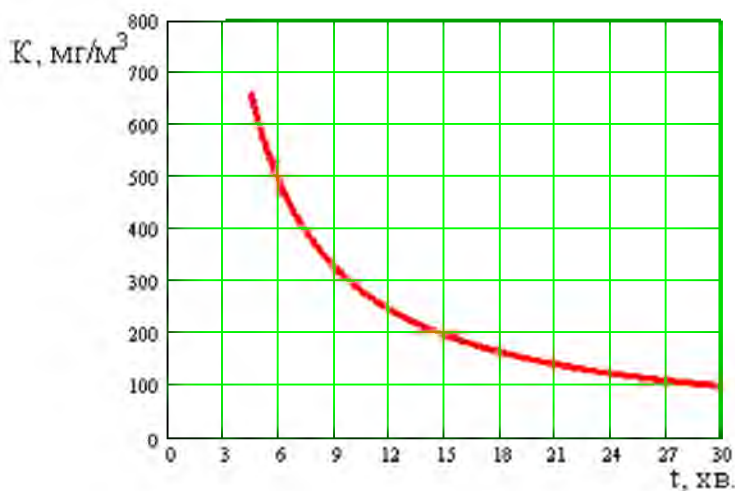


Рис. 4.18. Залежність для визначення часу експозиції при різній концентрації озону, що необхідний для забезпечення дози обробки  $2940 \text{ мг м}^3/\text{хв.}$

Враховуючи приведену вище залежність та залежність концентрації озону в зерновій масі при напруженості поля  $5,3 \text{ кВ/см}$  від її вологості, можна побудувати номограму, яка представлена на рис. 4.19.

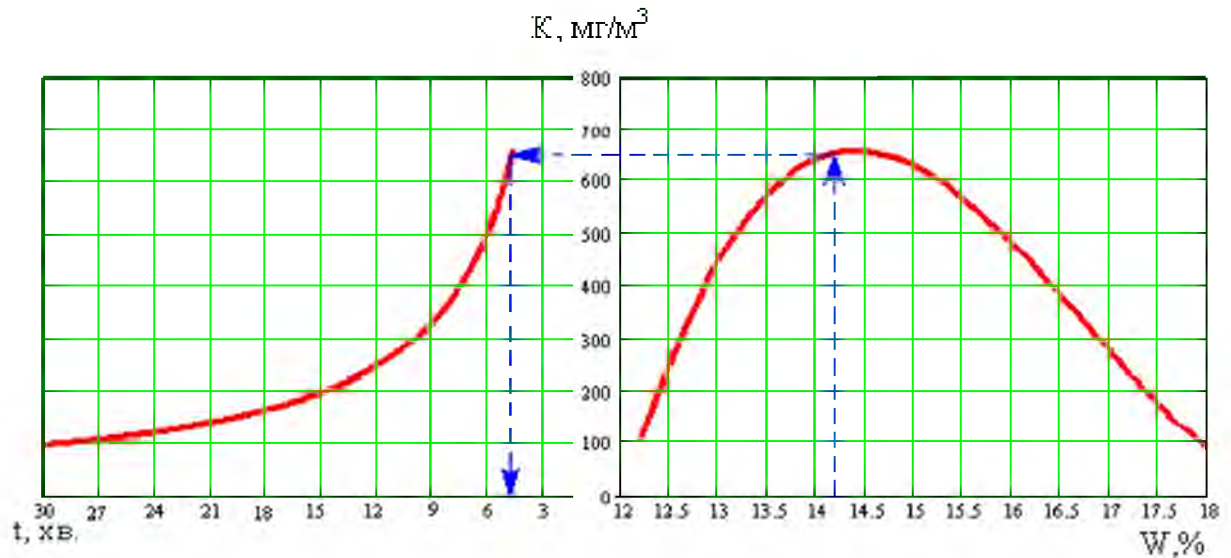


Рис. 4.19. Номограма для визначення часу експозиції зерна ячменю у виробничих умовах

За наведеною номограмою можна визначити час необхідний для забезпечення ефективної дози знезаражуючої обробки зернової маси ячменю при відомому значенні його вологості, яка періодично вимірюється на всіх пунктах зберігання зерна.

#### 4.4. Продуктивність установки та витрати електроенергії

Ефективне впровадження та широке використання розробленої установки можливе за умови її високої продуктивності та низької собівартості знезаражуючої обробки. Розрахунок цих параметрів проведемо на основі розробленої установки (розд. 4.1), за умови безперервного проходження зернової маси між електродами [25, 11]. Продуктивність установки можна визначити за наступним виразом:

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

де  $Q$  – продуктивність установки, кг/год.;

$G$  – маса обробленого зерна, кг;

$t$  – час обробки зерна, год.

Масу обробленого зерна визначаємо за рівнянням:

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

де  $V$  – об'єм зерна, що проходить через установку за час обробки, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – густина зерна, що обробляється, кг/м<sup>3</sup>;

$k$  – коефіцієнт заповнення об'єму зерном.

Об'єм обробленого зерна, можна визначити врахувавши геометричні розміри камери обробки, швидкість руху зерна в камері та час обробки:

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

де  $v$  – швидкість руху зерна в камері обробки, м/год.;  
 $S$  – площа поперечного перерізу камери обробки, м<sup>2</sup>.

Повна площа перерізу камери обробки буде визначатися, як площа перерізу однієї секції помножену на їхню кількість, у запропонованій установці 14 секцій:

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

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

Час обробки залежить від вологості зернової маси, оскільки при її зміні, інтенсивність іонізаційних процесів, а відповідно і концентрація озону, яка впливає на дозу обробки, також змінюється. У розділі 3.4 цієї роботи встановлено, що доза обробки визначається як добуток концентрації озону на час експозиції. Відповідно:

$$t = \frac{D}{K}.$$

Беручи до уваги, наведене вище, продуктивність установки для знезаражуючої обробки зернової маси можна розрахувати за рівнянням:

$$Q = k \cdot \gamma \cdot v \cdot S. \quad (4.5)$$

За результатами розрахунків (дод. В) установка із заданими параметрами дозволяє проводити знезаражуючу обробку зернової маси кондиційної вологості 14–14,5 % з продуктивністю 838–876 кг/год. При такій продуктивності, за 8-ми годинний робочий день, можна обробити 6,7–7 тон зерна.

Продуктивність установки, головним чином, залежить від геометричних розмірів камери обробки, які при необхідності можна збільшити, але при цьому необхідно використовувати потужніше джерело живлення.

Вартість знезаражуючої обробки зернової маси обумовлена витратами на електроенергію і залежить від фізичних характеристик зернової маси. Оскільки змінюється електропровідність, а відповідно зростає струм, що призводить до підвищення потужності установки. В розділі 3.3 цієї роботи, визначено, що найбільш ефективно обробляти зернову масу кондиційної вологості 14–14,5 %. Тому витрати електричної енергії будемо визначати для обробки зернової маси кондиційної вологості.

У проведених дослідженнях встановлено вплив режимних параметрів на потужність установки та зміну концентрації озону в зерновій масі зі зміною потужності. Дослідження проводились на зерновій масі ячменю сорту "Етикет". Режимні параметри та результати досліджень наведені в табл. 4.2.

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

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

Закономірності зміни концентрації озону в масі зерна залежно від потужності установки при різних режимах обробки в межах кондиційної вологості 14–14,5 % наведено на рис 4.20 та в додатку В. При знезаражуючій обробці зернової маси кондиційної вологості, рекомендованими режимами, установка буде працювати з потужністю 1 – 1,5 кВт.

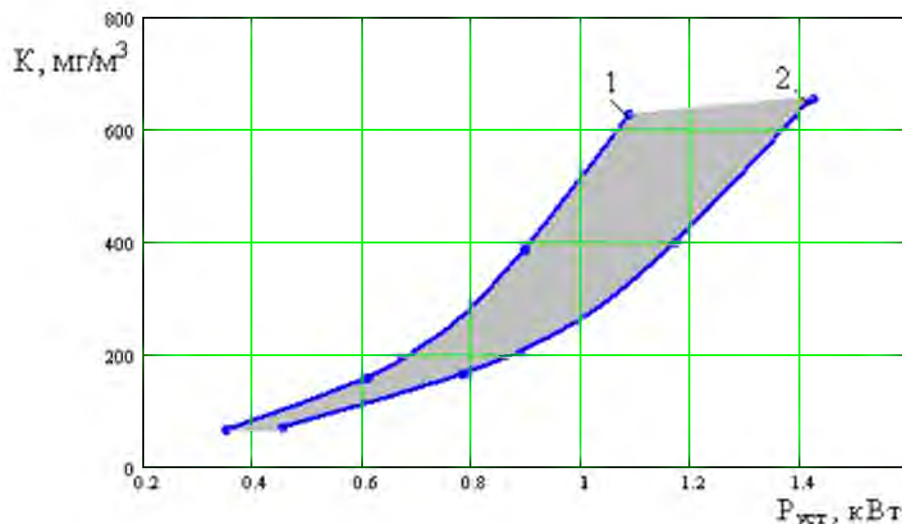


Рис. 4.20. Залежність концентрації озону в зерновій масі ячменю від потужності установки: 1 – вологість зернової маси 14 %; 2 – вологість зернової маси 14,5 %

Використовуючи відомі значення продуктивності та потужності установки визначили витрати електричної енергії на знезаражуючу обробку однієї тони

зернової маси кондиційної вологості  $W_{штг}$ . Зміна концентрації озону в зерновій масі від затраченої питомої електричної енергії наведено на рис. 4.21. Питомі витрати електричної енергії на обробку однієї тони зернової маси вологістю 14 % становлять 1,29 кВт год/т.

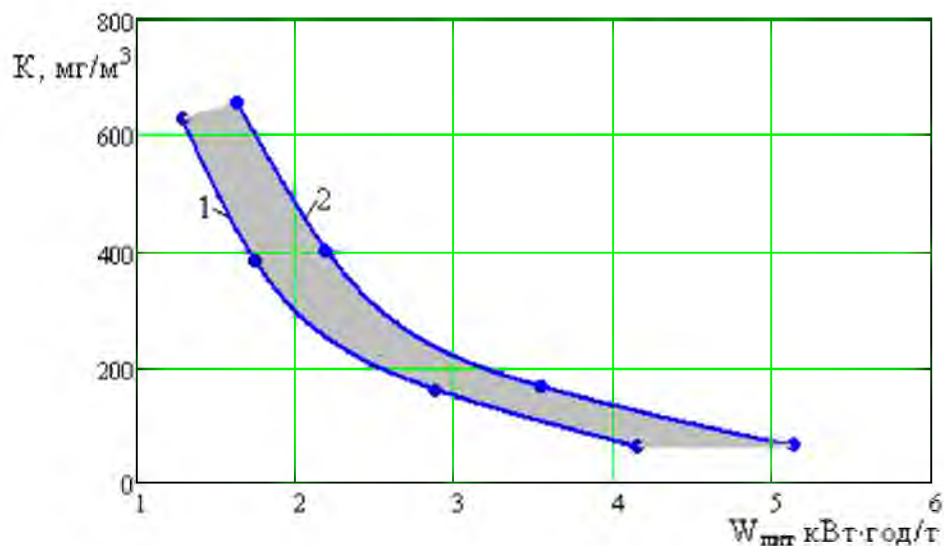


Рис. 4.21. Залежність концентрації озону від затраченої електричної енергії при обробці однієї тони зернової маси: 1 – вологістю 14%; 2 – вологістю 14,5%.

Витрати електричної енергії на знезаражуючу обробку партії зерна будуть визначатися його вологістю, кількістю  $M$ , що необхідно обробити, та режимними параметрами. Залежність витрат електричної енергії на знезаражуючу обробку зерна від його кількості зображені на рис. 4.22 та в додатку В.

Також було встановлено вартість електроенергії, що необхідна на обробку в залежності від кількості зернової маси та режимних параметрів. Залежності відображені на рис. 4.23.

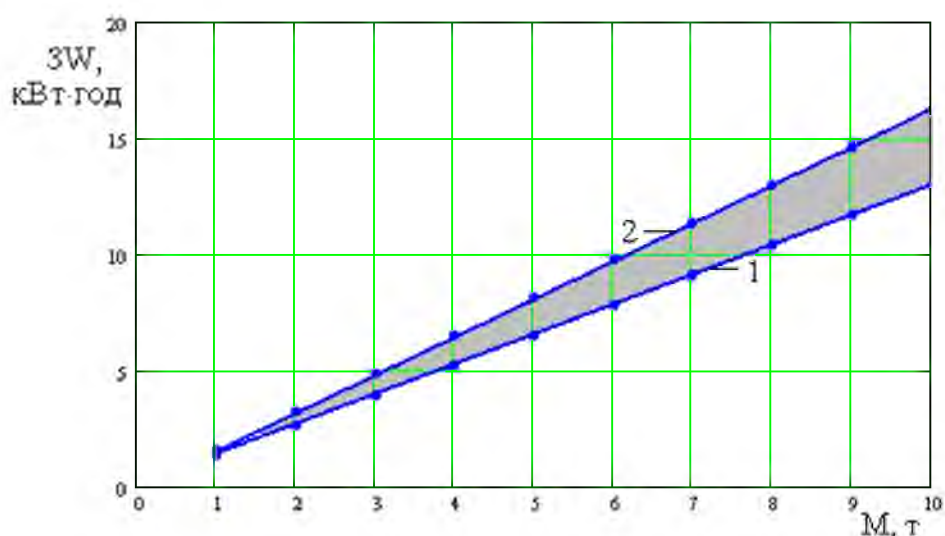


Рис. 4.22. Витрати електроенергії на обробку зернової маси: 1 – вологістю 14 %; 2 – вологістю 14,5 %

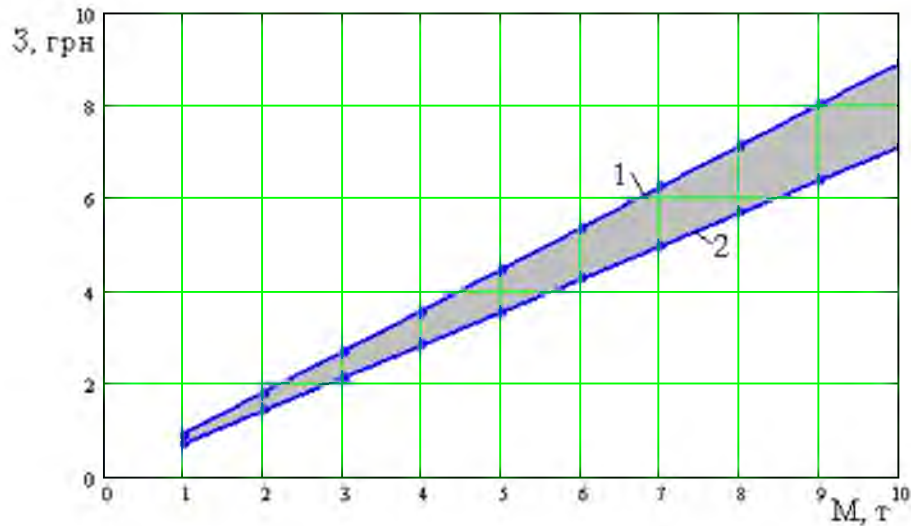


Рис. 4.23. Вартість електроенергії, що необхідна на обробку зернової маси: 1 – вологістю 14 %; 2 – вологістю 14,5 %

Підводячи підсумок приведених вище результатів досліджень можна зробити висновок, що для проведення знезаражуючої обробки зернової маси на запропонованій установці вартість витраченої електричної енергії в розрахунку на 10 т зерна кондиційної вологості, по тарифу для сільськогосподарських виробників, буде коливатись у межах 8-10 гривень. Вартість хімічних препаратів (фунгіцидів), що використовуються для знищення або пригнічення росту поверхневої мікрофлори значно вище. Так при обробці 10 тон зернової маси хімічним препаратом абакус МК необхідно витратити 3800 грн; акробат МЦ 69 % – 3200 грн; альетт 80 % – 4200 грн; ридоміл голд МЦ68 – 4600 грн.

## 5. ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

### 5.1. Методика, умови та результати проведення виробничої перевірки

З метою підтвердження результатів отриманих при виконанні теоретичних та експериментальних досліджень, було проведено виробничу перевірку запропонованого способу та технічних засобів знезаражуючої обробки зерна в електричному полі високої напруженості змінного струму. Далі приведені дані виробничої перевірки за результатами обробки ячменю, що проводились у Миронівському інституті пшениці ім. В.М. Ремесла с. Центральне та результатам обробки насіння круп'яних культур (сорго, соризу, проса, гречки) проведених у Староконстянтинівській районній державній насінневій інспекції м. Староконстянтинів Хмельницької обл.

*Характеристика місця і умов проведення досліджень.* Ґрунтотворні породи на території Миронівського інституту пшениці представлені суцільним заляганням лесів, товщиною до 6 метрів.

На території інституту та дослідного господарства “Еліта” виділено 12 видів ґрунтових відмін, які за генетичними ознаками, фізико-хімічними показниками, рельєфом та агрономічними властивостями згруповують у п'ять видів.

Основна частина це глибокі малогумусні легкосуглинкові чорноземи та їх вилугувані відміни. Вони займають в господарстві переважну площу і використовуються в основному як орні землі. Сформувались на рівних вододільних плато і зрідка на слабопологих схилах (0-2°), характеризуються досить високою природною родючістю.

Результати хімічних аналізів вказують на досить значний вміст гумусу – 3,7 %. Реакція – нейтральна (рН 6,2–6,8; гідролітична кислотність – 0,46–2,6 мг-екв/100г ґрунту у вилугуваних відмін, ступінь насичення основами від 89 до 98 %). Рухомих форм калію в ґрунтах – 99 мг на 100 г ґрунту. Забезпеченість фосфором – 108 мг на 100 г ґрунту. Ємність катіонного обміну – 17,7 мг-екв/100г ґрунту. Щільність складення ґрунту – 1,18 г/см<sup>3</sup>. Продуктивна волога – 190 мм. Вміст фізичної глини – 20 – 30 %.

Ґрунти придатні для вирощування всіх районованих сільськогосподарських культур та плодкових насаджень із застосуванням звичайної зональної агротехніки, мають досить сприятливі фізичні та агрономічні якості.

Чорноземи глибокі малогумусні слабо змиті легкосуглинкові займають в господарстві біля 84,2 га і використовуються, переважно, як орні землі. Невелику площу займають багаторічні насадження, а частина їх знаходиться під лісом.

Ґрунти залягають на слабо пологих схилах балок і відрізняються від попередніх деяким вкороченням верхнього гумусного горизонту, що обумовлює трохи нижчу їх родючість, у порівнянні з попередніми ґрунтами. Так, вміст гумусу в їх верхньому горизонті становить 3,27–3,38 %, вміст рухомого фосфору середній – 10,56–12,0 мг на 100 г ґрунту. Реакція ґрунтового розчину нейтральна

(рН 6,5–6,8), гідролітична кислотність – 0,73–1,96 мг/екв на 100 г ґрунту, ступінь насичення основами високий – 91,8–97,1 %).

Ґрунти категорій IV, V, VI займають відносно невелику площу, їх показники не суттєво відрізняються від двох попередніх категорій.

Порівняно легкий механічний склад ґрунту сприяє обробці, водопроникності, гарному повітряному і тепловому режимам. Однак ґрунти здатні до запливання, особливо в періоди рясних опадів, утворюють кірку, але вони багаті елементами зольного живлення і мають слабокислу, близьку до нейтральної, реакцію ґрунтового розчину, що сприятливо позначається на вирощуванні озимої пшениці.

**Багаторічні агро-кліматичні умови.** Поля Миронівського інституту пшениці розташовані в південно-східній частині Київської області на вододілі рік Рось і Росава.

Рельєф місцевості — широкохвилясте, досить підвищене плато (151 м над рівнем моря), розділеного з півдня на північний схід і північний захід глибокими балками, що утворюють ряд невеликих приток ріки Росави. Мікрорельєф території виражений неглибокими зниженнями блюдцеподібної чи подовженої форми по 0,2 – 1 га.

Ґрунтові води залягають на глибині 50–60 м від поверхні ґрунту.

Клімат помірно континентальний. Середньорічна температура повітря складає 7°C, але в деякі роки спостерігаються значні відхилення. Миронівська агрометеорологічна станція імені В. Ф. Старченкова, розташована на території інституту, такі відхилення відзначала в 1949, 1951, 1957, 1960, 1961, 1962 і 1966 рр., коли середньорічні температури досягали 8,0 – 8,6 °С, і в 1945, 1954, 1956, 1965 і 1969 рр. – 6,0–6,6 °С.

Найтепліший місяць в році – липень, найхолодніший – січень. Середня багаторічна температура в липні 20,1°C, у січні – мінус 6,1°C. Межі коливання середньомісячної температури липня – 18,2–23,4°C, січня – від -1,0 до -15,4°C. Максимальна температура повітря влітку іноді досягає 39° С (1936, 1947 р.), а узимку відзначаються морози до -36°C (1935 р.).

Велика частина опадів – 347 мм – випадає в теплий час року (квітень–вересень), коли переважають вологі північно-західні вітри; менше узимку. Бувають роки, коли відхилення суми опадів за рік складають більше 100 мм. Так, у 1933 р. випало 647, у 1947 р. – 681, у 1958 р. – 630, а в 1920 р. тільки 244 і в 1951р. – 278 мм.

Кількість опадів у середньому за вегетаційний період (квітень–жовтень) складає 386 мм, сума ефективних температур вище 5°C – 3000°C, вище 10°C – 2700°C. Тривалість безморозного періоду в середньому 165 днів.

Агрокліматичні умови в основному сприятливі для вирощування озимої пшениці. Теплозабезпечення території добре. Вологозабезпеченість за вегетаційний період характеризується гідротермічним коефіцієнтом (ГТК), рівним 1,2, а це свідчить про те, що кількість опадів за період із середньодобовою температурою повітря більше 10°C майже дорівнює витраті

вологи на випаровування у теплі місяці. Тому, район варто вважати помірно зволуженим.

Перехід від одного сезону року до іншого звичайно відбувається поступово.

**Методика проведення:** посів насіння ярого ячменю після обробки в електричному полі високої напруженості проводилась на дослідному полі за схемами, які використовуються у системі державного сортопробування сільськогосподарських культур. Дослідні ділянки площею 10 м<sup>2</sup> в чотирьох повтореннях на один варіант.

Обробку партій ячменю в електричному полі високої напруженості проводили в Національному університеті біоресурсів і природокористування України на кафедрі електроприводу та електротехнологій. У представленому способі обробки зернова маса розташована в камері обробки між паралельними плоскими електродами, до яких підводиться висока напруга змінного струму. У камері обробки встановлені діелектричні пластини, які запобігають виникненню значних струмів провідності. Режими обробки наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

#### Режими обробки ячменю

Варіант	E, кВ/см	I, мкА	t, хв	K <sub>o</sub> , мг/м <sup>3</sup>
1	5,3	410	5	150
2	5,3	575	5	300
3	5,3	335	10	170
4	5,3	385	10	370
5	5,3	325	5	370
6	4	605	3	480

E – напруженість електричного поля; I – струм; t – час обробки; K<sub>o</sub> – концентрація озону.

Таблиця 5.2

#### Результати обробки ячменю

Варіант	Дата посіву	Польова схожість, %	Висота рослин на фазі кущення	Врожай зерна, ц/га.		Маса 1000 зерен, г.	
Контроль	6.04.10	84	16.2	16.4		39.8	
1	-,-,-	90	18.4	21.5	+31%	42.3	+6.3%
2	-,-,-	93	18.5	22.3	+36%	43.8	+10%
3	-,-,-	89	18.9	23.1	+41%	43.7	+9.8%
4	-,-,-	88	18.7	23.7	+44%	44.1	+10.8%
5	-,-,-	86	18.5	23.2	+41%	46.6	+17%
6	-,-,-	84	16.8	23.7	+44%	47.6	+19.5%

За результатами досліджень встановлено ефективні дози обробки ячменю в електричному полі високої напруженості змінного струму на кінцевий результат – урожайність. Залежність урожайності ячменю від дози зображено на рис. 5.1.

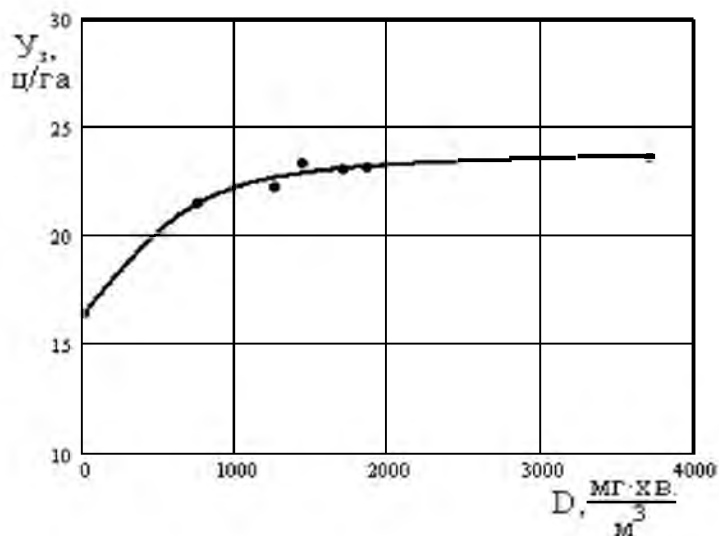


Рис. 5.1. Залежність урожайності ячменю від дози обробки

Виробничою перевіркою проведеною в Староконстантинівській районній державній насіннєвій інспекції було передбачено два напрями: лабораторні дослідження для перевірки впливу запропонованого способу обробки на мікроорганізми та польові для перевірки впливу способу обробки на кінцевий результат – врожайність.

Лабораторний аналіз проб насіння проводився біологічним методом рулонів згідно ДСТУ 4138-2002 «Методи визначення якості сільськогосподарських культур». В контрольних зразках(рис.5.2а та 5.2б) було виявлено ряд хвороботворних мікроорганізмів, які розвивались під час проростання насіння та пригнічували його подальший розвиток. В оброблених зразках (рис.5.2в та 5.2г) хвороботворних мікроорганізмів не виявлено.



а



в

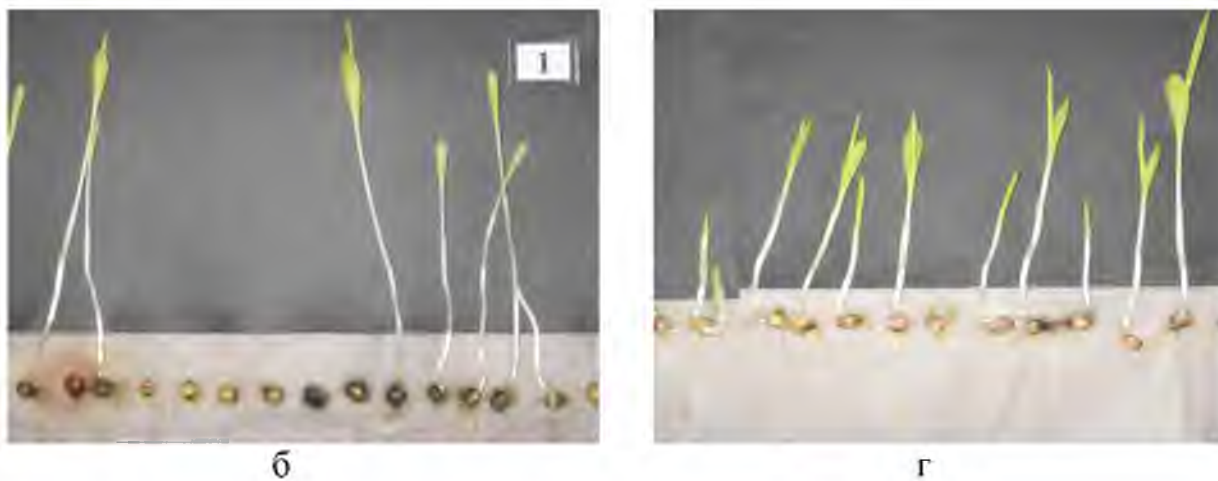


Рис. 5.2. Результати аналізу ураженості проростків насіння гречки сорту Оранта та соризу сорту Одеський 302: а,б) контроль, в,г) варіант оброблений в електричному полі високої напруженості змінного струму

Результати досліджень проведених в польових умовах наведені в таблицях 5.3–5.5.

Таблиця 5.3

## Структура врожаю рослин сорго

Ознаки	Показники											
	Оброблений варіант					%						
	Обробки, (контроль)											
	Сорти											
	Одеський 205	Фаворит	Медовий	Одеський 205	Фаворит	Медовий	Одеський 205	Фаворит	Медовий	Одеський 205	Фаворит	Медовий
Тривалість вегетаційного періоду, днів	120	115	108	117	113	104	98	98	96			
Висота рослин, см	141	198	264	164,5	221	292	117	112	111			
Розміри волоті, см	20,5	23	24,5	24,8	25,8	28,3	121	112	116			
Маса зерна з однієї рослини, г	31,1	19,4	26,2	36,3	24,7	29,5	117	127	113			
Маса 1000 зерн, г	25	26,7	22,5	27,2	28	24	109	105	107			
Урожайність, ц/га	49	24,3	28,5	53,3	26,8	29,7	109	110	104			

Таблиця 5.4

## Структура врожаю рослин проса

Ознаки	Показники										
	Оброблений варіант					%					
	Без обробки, (контроль)										
	Сорти										
	Денківське	Вітрило	Золотисте	Денківське	Вітрило	Золотисте	Денківське	Вітрило	Золотисте	Вітрило	Золотисте
Тривалість вегетаційного періоду, днів	98	96	88	94	94	85	96	98	97		
Висота рослин, см	124	118	105	142	138	121	115	117	115		
Розміри волоті, см	22,8	23	28,2	26	25,3	30,1	114	110	107		
Маса зерна з однієї рослини, г	0,48	0,39	0,41	0,51	0,42	0,45	106	108	110		
Маса 1000 зерн, г	8,2	8,5	8,4	8,5	8,9	8,8	104	105	105		
Урожайність, ц/га	49	24,3	28,5	53,3	26,8	29,7	109	110	104		

Таблиця 5.5

## Структура врожаю рослин гречки

Ознаки	Показники										
	Без обробки, (контроль)			Оброблений варіант			%				
	Сорти										
	Вікторія	Єлена	Оранта	Вікторія	Єлена	Оранта	Вікторія	Єлена	Вікторія	Єлена	Оранта
Тривалість вегетативного періоду, днів	84	80	76	87	82	79	104	103	104	103	104
Висота рослин, см	96	102	111	121	119	128	126	117	115	117	115
Число штук всього: гілок	4,1	3,8	4	4,9	4,2	4,2	120	111	105	111	105
в т. ч. 1-го порядку	3,3	3	3	3,8	3	3,2	115	100	107	100	107
судв'їть	16	18	19	18	18	20	113	100	105	100	105
зерен всіх	89	111	100	105	123	109	118	111	109	111	109
в т. ч. повноцінних	59	77	82	62	82	85	105	106	104	106	104
Маса зерна з однієї рослини, г	1,5	1,9	2,2	1,6	2,1	2,4	107	111	109	111	109
Маса 1000 зерн, г	24,2	24,5	27,7	25,5	25,9	28,1	105	106	101	106	101
Урожайність, ц/га	22	22,8	25,3	24,1	24,7	26	110	108	103	108	103
Показники якості зерна:											
вирівняність	72,6	75,1	75,9	73,4	76,3	77	101	102	101	102	101
плівчастість	21,1	22	22,7	20,8	21,4	22,2	99	97	98	97	98

## 5.2 Техніко – економічні показники роботи установки при обробці зернової маси

Розрахунок економічної ефективності ґрунтується на визначенні річного ефекту, який можна отримати за рахунок заощадження хімічних протравлювачів, зниження втрат зернової маси при зберіганні та отримання додаткового врожаю. Розрахунок виконували з використанням існуючих методик для визначення економічної ефективності в енергетиці та сільському господарстві [154, 97].

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. Вартість всіх складових, що використовуються для розрахунку економічної ефективності, взята за 2010 рік.

Для встановлення ефективності використання установки необхідно визначити наступні показники:

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

Чистий дисконтний прибуток визначаємо за виразом:

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

де  $R_t$  – результати, які досягаються на кроці  $t$ ;

$Z_t$  – витрати, які здійснюються на кроці  $t$  (без капітальних вкладень);

$T$  – тривалість розрахункового періоду;

$E$  – постійна норма дисконту;

$K$  – капітальні вкладення.

Норма дисконту має постійне значення  $E = 0,15$ .

Прибуток, що отримують на протязі одного з років розрахункового періоду можна визначити за виразом:

$$R_t = R_{до} + R_{дз} + R_n, \quad (5.2)$$

де  $R_{до}$  – вартість додатково отриманого зерна;

$R_{дз}$  – вартість додатково збереженого зерна при зберіганні;

$R_n$  – вартість заощаджених протравлювачів.

Капітальні вкладення будуть визначатися лише вартістю установки:

$$K = B_{уст}, \quad (5.3)$$

де  $B_{уст}$  – вартість установки;

Індекс прибутковості визначається за виразом:

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

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

Внутрішня норма прибутковості  $E_{ВН}$  (ВНП) визначає прибуток, який необхідно отримати, щоб повернути кошти витрачені на реалізацію проекту,  $E_{ВН}$  визначається за виразом:

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

ВНП повинен перевищувати кошти, що витрачені на реалізацію проекту. Тільки у такому випадку може бути прийняте рішення про доцільність інвестування. В іншому випадку інвестиції в цей проект невиправдані.

Одним з важливих показників інвестованого проекту є його час окупності. Тобто час за який кошти витрачені на реалізацію проекту будуть повернені і в подальшому отримуватимемо лиш чистий прибуток, що визначатиме позитивність інтегрального ефекту.

Чистий дисконтний прибуток та індекс прибутковості буде суттєво залежати від часу використання проекту. Зміна цих показників при впровадженні установки для знезаражуючої обробки зернової маси в електричному полі високої напруги змінного струму при обробці 20 тон ячменю щорічно, протягом 5 років наведено на рис. 5.3 та 5.4.

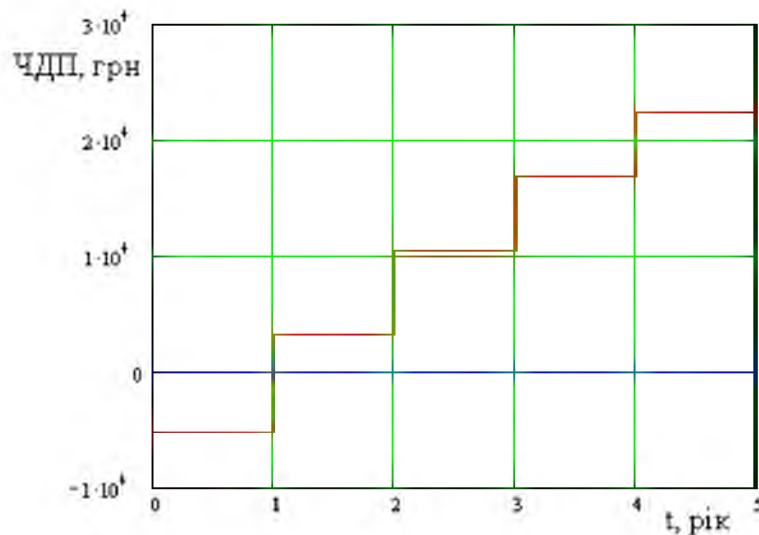


Рис. 5.3. ЧДП в залежності від часу експлуатації установки

З рис. 5.4 видно, що починаючи з другого року отримуємо чистий прибуток.

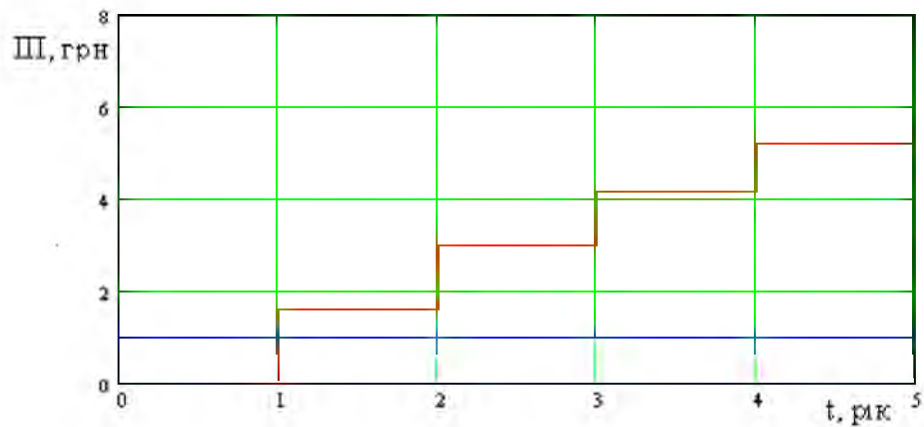


Рис. 5.4. Індекс прибутковості

Як зазначалося вище, індекс прибутковості пов'язаний з чистим дисконтним прибутком, а оскільки прибуток отримуємо починаючи з другого року то ПІ починаючи з цього періоду стає позитивним. Тобто за один рік експлуатації установки повністю повертаються кошти витрачені на її придбання.

При фінансуванні будь-якого проекту необхідно врахувати можливі ризики. Для цього необхідно врахувати всі фактори реалізації майбутнього проекту пов'язаних з динамічними та статистичними ризиками.

При впровадженні установки для знезаражуючої обробки зерна найважливішими факторами будуть:

- рівень інфляції;
- коливання цін на протравлювачі, а також різні партії зерна та насінневого матеріалу;
- можливі відхилення у вихідних даних за результатами використання уставки для знезаражуючої обробки зерна в електричному полі високої напруги змінного струму.

Таким чином можливий ризик можна врахувати визначивши вплив відхилення перелічених факторів в межах  $\pm 10\%$  на чистий дисконтний прибуток. Розрахунковий період визначається часом реалізації проекту, який приймається 2 роки. Аналіз можливого ризику, при застосуванні установки, встановлювали скориставшись методом Монте-Карло, який оснований на застосуванні імітаційних моделей, що дозволяють відтворити множини сценаріїв, які узгоджуються з заданими обмеженнями на вихідні дані. Очікуваний ефект, від інвестування коштів в проект, розглядається на прикладі величини показника ефективності проекту, в нашому випадку ЧДП. Врахувавши (5.1)...(5.3) прогнозована модель буде мати вигляд:

$$ЧДП = \sum_{t=0}^T (G_{\text{дн}} \cdot B_{\text{дн}} + G_{\text{зн}} \cdot B_{\text{зн}} + N_n \cdot B_n - 3_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (5.6)$$

де  $G_{до}$  – вага додатково отриманого зерна;  
 $B_{до}$  – вартість 1т додатково отриманого зерна;  
 $G_{оз}$  – вага заощадженого зерна при зберіганні;  
 $B_{оз}$  – вартість 1т додатково збереженого зерна;  
 $N_n$  – кількість заощаджених протравлювачів;  
 $B_n$  – вартість 1кг протравлювачів,  
 $Z_t$  – експлуатаційні витрати.

Виконавши генерацію множини випадкових сценаріїв при зміні визначених факторів в межах  $\pm 10\%$  від бази, отримали гістограму розподілу ЧДП при 500 прогонах. Гістограма зображена на рис. 5.5.

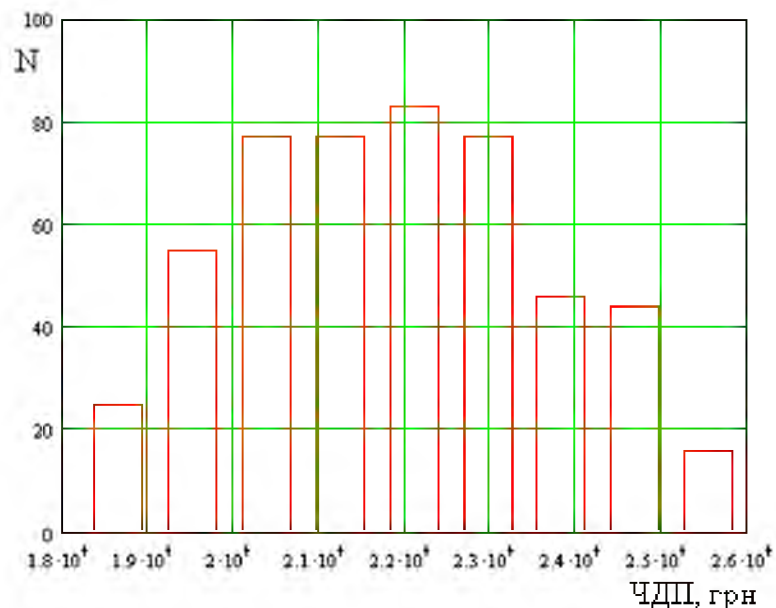


Рис. 5.5. Гістограма розподілу випадкових значень ЧДП: N – кількість прогонів

Коефіцієнт очікуваних втрат визначається згідно виразу:

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

де  $B$  – очікувані втрати (сума всіх негативних факторів, помножених на вірогідність їх становлення);

$П$  – очікувані прибутки (сума всіх позитивних факторів, помножених на вірогідність їх становлення).

Коефіцієнт очікуваних втрат рівний нулю, що дає змогу зробити висновок про незначний ризик, пов'язаний із використанням установки для обробки зерна в електричному полі високої напруженості.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Залежність концентрації озону в масі ячменя від виду та товщини ізоляційних пластин, вологості зернової маси, режимних параметрів

Ячмінь етикет

$h := 3 \cdot 10^{-2}$  -відстань між електродами, м

$L := 6 \cdot 10^{-2}$  -висота суміші ячменя, м

$H := 10 \cdot 10^{-2}$  -ширина електродів, м

$h1$  -товщина ізоляції, см

$h2$  -товщина шару ячменя, см

$S := L \cdot H$   $S = 6 \times 10^{-3}$  -площа електрода покрита ячменем,  $m^2$

$j := \frac{I}{S}$  -густина струму,  $\frac{A}{m^2}$

$C1 := 230$   $C := 46$

$\varepsilon := \frac{C1}{C}$  -діелектрична проникність ячменя Скарлет вологістю 4,5%

$\varepsilon = 5$

Залежність концентрації озону та окисів азоту від напруженості поля при ізоляційних  
пластинах з поліетилену товщиною 0.5 мм.

$n := 0..3$

$U_n :=$        $I_n :=$        $h1_n :=$        $h2_n :=$        $l_n :=$        $V_n :=$        $NO2_n :=$        $NO_{сума}_n :=$        $NO_n :=$

11.2	$102 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	34	200	0.002	0.0055	0.0035
13.2	$145 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	36	85	0.0061	0.01	0.0039
15	$188 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	38	37	0.0083	0.0125	0.0042
16	$210 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	42	25	0.01	0.0143	0.0043

$$E_n := \frac{U_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{h1_n}{2.3} + h2_n} \quad E_{пн} := \frac{U_n}{2 \cdot h1_n + 2.3 \cdot \frac{h2_n}{(\varepsilon)}} \quad j_n := \frac{I_n}{S} \quad K_n := 0.39 \cdot \frac{l_n \cdot 1000}{V_n}$$

$$P_{пит_n} := j_n \cdot U_n \frac{kBt}{m^2}$$

продовження додатку А

$E_n =$

3.593
4.234
4.812
5.132

$E_{\Pi n} =$

7.81
9.205
10.46
11.158

$K_n =$

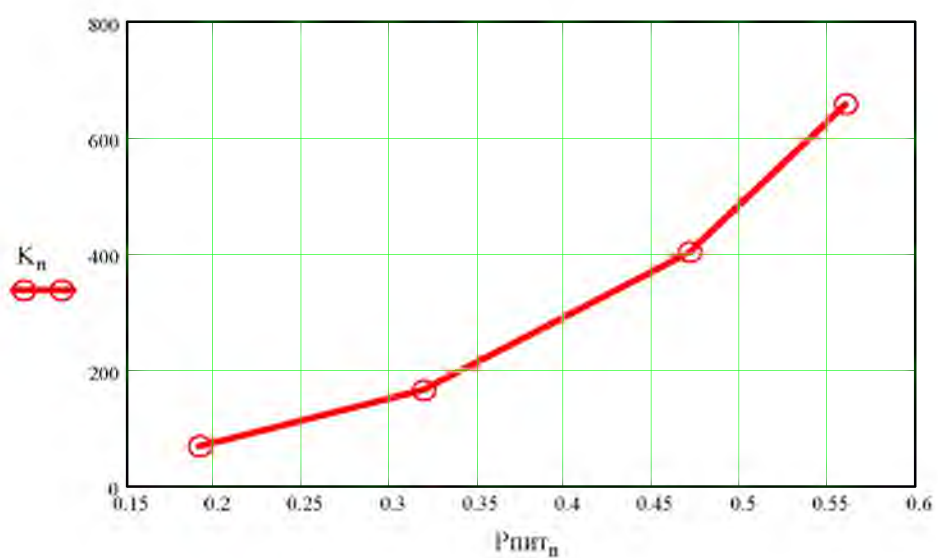
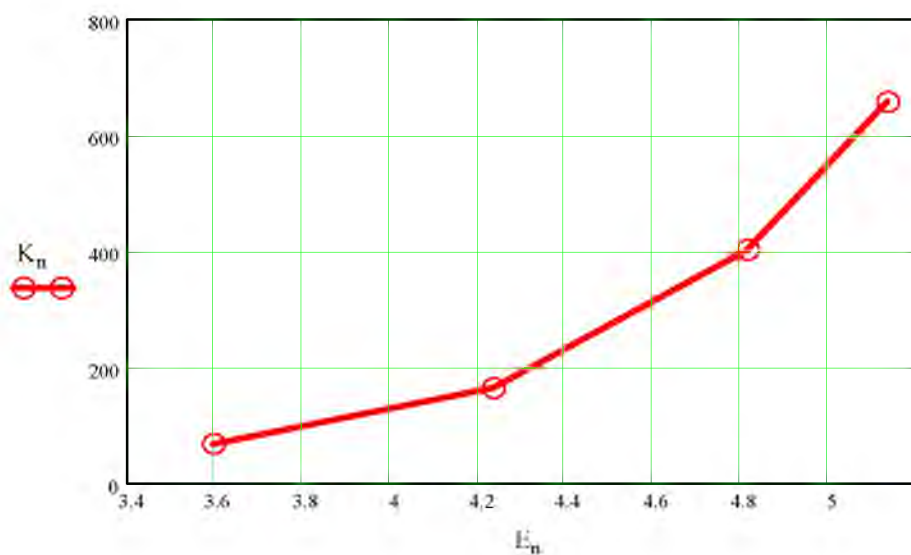
66.3
165.176
400.541
655.2

$j_n =$

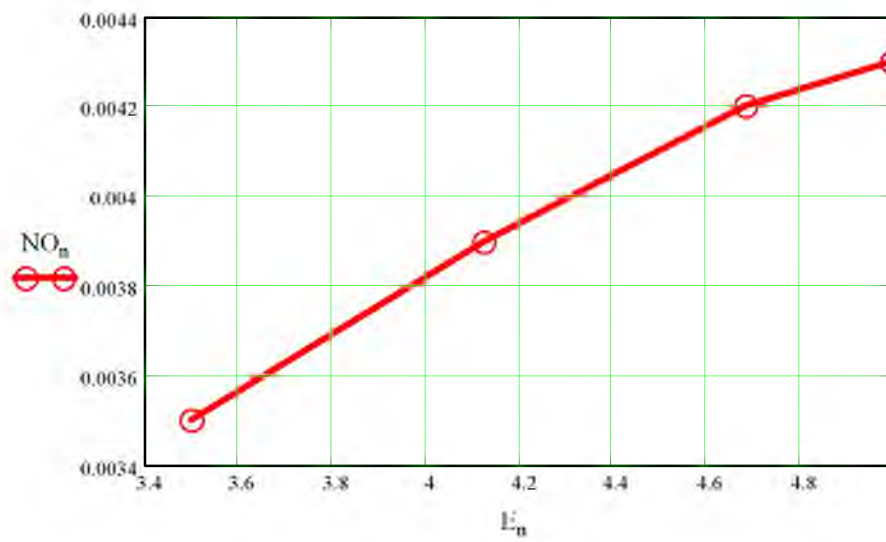
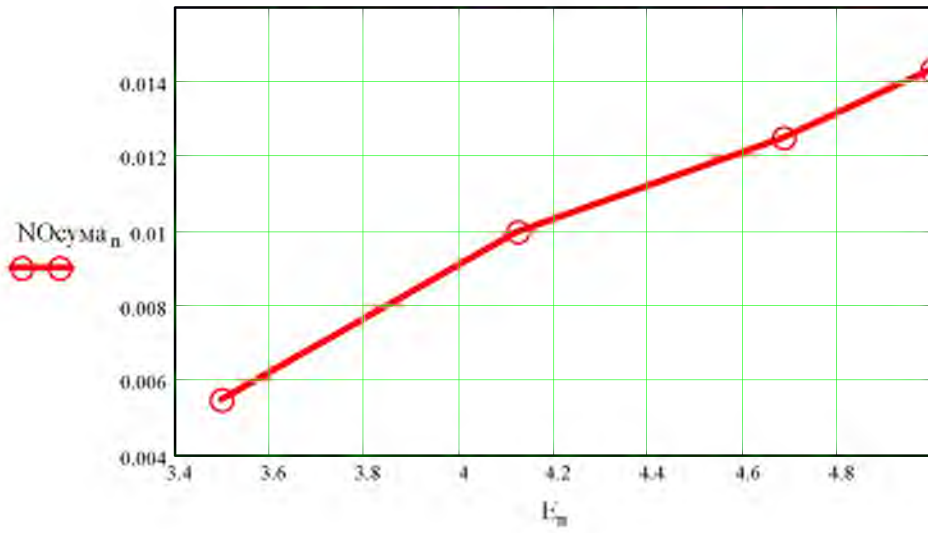
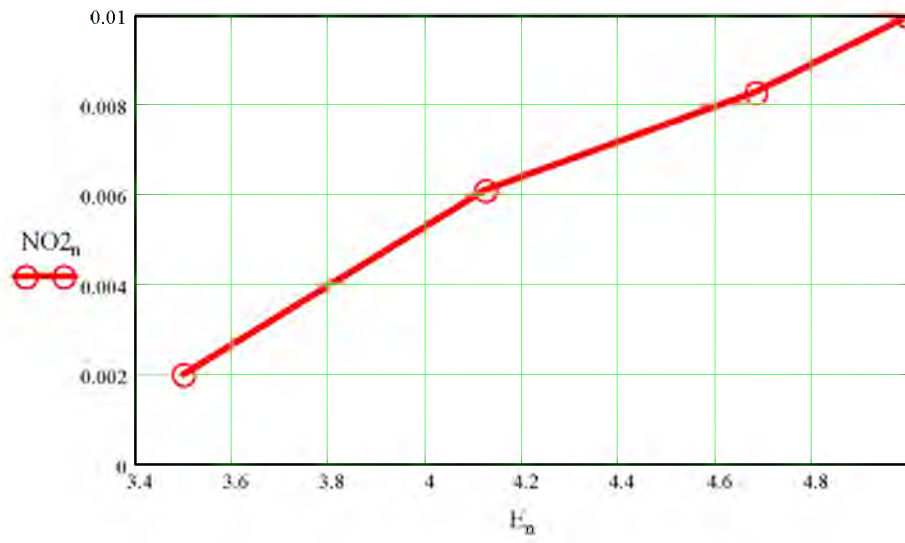
0.017
0.024
0.031
0.035

$P_{\text{пит}n} =$

0.19
0.319
0.47
0.56



продовження додатку А



продовження додатку А

Залежність концентрації озону та окисів азоту від напруженості поля при діелектричних пластинах з поліетилену різної товщини

$n := 0..3$

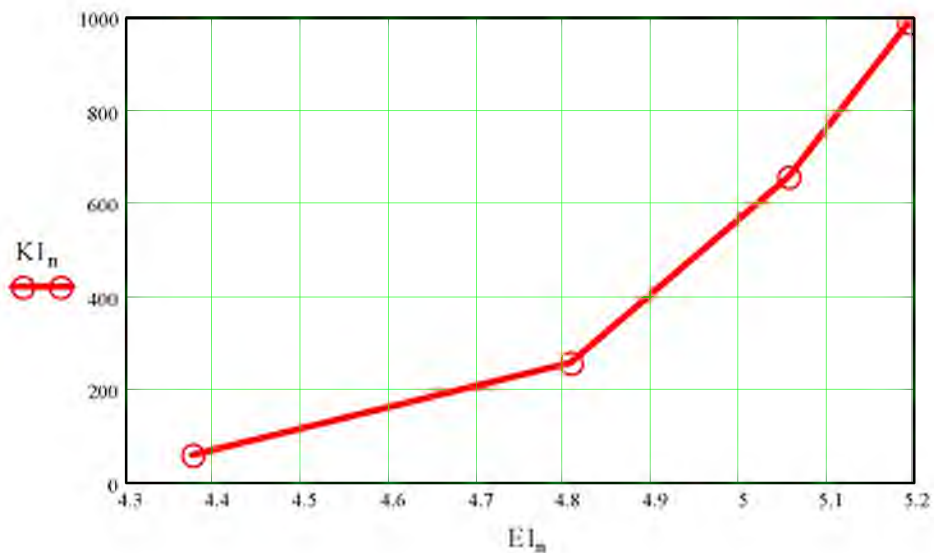
$$U_{1n} := \quad I_{1n} := \quad h_{11n} := \quad h_{12n} := \quad l_{1n} := \quad V_{1n} := \quad NO_{12n} := NO_{1сумаn} := \quad NO_{1n} :=$$

16	$260 \cdot 10^{-6}$	0.025	2.95	38	15	0.011	0.016	0.005
16	$210 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	42	25	0.01	0.0143	0.0043
16	$110 \cdot 10^{-6}$	0.1	2.8	33	50	0.0075	0.0104	0.0029
16	$70 \cdot 10^{-6}$	0.2	2.6	23	150	0.0035	0.0045	0.001

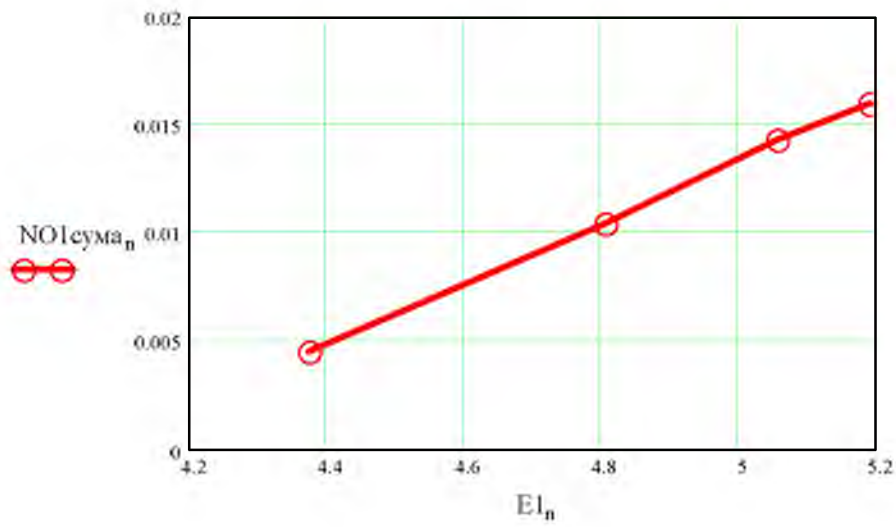
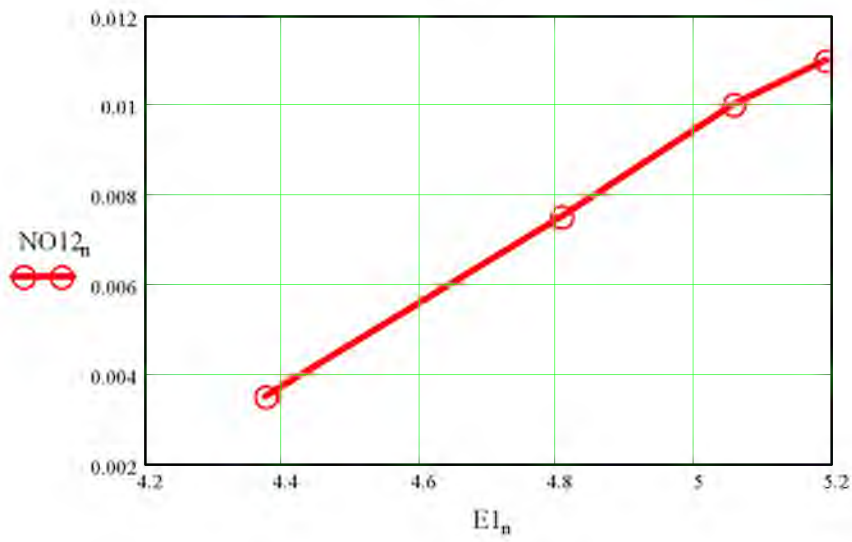
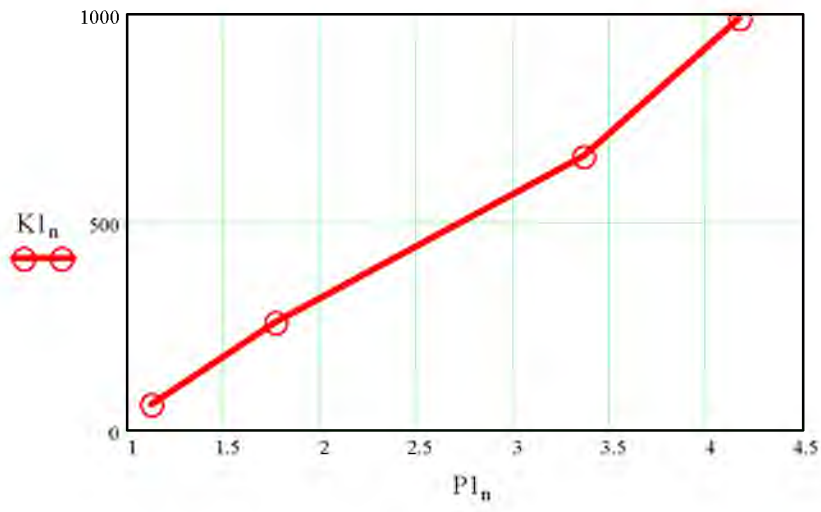
$$E_{1n} := \frac{U_{1n}}{2 \cdot (\epsilon) \cdot \frac{h_{11n}}{2.3} + h_{12n}} \quad E_{1nн} := \frac{U_{1n}}{2 \cdot h_{11n} + 2.3 \cdot \frac{h_{12n}}{(\epsilon)}} \quad j_{1n} := \frac{I_{1n}}{S}$$

$$P_{1n} := U_{1n} \cdot 10^3 \cdot I_{1n} \quad K_{1n} := 0.39 \cdot \frac{I_{1n} \cdot 1000}{V_{1n}}$$

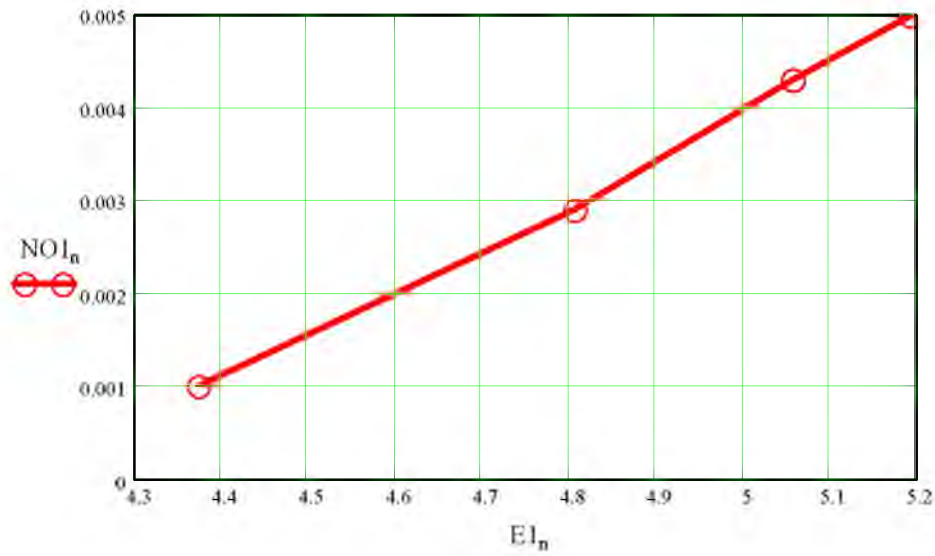
$E_{1n} =$	$E_{1nн} =$	$K_{1n} =$	$j_{1n} =$	$P_{1n} =$
5.191	13.738	988	0.043	4.16
5.056	13.38	655.2	0.035	3.36
4.806	12.719	257.4	0.018	1.76
4.373	11.574	59.8	0.012	1.12



продовження додатку А



продовження додатку А



Залежність концентрації озону та окисів азоту від напруженості поля при діелектричних пластинах з поліетилену різної товщини при вологості ячменя 17.2%

$$C2 := 370 \quad C := 46$$

$$\epsilon1 := \frac{C2}{C} \text{ — діелектрична проникність ячменя Скарлет вологістю 17,2\%}$$

$$\epsilon1 = 8.043$$

$$n := 0..2$$

$$U2_n := \quad I2_n := \quad h21_n := \quad h22_n := \quad l2_n := \quad V2_n := \quad NO22_n := NO2_{сума}_n := NO2_n :=$$

16	$380 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	39	70	0.01	0.0143	0.0042
16	$185 \cdot 10^{-6}$	0.1	2.8	33	150	0.0057	0.0091	0.0034
16	$117 \cdot 10^{-6}$	0.2	2.6	27	500	0.003	0.0056	0.0026

$$E2_n := \frac{U2_n}{2 \cdot (\epsilon1) \cdot \frac{h21_n}{2.3} + h22_n} \quad E2_{пn} := \frac{U2_n}{2 \cdot h21_n + 2.3 \cdot \frac{h22_n}{(\epsilon1)}} \quad j2_n := \frac{I2_n}{S}$$

$$K2_n := 0.39 \cdot \frac{I2_n \cdot 1000}{V2_n} \quad P2_n := U2_n \cdot 10^3 \cdot I2_n$$

продовження додатку А

$E2_n =$

4.924
4.572
4.001

$E2_{\Pi_n} =$

17.218
15.99
13.993

$K2_n =$

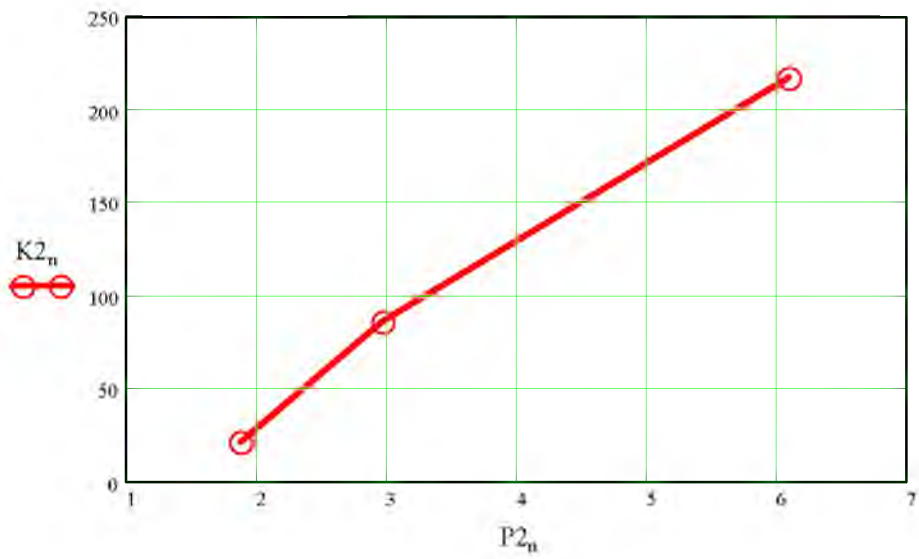
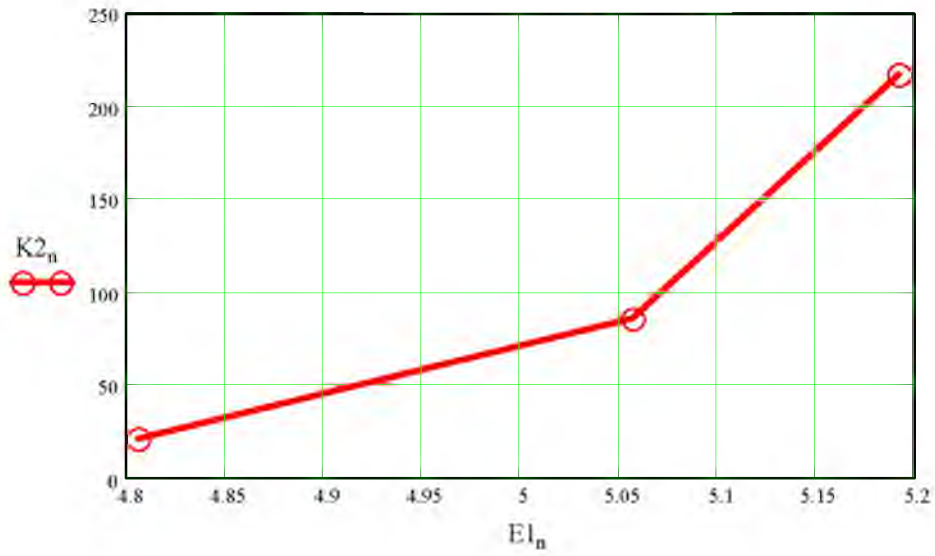
217.286
85.8
21.06

$j2_n =$

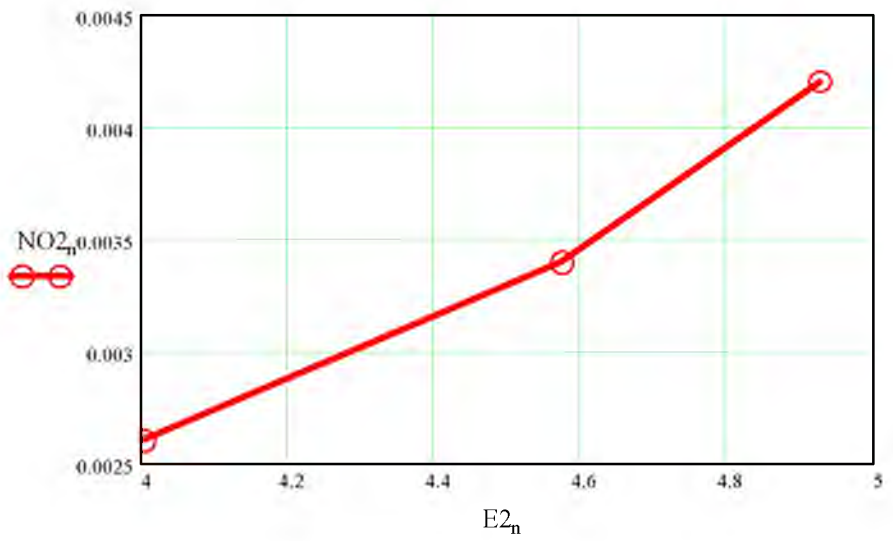
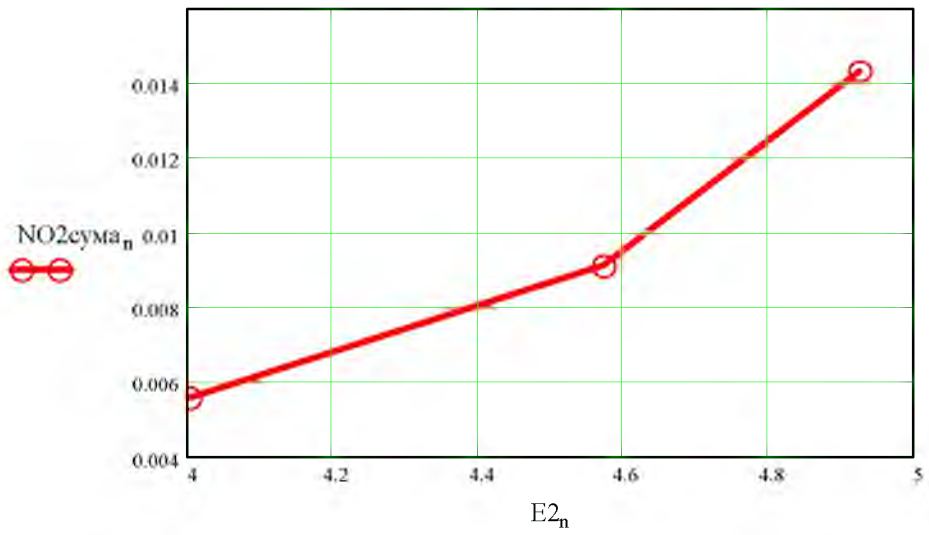
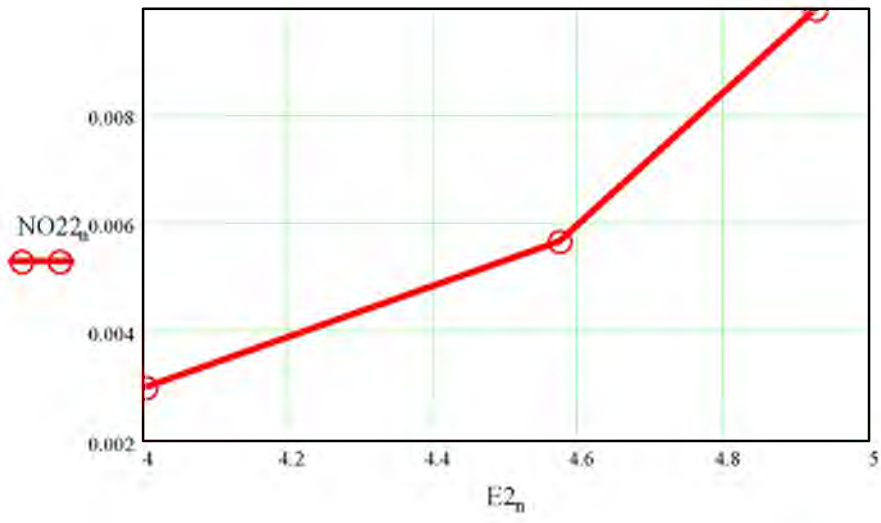
0.063
0.031
0.02

$P2_n =$

6.08
2.96
1.872



продовження додатку А



## продовження додатку А

Залежність концентрації озону та окисів азоту від напруженості поля при діелектричних пластинах з поліетилену різної товщини, вологості ячмення 12.2%

$$C3 := 140 \quad C := 46$$

$$\epsilon2 := \frac{C3}{C} \text{ — діелектрична проникність ячменя Скарлет вологістю } 12,2\%$$

$$\epsilon2 = 3.043$$

$$n := 0..2$$

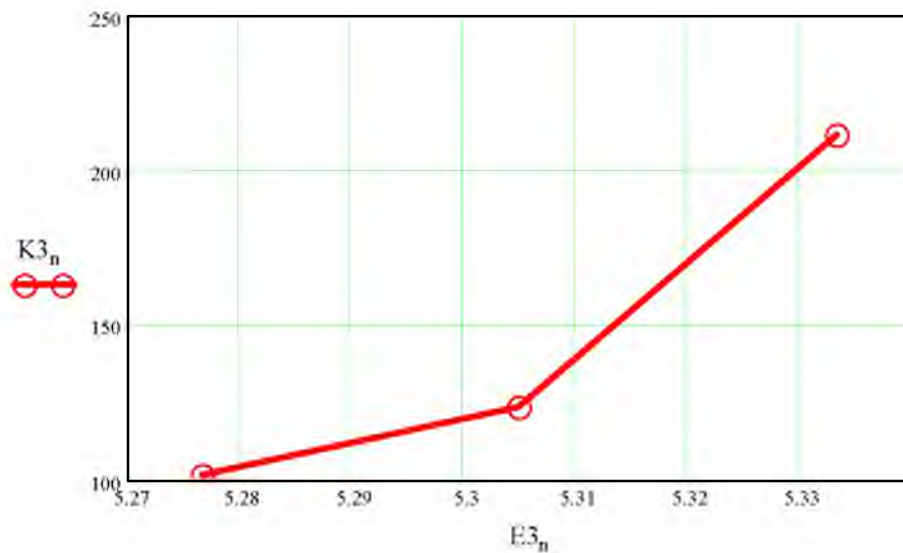
$$U3_n := \quad I3_n := \quad h31_n := \quad h32_n := \quad I3_n := \quad V3_n := \quad NO32_n := NO3_{\text{сума}_n} := NO3_n :=$$

16	$119 \cdot 10^{-6}$	0	3	38	70	0	0	0
16	$79 \cdot 10^{-6}$	0.025	2.95	38	120	0	0	0
16	$63 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	39	150	0	0	0

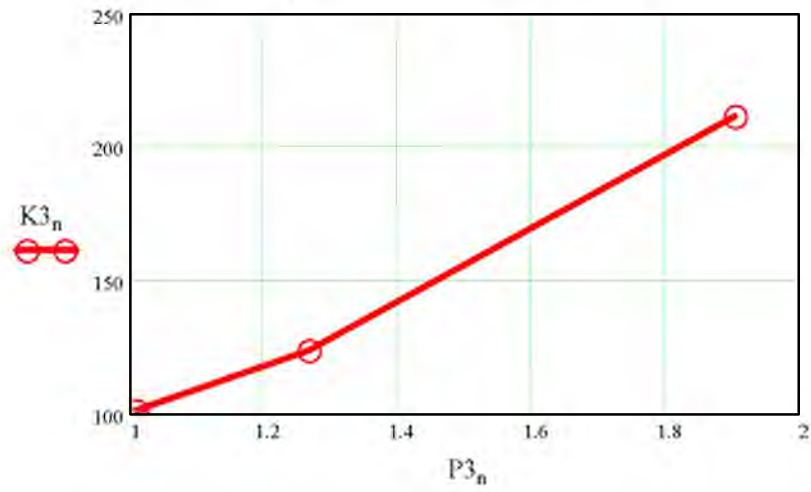
$$E3_n := \frac{U3_n}{2 \cdot (\epsilon2) \cdot \frac{h31_n}{2.3} + h32_n} \quad E3_{\Pi n} := \frac{U3_n}{2 \cdot h31_n + 2.3 \cdot \frac{h32_n}{(\epsilon2)}} \quad j3_n := \frac{I3_n}{S}$$

$$P3_n := U3_n \cdot 10^3 \cdot I3_n \quad K3_n := 0.39 \cdot \frac{I3_n \cdot 1000}{V3_n}$$

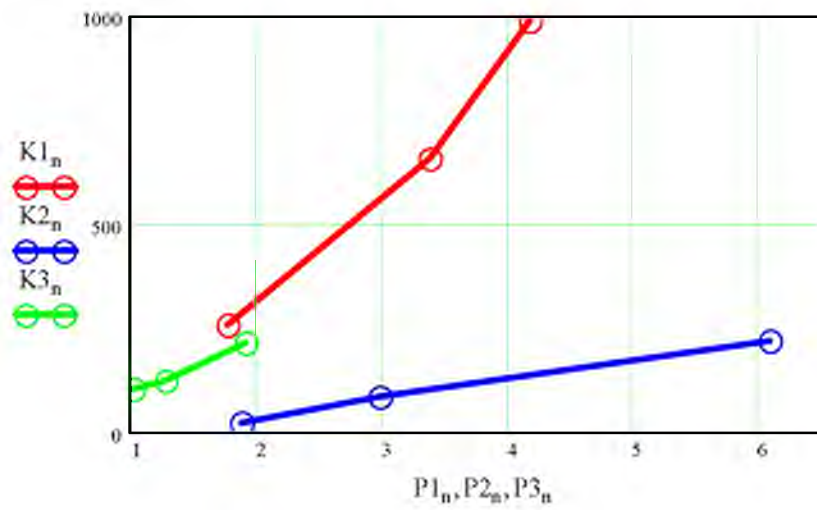
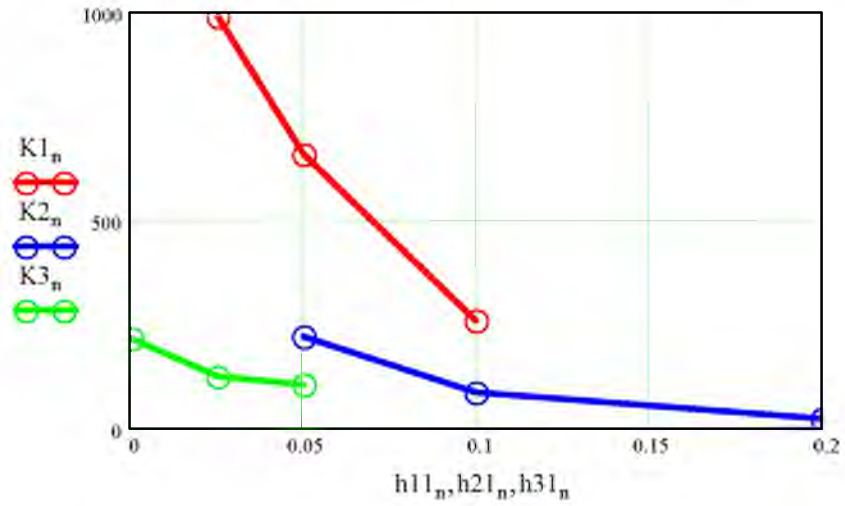
$E3_n =$	$E3_{\Pi n} =$	$K3_n =$	$j3_n =$	$P3_n =$
5.333	7.057	211.714	0.02	1.904
5.305	7.02	123.5	0.013	1.264
5.276	6.982	101.4	0.01	1.008



продовження додатку А



Графічні порівняння залежностей концентрації озону від товщини діелектричних пластин при різних вологостях зернової маси



продовження додатку А

Залежність концентрації озону та від напруженості поля при різних  
вологості ячмення

$n := 0..6$

$U_{4n} := I_{4n} := h_{41n} := h_{42n} := \varepsilon_n := W_n := I_{41n} := V_{41n} := I_{42n} := V_{42n} := I_{43n} := V_{43n} :=$

16	$63 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	3	12.2	38	150	40	150	39	150
16	$115 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	4	13.5	40	25	40	25	34	25
16	$149 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	4.5	14	37	23	37	23	37	23
16	$180 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	5	14.5	38	23	37	23	39	23
16	$250 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	6.7	15.9	43	32	38	32	39	32
16	$340 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	8	16.7	39	42	37	42	41	42
16	$380 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	8.5	17.2	40	70	38	70	39	70

$$E_{4n} := \frac{U_{4n}}{2 \cdot (\varepsilon_n) \cdot \frac{h_{41n}}{2.3} + h_{42n}} \quad E_{4n\pi} := \frac{U_{4n}}{2 \cdot h_{41n} + 2.3 \cdot \frac{h_{42n}}{(\varepsilon_n)}} \quad j_{4n} := \frac{I_{4n}}{S}$$

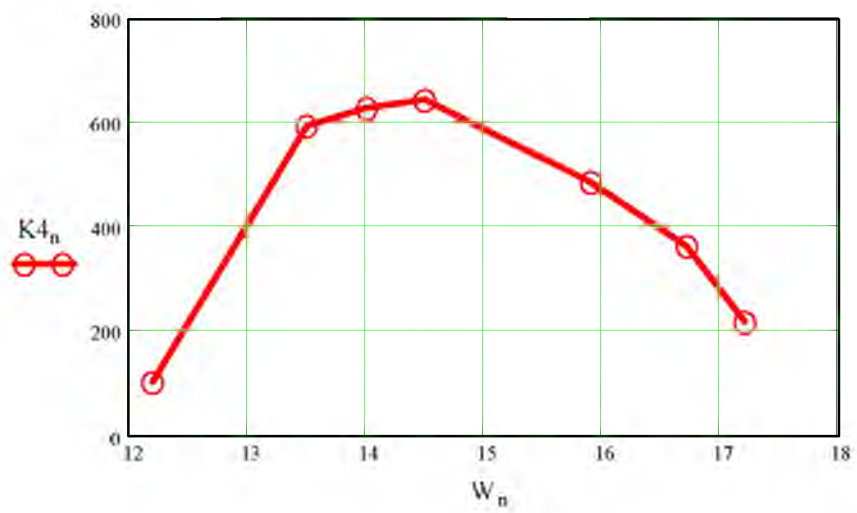
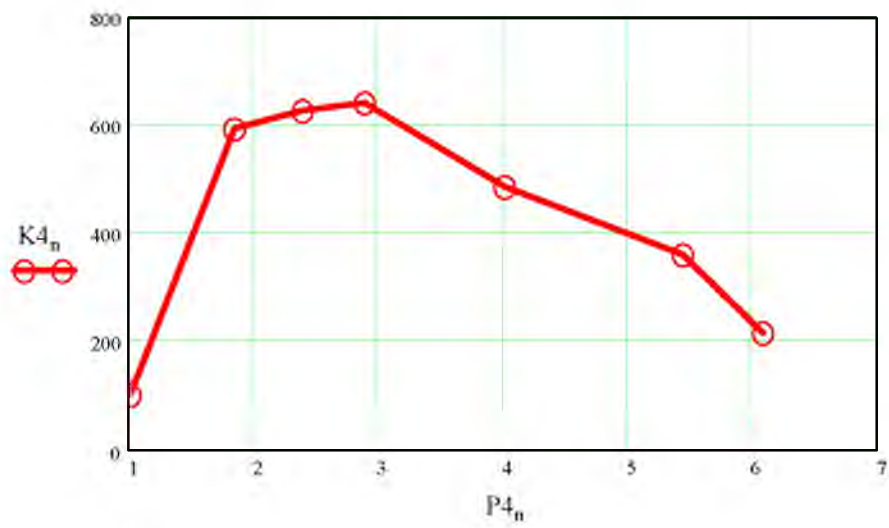
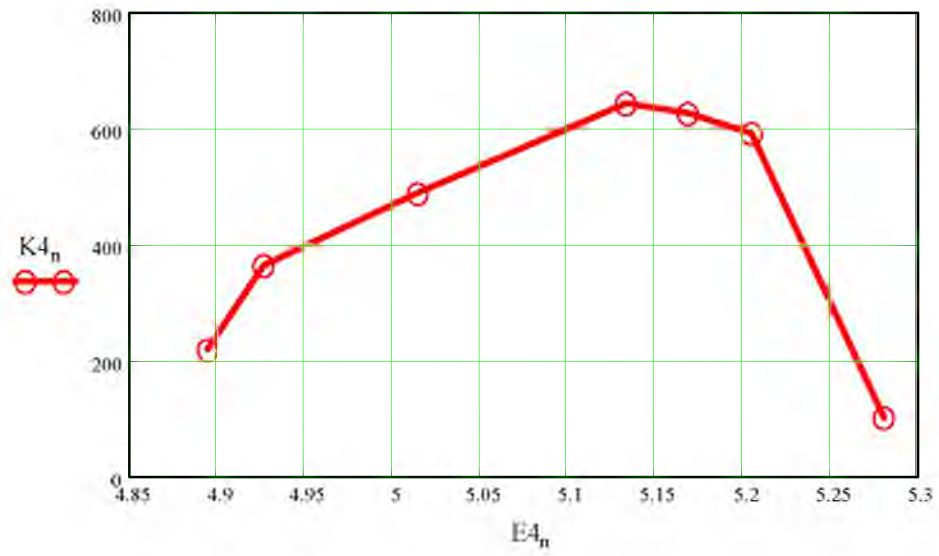
$$K_{41n} := 0.39 \cdot \frac{I_{41n} \cdot 1000}{V_{41n}} \quad K_{42n} := 0.39 \cdot \frac{I_{42n} \cdot 1000}{V_{42n}} \quad K_{43n} := 0.39 \cdot \frac{I_{43n} \cdot 1000}{V_{43n}}$$

$$K_{4n} := \frac{K_{41n} + K_{42n} + K_{43n}}{3}$$

$$P_{4n} := I_{4n} \cdot U_{4n} \cdot 10^3$$

$E_{4n} =$	$E_{4n\pi} =$	$j_{4n} =$	$P_{4n} =$	$K_{4n} =$
5.28	6.887	0.01	1.008	101.4
5.205	9.052	0.019	1.84	592.8
5.169	10.112	0.025	2.384	627.391
5.132	11.158	0.03	2.88	644.348
5.014	14.605	0.042	4	487.5
4.926	17.135	0.057	5.44	362.143
4.894	18.085	0.063	6.08	217.286

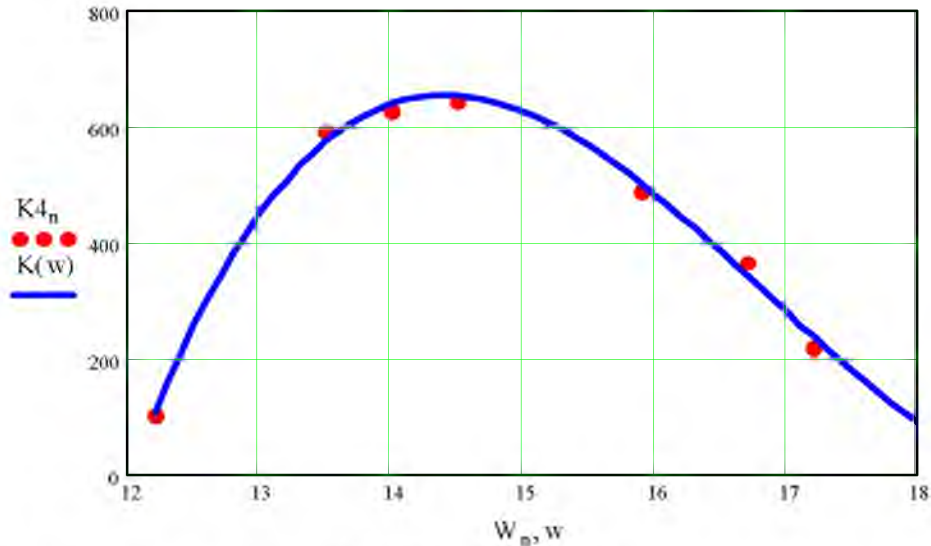
продовження додатку А



продовження додатку А

$w := 12.2, 12.3.. 18$

$$K(w) := -52834 + 9891w - 600 \cdot w^2 + 11.88 \cdot w^3$$



$$Kk_n := -52834 + 9891 W_n - 600 \cdot (W_n)^2 + 11.88 \cdot (W_n)^3$$

$$Kk_n = \quad K4_n =$$

104.474	101.4
573.755	592.8
638.72	627.391
653.165	644.348
500.687	487.5
342.38	382.143
237.962	217.286

$$Da := \frac{3}{7-4} \cdot \sum_{n=0}^6 (K4_n - Kk_n)^2$$

$$Dcp := \frac{1}{7(3-1)} \cdot \sum_{n=0}^6 [(K4_{1n} - K4_n)^2 + (K4_{2n} - K4_n)^2 + (K4_{3n} - K4_n)^2]$$

$$Da = 1.571 \times 10^3 \quad Dcp = 661.47$$

$$KF := \frac{Da}{Dcp} \quad KF = 2.375$$

KFкр\_табличне\_значення\_критерію\_Фішера 2.87

умова адекватності теорет. моделі

$$KF < KFk$$

### продовження додатку А

Залежність концентрації озону та окисів азоту від напруженості поля при діелектричних пластинах з поліетилену різної товщини

$$n := 0..3$$

$$U5_n := I5_n := h51_n := h52_n := I5_n := V5_n :=$$

15	$210 \cdot 10^{-6}$	0.025	2.95	38	25
15	$150 \cdot 10^{-6}$	0.05	2.9	38	37
15	$93 \cdot 10^{-6}$	0.1	2.8	33	100
15	$68 \cdot 10^{-6}$	0.2	2.6	20	250

$$C1 := 230 \quad C := 46$$

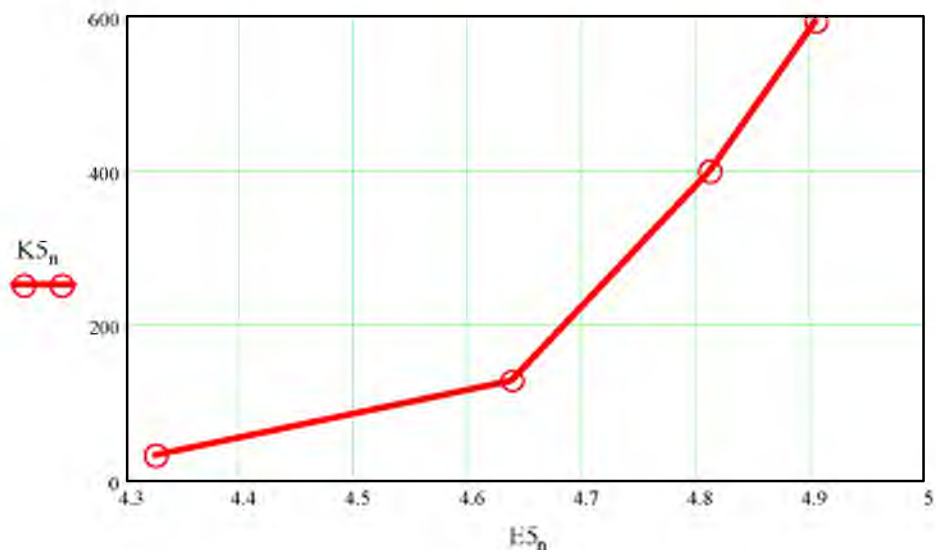
$$\varepsilon := \frac{C1}{C} \quad \text{— діелектрична проникність ячменя Скарлет вологістю 4,6\%}$$

$$\varepsilon = 5$$

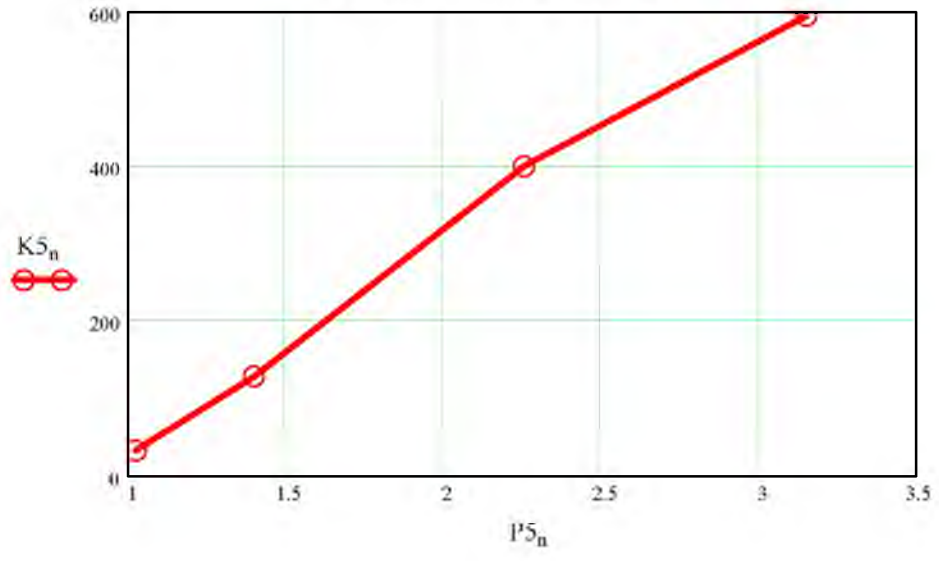
$$E5_n := \frac{U5_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{h51_n}{2.3} + h52_n} \quad E5_{\Pi n} := \frac{U5_n}{2 \cdot h51_n + 2.3 \cdot \frac{h52_n}{(\varepsilon)}} \quad j5_n := \frac{I5_n}{S}$$

$$P5_n := I5_n \cdot U5_n \cdot 10^3 \quad K5_n := 0.39 \cdot \frac{I5_n \cdot 1000}{V5_n}$$

$E5_n =$	$E5_{\Pi n} =$	$K5_n =$	$j5_n =$	$P5_n =$
4.904	10.661	592.8	0.035	3.15
4.812	10.46	400.541	0.025	2.25
4.637	10.081	128.7	0.016	1.395
4.323	9.398	31.2	0.011	1.02



продовження додатку А



**Додаток Б**  
**Залежність життєздатності спор твердої сажки**  
**в пшениці сорту "Подольнка" від різних**  
**режимів обробки (штучний фон)**

Дослідження проведенні при погодніх умовах:

Температура повітря  $t = 19.3 \text{ C}$

Тиск  $p = 744$

Вологість повітря  $W_{\text{п}} = 70\%$

$h := 3 \cdot 10^{-2}$  -відстань між електродами, м

$H := 10 \cdot 10^{-2}$  -ширина електродів, м

$L := 1.7 \cdot 10^{-2}$  -висота суміші пшениці, м

$S := L \cdot H$      $S = \blacksquare$     -площа електрода покрита пшеницею  $\text{м}^2$

$\tau$  -час обробки, хв

$K$  -концентрація озону,  $\frac{\text{мг}}{\text{м}^3}$

$N_{\text{n}}$  -кількість життєздатних спор, шт

$E$  -напруженість поля,  $\frac{\text{кВ}}{\text{см}}$

$j$  -густина струму,  $\frac{\text{А}}{\text{м}^2}$

$N\%$  -кількість життєздатних спор у відсотках по відношенню до контролю

$D_{\text{n}}$  -доза обробки,  $\frac{\text{мг} \cdot \text{хв}}{\text{м}^3}$

$n := 0..5$

$U_{\text{n}} :=$	$I_{\text{n}} :=$	$\tau_{\text{n}} :=$	$K_{\text{n}} :=$	$N_{\text{n}} :=$
0	0	0	0	311
16	$20 \cdot 10^{-6}$	5	106	70.8
20	$50 \cdot 10^{-6}$	5	176	62.1
24	$90 \cdot 10^{-6}$	5	281	56.7
16	$20 \cdot 10^{-6}$	10	106	58.5
20	$50 \cdot 10^{-6}$	10	176	46.6

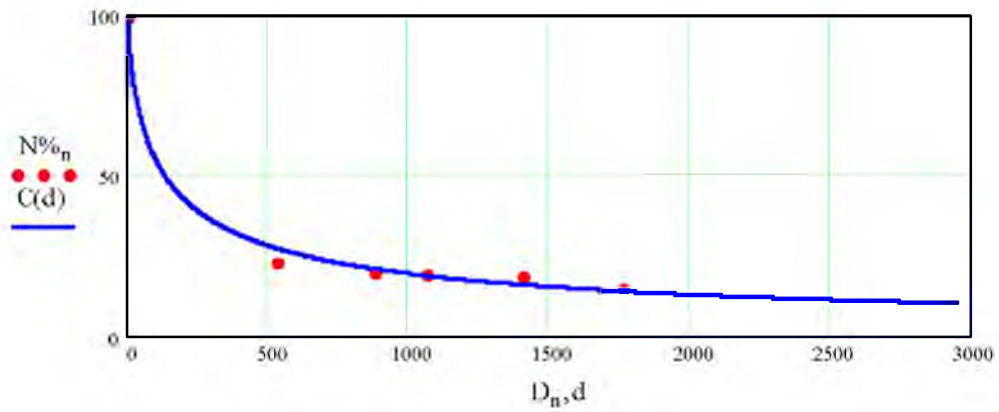
продовження додатку Б

$$E_n := \frac{U_n}{h \cdot 10^2} \quad j_n := \frac{I_n}{S} \quad N\%_n := \frac{N_n \cdot 100}{311} \quad D_n := K_n \cdot \tau_n$$

$E_n =$	$j_n =$	$N\%_n =$	$D_n =$
0	0	100	0
5.333	0.012	22.765	530
6.667	0.029	19.968	880
8	0.053	18.232	$1.405 \cdot 10^3$
5.333	0.012	18.81	$1.06 \cdot 10^3$
6.667	0.029	14.984	$1.76 \cdot 10^3$

$d := 0..2950$

$$C(d) := \frac{1}{0.01 + 0.00033 \cdot d^{0.7}}$$



**Додаток В**  
**Продуктивність виробничої установки із**  
**зnezараження зерна та питоми витрати**  
**електроенергії**

- 1 - параметри обробки та характеристики установки при вологості зернової маси 14%.  
 2 - параметри обробки та характеристики установки при вологості зернової маси 14,5%.

$Q$   $\frac{\text{кг}}{\text{год}}$  продуктивність установки

$k := 0.65$  коефіцієнт заповнення об'єму зерном

$\gamma := 1200$   $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  густина зерна

$\tau$  хв експозиція обробки

$D := 2940$   $\frac{\text{мг} \cdot \text{хв}}{\text{м}^3}$

$v$   $\frac{\text{м}}{\text{год}}$  швидкість руху зерна при висоті електрода 0,5 м

$l := 0.4$  м ширина електрода

$h := 0.03$  м відстань між електродами

$s := 0.4 \cdot h$  розглядаємо установку з 14 камер обробки

$E$  - напруженість поля.

$j$  - густина струму

$K$  - концентрація озону

$Q$  - продуктивність установки за годину кг/год

$n := 0..3$

$E1_n :=$	$j1_n :=$	$K1_n :=$	$E2_n :=$	$j2_n :=$	$K2_n :=$
3.62	0.0115	63	3.59	0.015	66
4.26	0.017	158	4.23	0.022	165
4.84	0.022	384	4.8	0.029	400
5.17	0.025	627	5.13	0.033	655

продовження додатку В

$$\tau_{1n} := \frac{D}{K_{1n}}$$

$$\tau_{2n} := \frac{D}{K_{2n}}$$

$$\tau_{1n} =$$

46.667
18.608
7.656
4.689

$$\tau_{2n} =$$

44.545
17.818
7.35
4.489

$$v_{1n} := \frac{60}{2 \cdot \tau_{1n}}$$

$$v_{2n} := \frac{60}{2 \cdot \tau_{2n}}$$

$$v_{1n} =$$

0.643
1.612
3.918
6.398

$$v_{2n} =$$

0.673
1.684
4.082
6.684

$$Q_{1n} := k \cdot \gamma \cdot v_{1n} \cdot 14 \cdot s$$

$$Q_{2n} := k \cdot \gamma \cdot v_{2n} \cdot 14 \cdot s$$

$$Q_{1n} =$$

84.24
211.269
513.463
838.389

$$Q_{2n} =$$

88.251
220.629
534.857
875.829

G T кількість обробленої зернової маси за робочий ден

t := 8 год час роботи установки в день

продовження додатку В

$$G1_n := Q1_n \cdot 10^{-3} \cdot t$$

$$G2_n := Q2_n \cdot 10^{-3} \cdot t$$

$$G1_n =$$

0.674
1.69
4.108
6.707

$$G2_n =$$

0.706
1.765
4.279
7.007

$$P1_{уст_n} := E1_n \cdot 0.03 \cdot 10^2 \cdot j1_n \cdot 2.8 \quad \text{кВт}$$

$$P1_{уст_n} =$$

0.35
0.608
0.894
1.086

$$tr_n := \frac{1000}{Q1_n} \text{ час необхідний для обробки 1 тони зерна, год}$$

$$tr_n =$$

11.871
4.733
1.948
1.193

$$W1_{пит_n} := P1_{уст_n} \cdot tr_n \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т}}$$

$$W1_{пит_n} =$$

4.151
2.879
1.742
1.295

$$P2_{уст_n} := E2_n \cdot 0.03 \cdot 10^2 \cdot j2_n \cdot 2.8 \quad \text{кВт}$$

$$P2_{уст_n} =$$

0.452
0.782
1.169
1.422

$$tr_n := \frac{1000}{Q2_n} \text{ час необхідний для обробки 1 тони зерна, год}$$

$$tr_n =$$

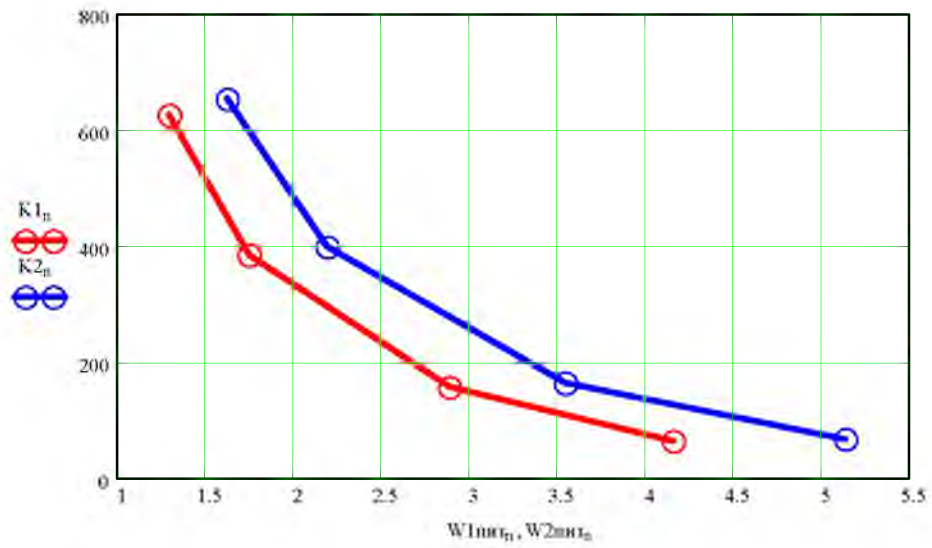
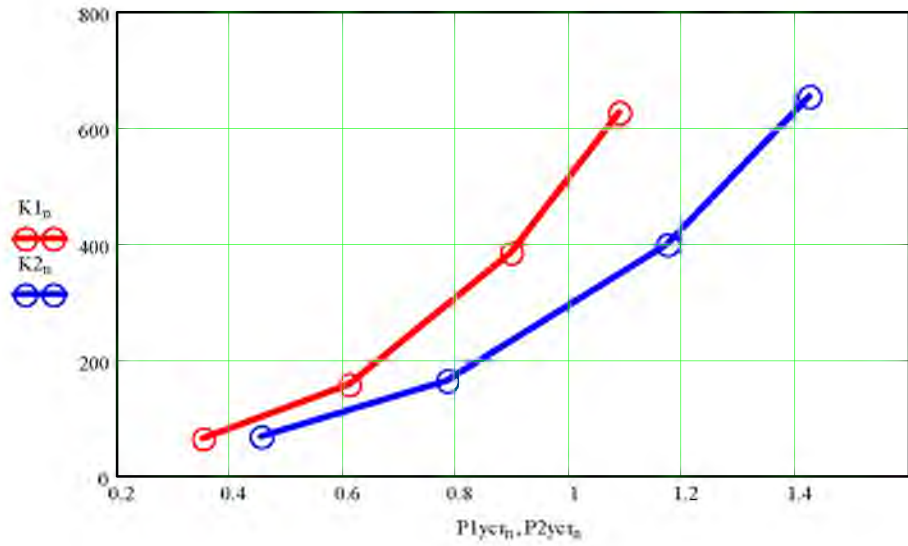
11.331
4.533
1.87
1.142

$$W2_{пит_n} := P2_{уст_n} \cdot tr_n \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т}}$$

$$W2_{пит_n} =$$

5.126
3.543
2.186
1.624

### Продовження додатку В

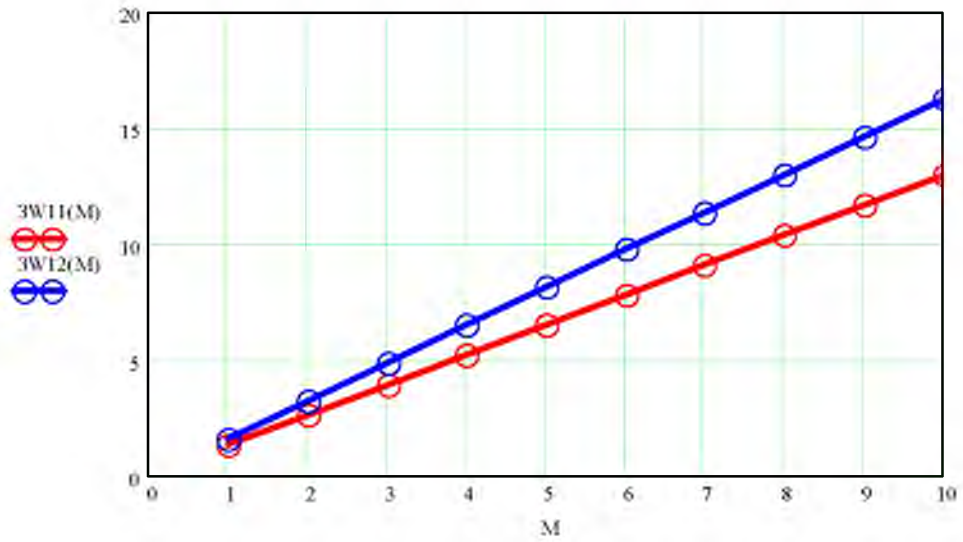


## продовження додатку В

$$M := 1..10$$

$$3W11(M) := M \cdot 1.295 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

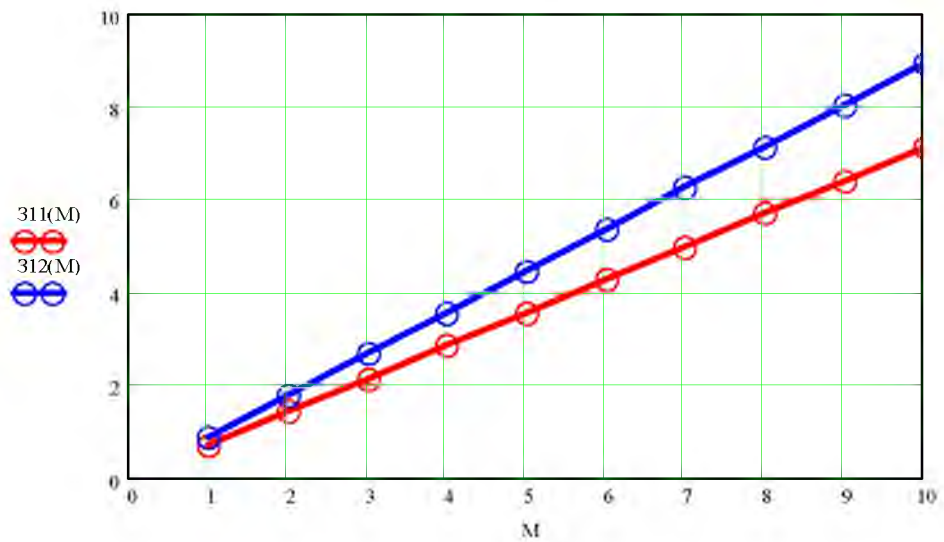
$$3W12(M) := M \cdot 1.624 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$



$$M := 1..10$$

$$311(M) := M \cdot 1.295 \cdot 0.55 \text{ грн}$$

$$312(M) := M \cdot 1.624 \cdot 0.55 \text{ грн}$$



## Додаток Д

### Дослідження характеристик джерела живлення та розробленої установки

Ячмінь

$U_{перn}$  -напруга,що подається на первинну обмотку трансформатораВ

$U_{втn}$  -напруга,що знімається з вторинної обмотки трансформатораВ

$W_n$  -вологість зернової маси %

### Характеристики джерела живлення

n := 0..21

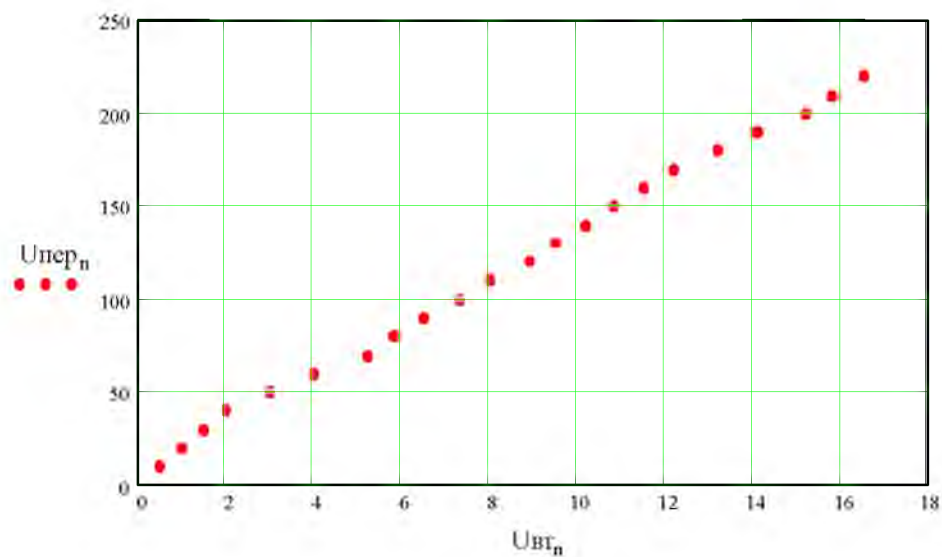
$U_{перn} :=$

$I_n :=$

$U_{втn} :=$

10	$18 \cdot 10^{-3}$	0.5
20	$23 \cdot 10^{-3}$	1
30	$30 \cdot 10^{-3}$	1.5
40	$38 \cdot 10^{-3}$	2
50	$46 \cdot 10^{-3}$	3
60	$56 \cdot 10^{-3}$	4
70	$62 \cdot 10^{-3}$	5.2
80	$70 \cdot 10^{-3}$	5.8
90	$78 \cdot 10^{-3}$	6.5
100	$84 \cdot 10^{-3}$	7.3
110	$90 \cdot 10^{-3}$	8
120	$100 \cdot 10^{-3}$	8.9
130	$105 \cdot 10^{-3}$	9.5
140	$115 \cdot 10^{-3}$	10.2
150	$122 \cdot 10^{-3}$	10.8
160	$131 \cdot 10^{-3}$	11.5
170	$145 \cdot 10^{-3}$	12.2
180	$152 \cdot 10^{-3}$	13.2
190	$165 \cdot 10^{-3}$	14.1
200	$188 \cdot 10^{-3}$	15.2
210	$245 \cdot 10^{-3}$	15.8
220	$330 \cdot 10^{-3}$	16.5
	$435 \cdot 10^{-3}$	

## Продовження додатку Д



Характеристики установки при використанні діелектричних пластин з поліетилену товщиною 0.5мм та різній вологості зерна.

n := 0..10      W – 12.9%

U1n :=

1
2
4
6
8
9.6
11
12.8
14.8
16.8
18.5

I1n :=

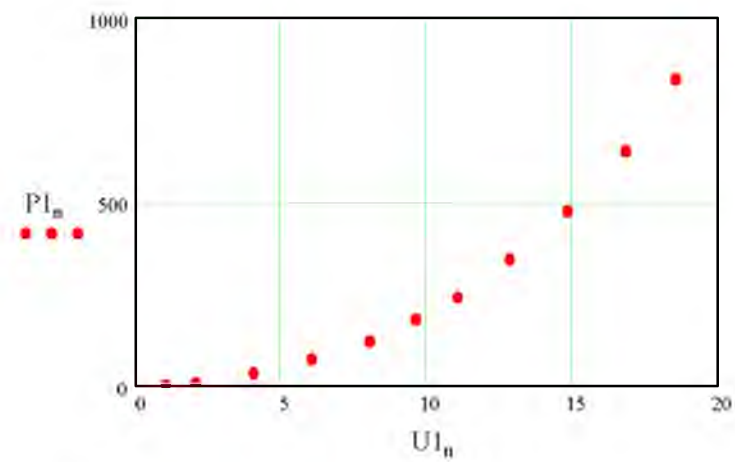
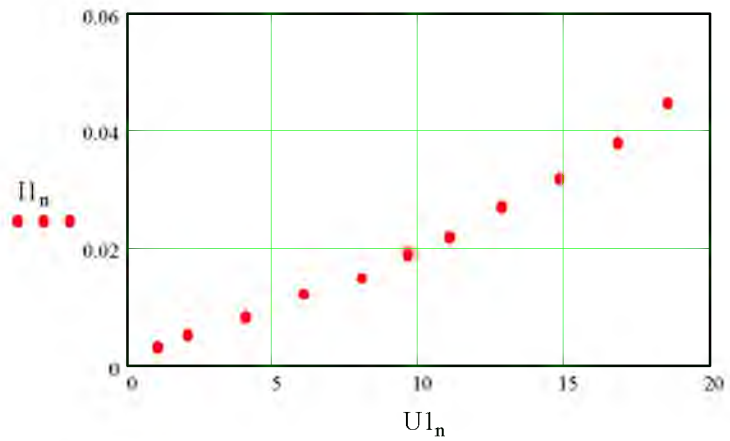
$3.267 \cdot 10^{-3}$
$5.133 \times 10^{-3}$
$8.4 \times 10^{-3}$
0.012
0.015
0.019
0.022
0.027
0.032
0.038
0.045

P1n =

3.267
10.266
33.6
72
120
182.4
242
345.6
473.6
638.4
832.5

$P1n := U1n \cdot I1n \cdot 10^5$

## Продовження додатку Д



n := 0..10

W – 13.8%

U2\_n :=

1
2
4.5
6
8
9.6
11
12.8
15
16.8
18.4

I2\_n :=

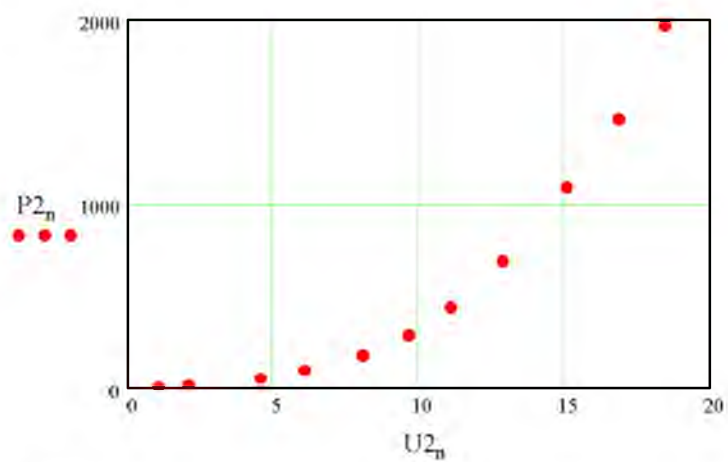
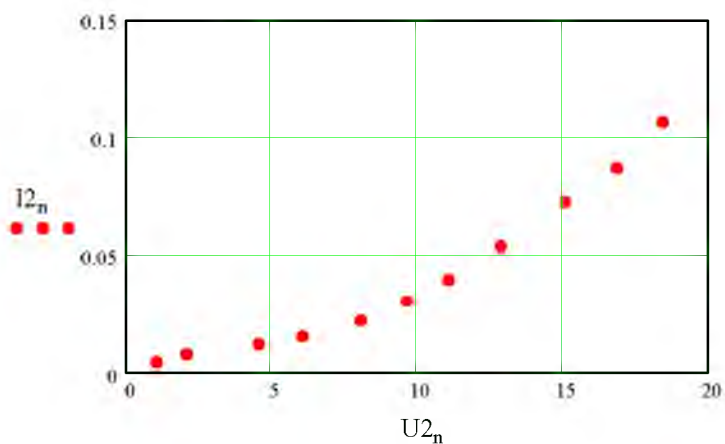
$4.667 \times 10^{-3}$
$7.933 \times 10^{-3}$
0.012
0.016
0.023
0.03
0.04
0.054
0.073
0.087
0.107

P2\_n =

4.667
15.866
54
96
184
288
440
691.2
$1.095 \cdot 10^3$
$1.462 \cdot 10^3$
$1.969 \cdot 10^3$

P2\_n := U2\_n · I2\_n · 10<sup>3</sup>

## Продовження додатку Д



$n := 0..10$

$W = 14.8\%$

$U3_n :=$

1
2
4.5
6
8
9.6
11
12.6
14.8
16.7
18.5

$I3_n :=$

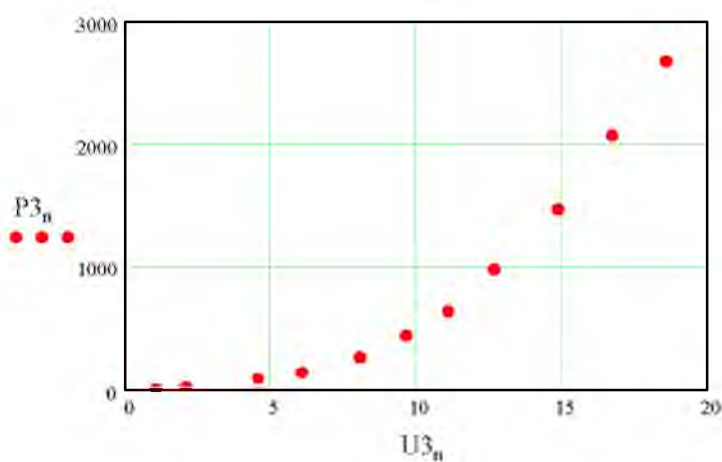
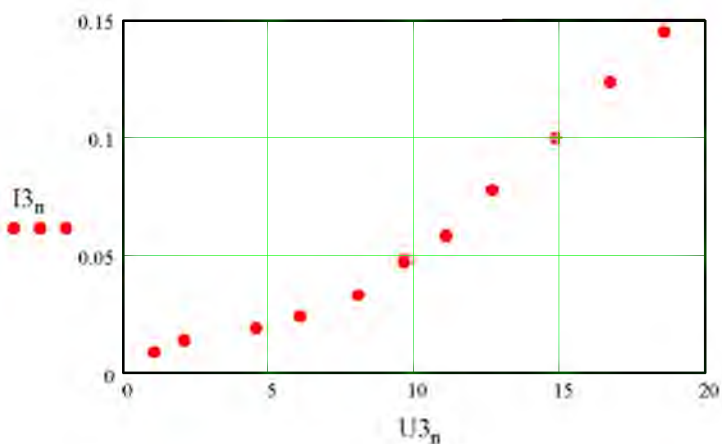
$9.333 \cdot 10^{-3}$
0.014
0.019
0.024
0.033
0.047
0.058
0.078
0.1
0.124
0.145

$P3_n =$

9.333
28
85.5
144
264
451.2
638
982.8
$1.48 \cdot 10^3$
$2.071 \cdot 10^3$
$2.682 \cdot 10^3$

$P3_n := U3_n \cdot I3_n \cdot 10^3$

## Продовження додатку Д



$n := 0..10$      $W - 16\%$

$U4_n :=$

1
2
4.5
6.1
8
9.6
10.9
12.6
14.8
16.7
18.3

$I4_n :=$

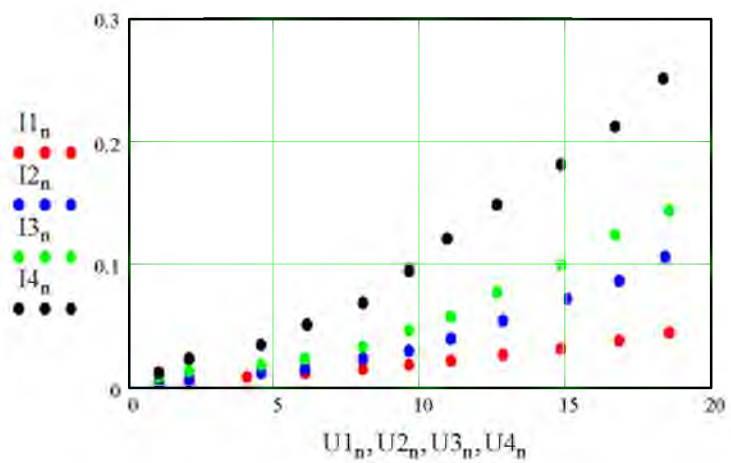
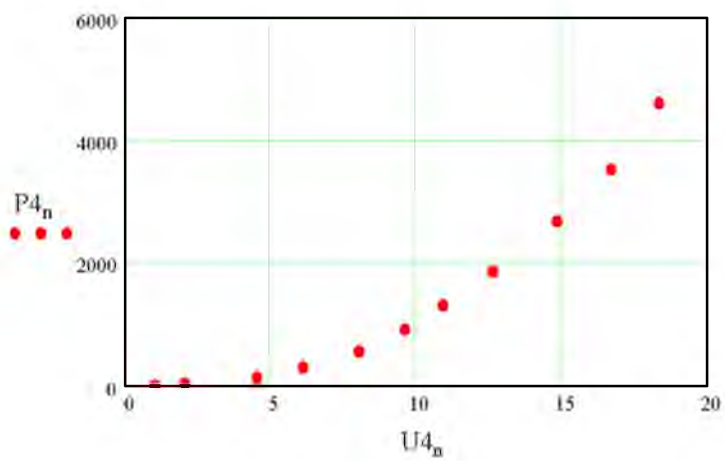
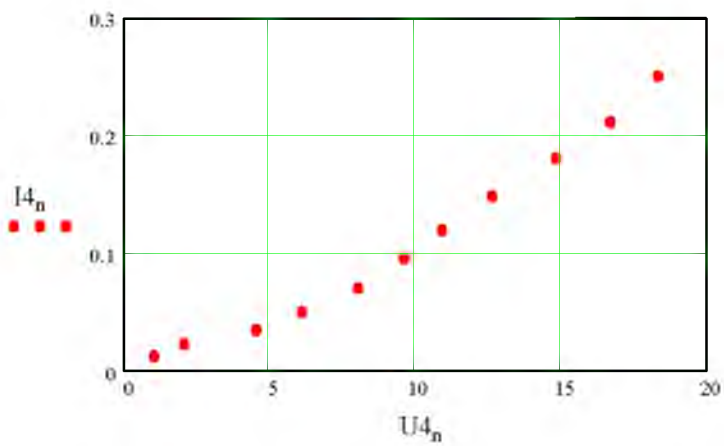
0.012
0.023
0.035
0.051
0.07
0.096
0.121
0.149
0.182
0.212
0.252

$P4_n =$

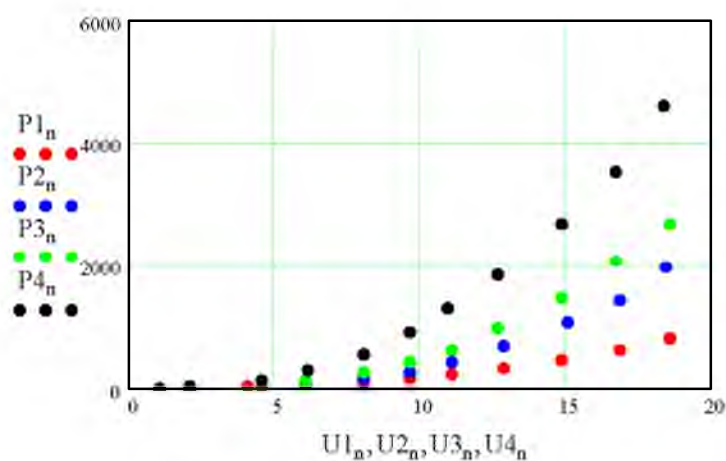
12
46
157.5
311.1
560
921.6
1.319 · 10 <sup>3</sup>
1.877 · 10 <sup>3</sup>
2.694 · 10 <sup>3</sup>
3.54 · 10 <sup>3</sup>
4.612 · 10 <sup>3</sup>

$P4_n := U4_n \cdot I4_n \cdot 10^3$

### Продовження додатку Д



## Продовження додатку Д



Характеристики установки без діелектричних пластин при різній вологості зерна.

$n := 0..10$        $W - 12.9\%$

$U5_n :=$

1
2
4.5
6.1
8
9.6
10.9
12.6
14.8
16.8
18.5

$I5_n :=$

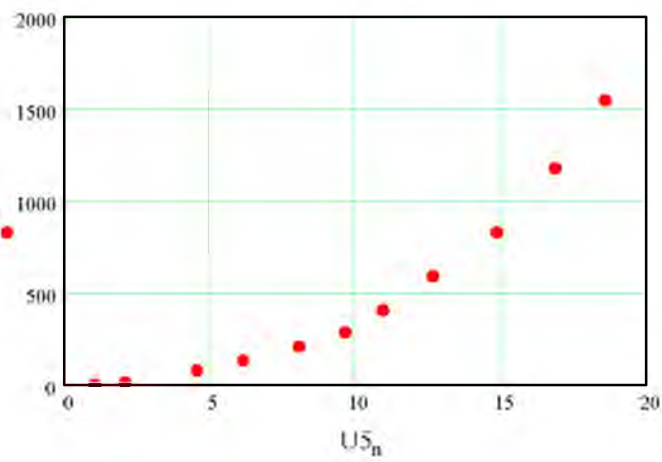
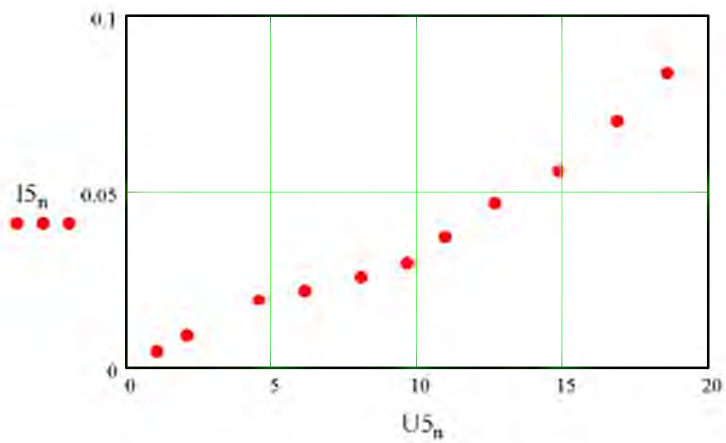
$4.667 \times 10^{-3}$
$9.333 \times 10^{-3}$
0.019
0.022
0.026
0.03
0.037
0.047
0.056
0.07
0.084

$P5_n =$

4.667
18.666
85.5
134.2
208
288
403.3
592.2
828.8
$1.176 \cdot 10^3$
$1.554 \cdot 10^3$

$P5_n := U5_n \cdot I5_n \cdot 10^5$

## Продовження додатку Д



$n := 0..10$      $W - 13.8\%$

$U6_n :=$

1
2
4.5
6.1
8
9.6
11
12.7
14.8
16.6
18.5

$I6_n :=$

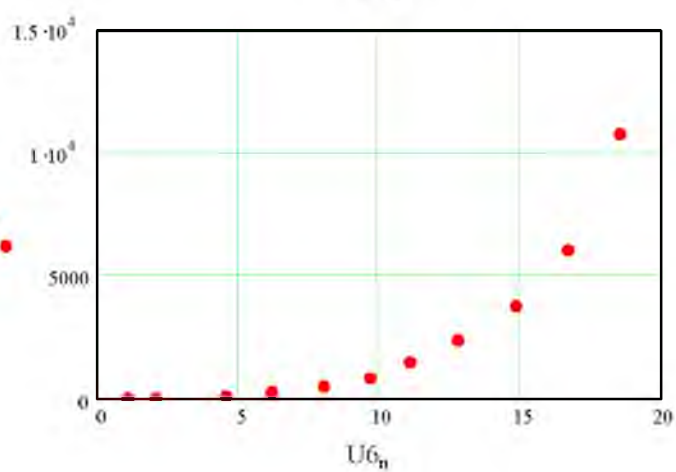
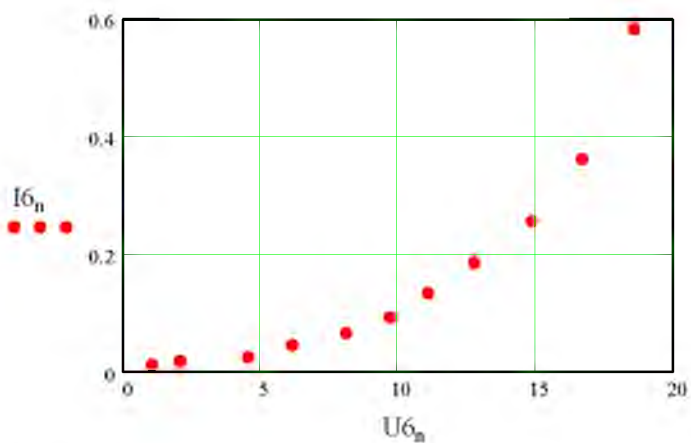
0.012
0.019
0.026
0.046
0.065
0.093
0.135
0.187
0.257
0.364
0.583

$P6_n =$

12
38
117
280.6
520
892.8
$1.485 \cdot 10^3$
$2.375 \cdot 10^3$
$3.804 \cdot 10^3$
$6.042 \cdot 10^3$
$1.079 \cdot 10^4$

$P6_n := U6_n \cdot I6_n \cdot 10^3$

### Продовження додатку Д



n := 0..9      W – 14.8%

U7\_n :=

1
2
4.5
6.1
8
9.6
10.8
12.6
14.8
16.5

I7\_n :=

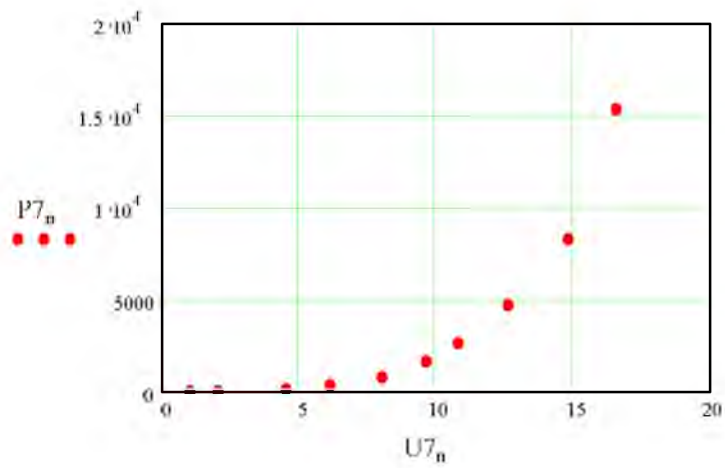
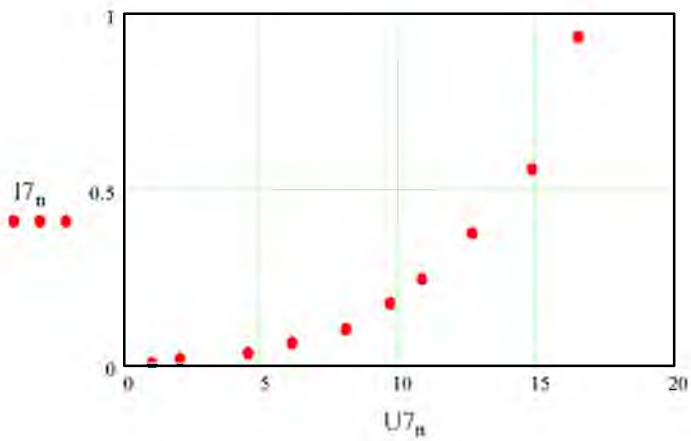
$9.333 \times 10^{-3}$
0.021
0.037
0.065
0.103
0.177
0.245
0.376
0.56
0.933

P7\_n =

9.333
42
166.5
396.5
824
$1.699 \cdot 10^3$
$2.646 \cdot 10^3$
$4.738 \cdot 10^3$
$8.288 \cdot 10^3$
$1.539 \cdot 10^4$

$P7_n := U7_n \cdot I7_n \cdot 10^5$

## Продовження додатку Д



$n := 0..5$        $W = 16\%$

$U8_n :=$

1
2
4.5
6.2
8
9.6

$I8_n :=$

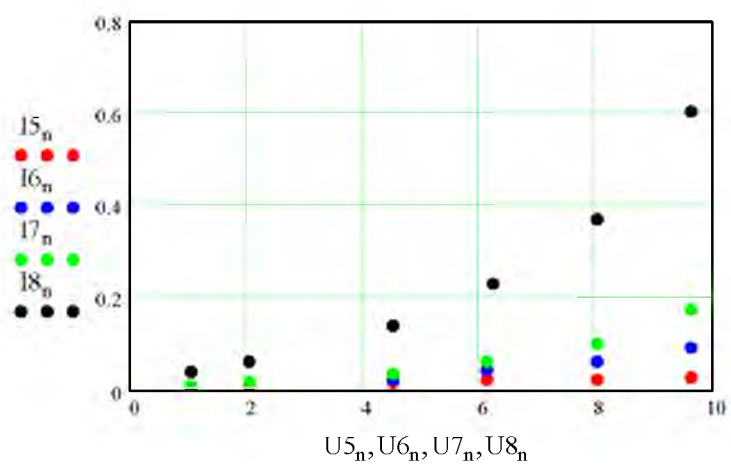
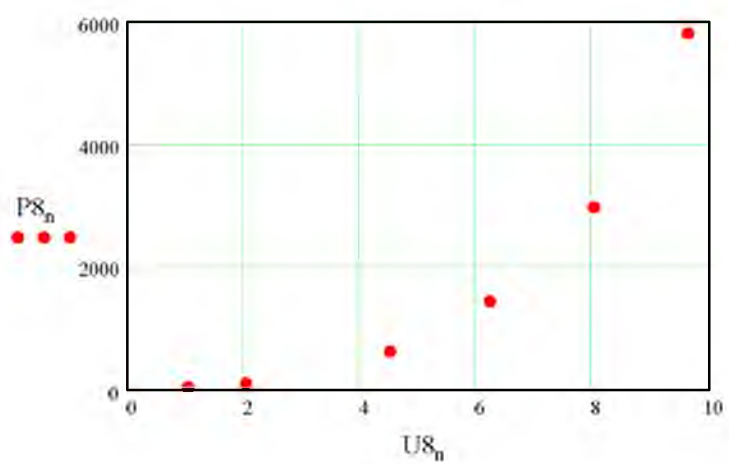
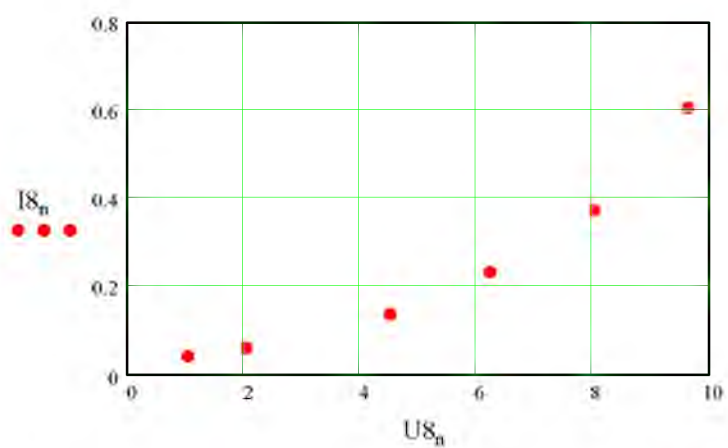
0.042
0.061
0.14
0.233
0.373
0.607

$P8_n =$

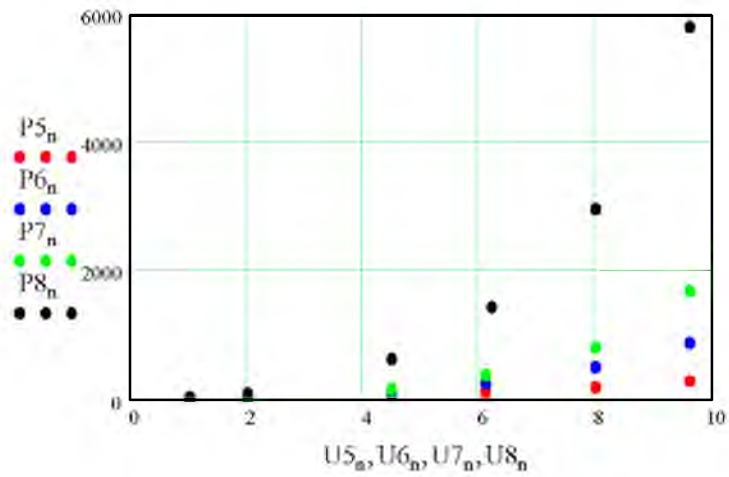
42
122
630
1.445 * 10 <sup>3</sup>
2.984 * 10 <sup>3</sup>
5.827 * 10 <sup>3</sup>

$P8_n := U8_n \cdot I8_n \cdot 10^3$

## Продовження додатку Д



## Продовження додатку Д



Залежності струму та потужності установки від вологості зерна при використанні діелектричних пластин з поліетилену 0.5мм та напрузі 16 кВ.

$n := 0..3$

$W_n :=$

12.9
13.8
14.8
16

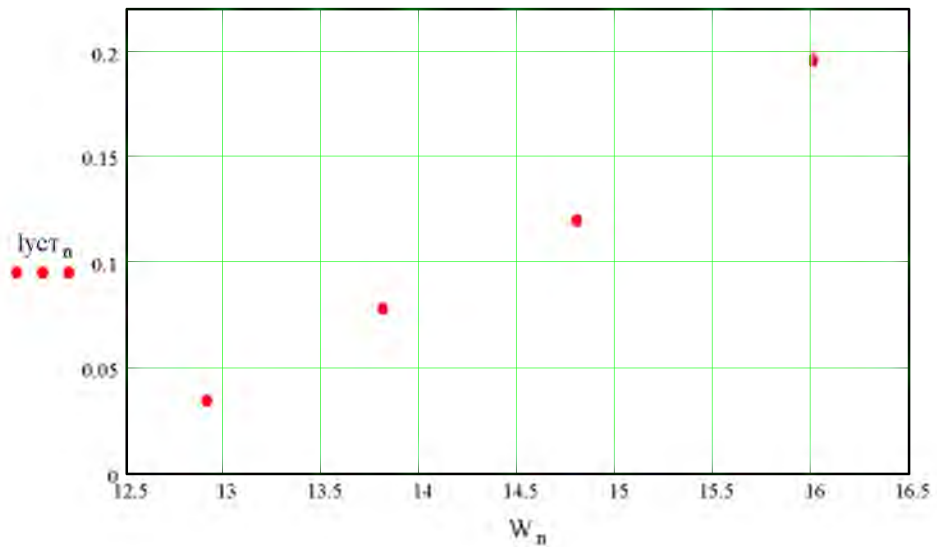
$I_{уст_n} :=$

0.035
0.078
0.12
0.196

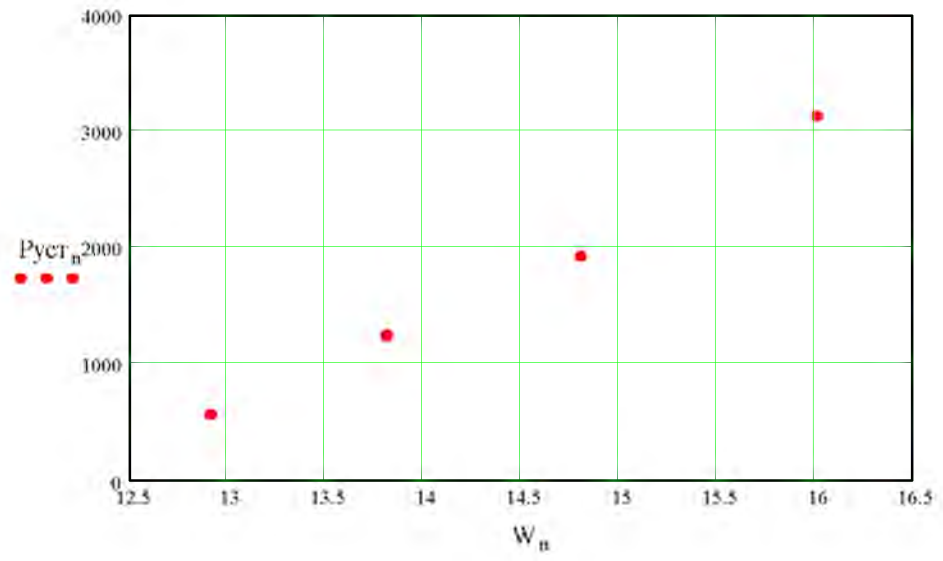
$P_{уст_n} =$

560
$1.248 \cdot 10^3$
$1.92 \cdot 10^3$
$3.136 \cdot 10^3$

$P_{уст_n} := 16000 \cdot I_{уст_n}$



# Продовження додатку Д



**Додаток Ж1**  
**Залежність відносної питомої інтенсивності**  
**іонізаційних процесів в зерновій масі ячменя**  
**сорту Скарлет від виду діелектричних пластин.**

**Дослідження проведенні при погодних умовах:**

Температура повітря  $t = 22$  С

Тиск  $p = 746$

Вологість повітря  $W_n = 75\%$

Вологість ячменя  $W_3 = 12.7$  С

$h := 3 \cdot 10^{-2}$	-відстань між електродами, м	$X_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
$L := 6.2 \cdot 10^{-2}$	-висота суміші ячменя, м	$X_{h2} := 2.95$	-товщина шару ячменя, см
$H := 10 \cdot 10^{-2}$	-ширина електродів, м	$\Pi_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
<b>X</b> - хостафан РЕ		$\Pi_{h2} := 2.95$	-товщина шару ячменя, см
<b>П</b> - поліетилен М		$ЛФ_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
<b>ЛФ</b> - лакотканина фторопластова		$ЛФ_{h2} := 2.95$	-товщина шару ячменя, см
<b>ЛЗ</b> - лакотканина ЛКМ		$Л_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
		$Л_{h2} := 2.95$	-товщина шару ячменя, см

$S := L \cdot H$        $S = 6.2 \times 10^{-3}$       -площа електрода покритого ячменем,  $m^2$

$XV := S \cdot X_{h2} \cdot 10^{-2}$        $XV = 1.829 \times 10^{-4}$       -об'єм суміші ячменю,  $m^3$

$\Pi V := S \cdot \Pi_{h2} \cdot 10^{-2}$        $\Pi V = 1.829 \times 10^{-4}$       -об'єм суміші ячменю,  $mm^3$

$ЛФV := S \cdot ЛФ_{h2} \cdot 10^{-2}$        $ЛФV = 1.829 \times 10^{-4}$       -об'єм суміші ячменю,  $m^3$

$ЛV := S \cdot Л_{h2} \cdot 10^{-2}$        $ЛV = 1.829 \times 10^{-4}$       -об'єм суміші ячменю,  $m^3$

$j := \frac{I}{S}$  -густина струму,  $\frac{A}{m^2}$

$\gamma := \frac{I \cdot h}{U \cdot S}$  -питома електропровідність, См/м

- $U_i$  -відносна характеристика іоніз. проц, мВ
- $p$  -тиск повітря, мм.р.ст
- $W_n$  -вологість повітря, %
- $W_3$  -вологість зерна, %
- $t_{я}$  -температура зерна град

## Продовження додатку Ж1

$$U_{\text{пит}} := \frac{U_i \cdot S}{h}$$

- відносна питома  
характеристика інтенсивності  
іоніз. проц, мВ м

$$\Delta C := 21 \quad m := 26.8$$

$$\epsilon := \frac{\Delta C \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300}{8.86 \cdot 10^{-12} \cdot m \cdot 10^{-3}} + 1 \quad \text{-діелектричнапроникністьячменя Скарлетвологістю12,7\%}$$

$$n := 0..6$$

$$XU_n :=$$

5.5
7.7
9.3
11
12.6
14.2
15.2

$$Xl_n :=$$

$0.05 \cdot 10^{-6}$
$0.2 \cdot 10^{-6}$
$0.8 \cdot 10^{-6}$
$1.3 \cdot 10^{-6}$
$1.8 \cdot 10^{-6}$
$2.5 \cdot 10^{-6}$
$3 \cdot 10^{-6}$

$$XU_{i_n} :=$$

0.1
1
3.3
10
25
47
60

$$XU_{\text{пит}_n} := \frac{XU_{i_n} \cdot S}{Xh2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

$$Xj_n := \frac{Xl_n}{S}$$

$$XU_{\text{пит}_n} =$$

0.021
0.21
0.694
2.102
5.254
9.878
12.61

$$Xj_n =$$

$8.065 \cdot 10^{-6}$
$3.226 \cdot 10^{-5}$
$1.29 \cdot 10^{-4}$
$2.097 \cdot 10^{-4}$
$2.903 \cdot 10^{-4}$
$4.032 \cdot 10^{-4}$
$4.839 \cdot 10^{-4}$

$$XE_n := \frac{XU_n}{2 \cdot (\epsilon) \cdot \frac{Xh1}{2.3} + Xh2}$$

$$XE_{\Pi_n} := \frac{XU_n}{2 \cdot Xh1 + 2.3 \cdot \frac{Xh2}{(\epsilon)}}$$

$$XE_n =$$

1.826
2.557
3.088
3.652
4.184
4.715
5.047

$$XE_{\Pi_n} =$$

2.255
3.156
3.812
4.509
5.165
5.821
6.231

## Продовження додатку Ж1

$n := 0..7$

$\Pi U_n :=$   $\Pi \Pi_n :=$   $\Pi U_i_n :=$   $\Pi U_{i\text{пит}_n} := \frac{\Pi U_i_n \cdot S}{\Pi h2 \cdot 10^{-2}}$  мВ · м  $\Pi j_n := \frac{\Pi \Pi_n}{S}$

5.2
6.7
8.9
10.2
11.8
12.4
13.3
14.8

$0.05 \cdot 10^{-6}$
$0.3 \cdot 10^{-6}$
$0.9 \cdot 10^{-6}$
$1.2 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^{-6}$
$2.2 \cdot 10^{-6}$
$2.8 \cdot 10^{-6}$
$3.6 \cdot 10^{-6}$

0.1
3
7.5
11
27
37
48
75

0.021
0.631
1.576
2.312
5.675
7.776
10.088
15.763

$8.065 \cdot 10^{-6}$
$4.839 \cdot 10^{-5}$
$1.452 \cdot 10^{-4}$
$1.935 \cdot 10^{-4}$
$3.226 \cdot 10^{-4}$
$3.548 \cdot 10^{-4}$
$4.516 \cdot 10^{-4}$
$5.806 \cdot 10^{-4}$

$\Pi E_n := \frac{\Pi U_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{\Pi h1}{2.3} + \Pi h2}$   $\Pi E_{\Pi_n} := \frac{\Pi U_n}{2 \cdot \Pi h1 + 2.3 \cdot \frac{\Pi h2}{(\varepsilon)}}$

$\Pi E_n =$   $\Pi E_{\Pi_n} =$

1.727
2.225
2.955
3.387
3.918
4.117
4.416
4.914

2.132
2.747
3.648
4.181
4.837
5.083
5.452
6.067

$n := 0..8$

$\text{ЛФ} U_n :=$   $\text{ЛФ} I_n :=$   $\text{ЛФ} U_i_n :=$   $\text{ЛФ} U_{i\text{пит}_n} := \frac{\text{ЛФ} U_i_n \cdot S}{\text{ЛФ} h2 \cdot 10^{-2}}$  мВ · м  $\text{ЛФ} j_n := \frac{\text{ЛФ} I_n}{S}$

6.2
7.5
8.6
9
10.3
11.5
12.2
13.4
14.6

$0.1 \cdot 10^{-6}$
$0.8 \cdot 10^{-6}$
$1.2 \cdot 10^{-6}$
$1.9 \cdot 10^{-6}$
$3.1 \cdot 10^{-6}$
$5.2 \cdot 10^{-6}$
$6.8 \cdot 10^{-6}$
$10.5 \cdot 10^{-6}$
$14.5 \cdot 10^{-6}$

0.1
1
7
13
52
95
105
160
230

0.021
0.21
1.471
2.732
10.929
19.966
22.068
33.627
48.339

$1.613 \cdot 10^{-5}$
$1.29 \cdot 10^{-4}$
$1.935 \cdot 10^{-4}$
$3.065 \cdot 10^{-4}$
$5 \cdot 10^{-4}$
$8.387 \cdot 10^{-4}$
$1.097 \cdot 10^{-3}$
$1.694 \cdot 10^{-3}$
$2.339 \cdot 10^{-3}$

## Продовження додатку Ж1

$$\text{ЛФЕ}_n := \frac{\text{ЛФУ}_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{\text{ЛФh1}}{2.3} + \text{ЛФh2}} \quad \text{ЛФЕ}_{\Pi_n} := \frac{\text{ЛФУ}_n}{2 \cdot \text{ЛФh1} + 2.3 \cdot \frac{\text{ЛФh2}}{(\varepsilon)}}$$

$$\text{ЛФЕ}_n =$$

2.059
2.49
2.856
2.988
3.42
3.818
4.051
4.449
4.848

$$\text{ЛФЕ}_{\Pi_n} =$$

2.542
3.074
3.525
3.689
4.222
4.714
5.001
5.493
5.985

$$n := 0..7$$

$$\text{ЛУ}_n :=$$

4.4
5.8
7.5
9.3
10.3
11.6
13.7
15.1

$$\text{ЛI}_n :=$$

$0.05 \cdot 10^{-6}$
$0.2 \cdot 10^{-6}$
$0.5 \cdot 10^{-6}$
$1.1 \cdot 10^{-6}$
$1.5 \cdot 10^{-6}$
$2.1 \cdot 10^{-6}$
$3.4 \cdot 10^{-6}$
$4.5 \cdot 10^{-6}$

$$\text{ЛУi}_n :=$$

0.1
1
3
6.5
16
29
60
83

$$\text{ЛУ}_{\text{пит}_n} := \frac{\text{ЛУi}_n \cdot S}{\text{Лh2} \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

$$\text{ЛУ}_{\text{пит}_n} =$$

0.021
0.21
0.631
1.366
3.363
6.095
12.61
17.444

$$\text{Лj}_n := \frac{\text{ЛI}_n}{S}$$

$$\text{Лj}_n =$$

$8.065 \cdot 10^{-6}$
$3.226 \cdot 10^{-5}$
$8.065 \cdot 10^{-5}$
$1.774 \cdot 10^{-4}$
$2.419 \cdot 10^{-4}$
$3.387 \cdot 10^{-4}$
$5.484 \cdot 10^{-4}$
$7.258 \cdot 10^{-4}$

$$\text{ЛЕ}_n := \frac{\text{ЛУ}_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{\text{Лh1}}{2.3} + \text{Лh2}}$$

$$\text{ЛЕ}_n =$$

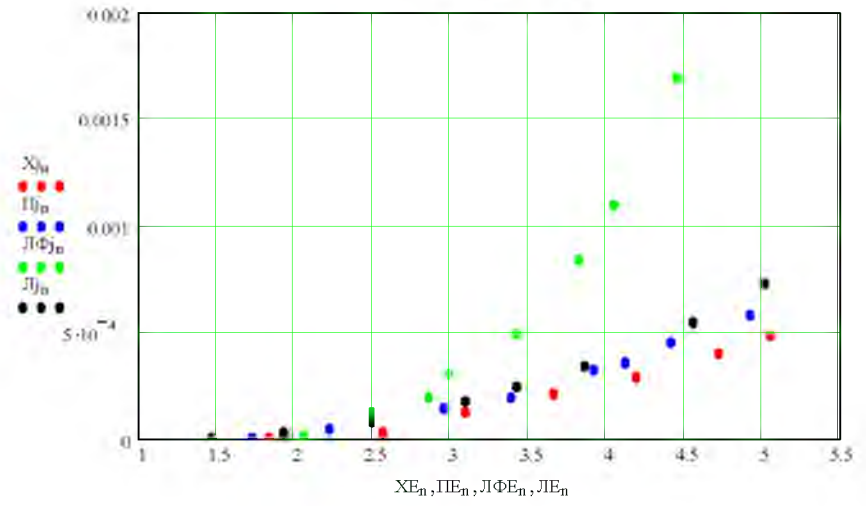
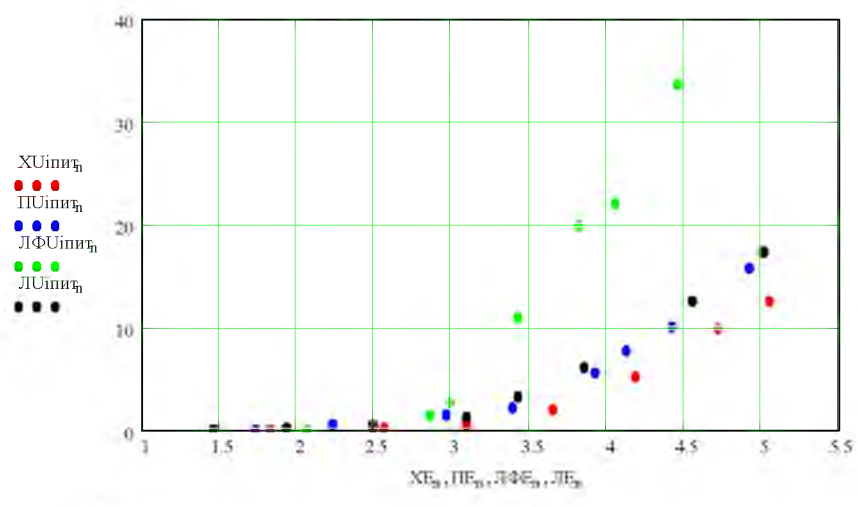
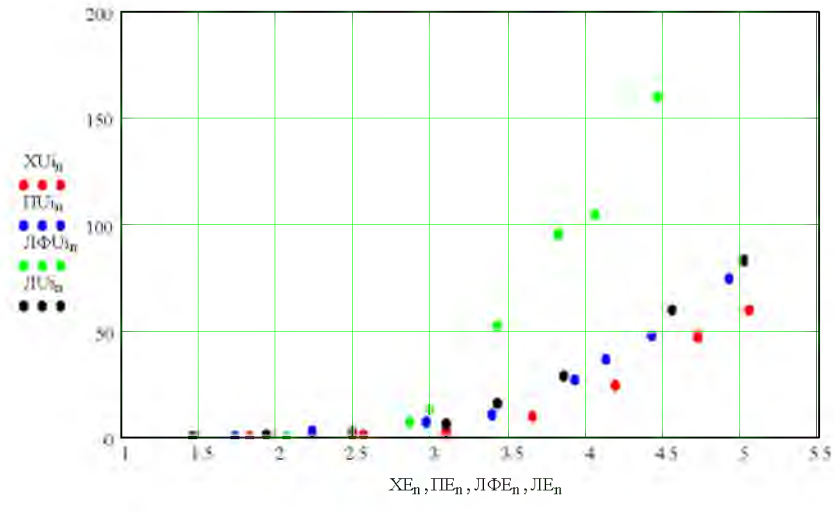
1.461
1.926
2.49
3.088
3.42
3.852
4.549
5.014

$$\text{ЛЕ}_{\Pi_n} := \frac{\text{ЛУ}_n}{2 \cdot \text{Лh1} + 2.3 \cdot \frac{\text{Лh2}}{(\varepsilon)}}$$

$$\text{ЛЕ}_{\Pi_n} =$$

1.804
2.378
3.074
3.812
4.222
4.755
5.616
6.19

### Продовження додатку Ж1



**Додаток Ж2**  
**Залежність відносної питомої інтенсивності**  
**іонізаційних процесів в зерновій масі ячменя**  
**сорту Етикет від виду діелектричних пластин.**

**Дослідження проведенні при погодних умовах:**

Температура повітря  $t = 22 \text{ C}$

Тиск  $p = 746$

Вологість повітря  $W_p = 75\%$

Вологість ячменя  $W_3 = 14.6 \text{ C}$

$h := 3 \cdot 10^{-2}$  -відстань між електродами, м       $Oh1 := 0.1$  -товщина діелектричної пластини, см  
 $L := 6 \cdot 10^{-2}$  -висота суміші ячменя, м       $Oh2 := 2.8$  -товщина шару ячменя, см  
 $H := 10 \cdot 10^{-2}$  -ширина електродів, м

О - оргскло ТОСП

$\Gamma h1 := 0.1$  -товщина діелектричної пластини, см

Г - гетинакс

$\Gamma h2 := 2.8$  -товщина шару ячменя, см

П - поліетилен М

$\Pi h1 := 0.1$  -товщина діелектричної пластини, см

$\Pi h2 := 2.8$  -товщина шару ячменя, см

$S := L \cdot H$        $S = 6 \times 10^{-3}$       -площа електрода покрита ячменем,  $\text{м}^2$

$OV := S \cdot Oh2 \cdot 10^{-2}$        $OV = 1.68 \times 10^{-4}$       -об'єм суміші ячменю,  $\text{м}^3$

$I'V := S \cdot \Gamma h2 \cdot 10^{-2}$        $I'V = 1.68 \times 10^{-4}$       -об'єм суміші ячменю,  $\text{м}^3$

$IIV := S \cdot \Pi h2 \cdot 10^{-2}$        $IIV = 1.68 \times 10^{-4}$       -об'єм суміші ячменю,  $\text{м}^3$

$j := \frac{I}{S}$  -густина струму,  $\frac{\text{А}}{\text{м}^2}$

$U_i$  -відносна характеристика іоніз. проц, мВ

$p$  -тиск повітря, мм.р.ст

$\gamma := \frac{I \cdot h}{U \cdot S}$  -питома електропровідність,  $\text{См/м}$

$W_p$  -вологість повітря, %

$W_3$  -вологість зерна, %

$t_я$  -температура зерна град

$U_{\text{пит}} := \frac{U_i \cdot S}{h}$  -відносна питома характеристика інтенсивності іоніз. проц, мВ м

$\Delta C := 31$        $m := 27.8$

$\varepsilon := \frac{\Delta C \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300}{8.86 \cdot 10^{-12} \cdot m \cdot 10^{-3}} + 1$  -діелектрична проникність ячменя Етикетвологістю 14,6%

## Продовження додатку Ж2

n := 0..12

OU<sub>n</sub> :=

1
2
3
4
5
5.8
7
8
10
12
14
15
16

OI<sub>n</sub> :=

7 · 10 <sup>-6</sup>
12 · 10 <sup>-6</sup>
16 · 10 <sup>-6</sup>
23 · 10 <sup>-6</sup>
32 · 10 <sup>-6</sup>
36 · 10 <sup>-6</sup>
43 · 10 <sup>-6</sup>
51 · 10 <sup>-6</sup>
72 · 10 <sup>-6</sup>
90 · 10 <sup>-6</sup>
112 · 10 <sup>-6</sup>
125 · 10 <sup>-6</sup>
150 · 10 <sup>-6</sup>

OU<sub>i</sub><sub>n</sub> :=

0
0
0
0
0
5
42
80
260
380
550
600
660

$$OU_{\text{шт}}_n := \frac{OU_{i_n} \cdot S}{Oh2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

OU<sub>шт</sub><sub>n</sub> =

0
0
0
0
0
1.071
9
17.143
55.714
81.429
117.857
128.571
141.429

$$Oj_n := \frac{OI_n}{S}$$

Oj<sub>n</sub> =

1.167 · 10 <sup>-3</sup>
2 · 10 <sup>-3</sup>
2.667 · 10 <sup>-3</sup>
3.833 · 10 <sup>-3</sup>
5.333 · 10 <sup>-3</sup>
6 · 10 <sup>-3</sup>
7.167 · 10 <sup>-3</sup>
8.5 · 10 <sup>-3</sup>
0.012
0.015
0.019
0.021
0.025

$$OE_n := \frac{OU_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{Oh1}{2.3} + Oh2}$$

OE<sub>n</sub> =

0.321
0.642
0.963
1.284
1.605
1.862
2.247
2.569
3.211
3.853
4.495
4.816
5.137

$$OE_{\Pi_n} := \frac{OU_n}{2 \cdot Oh1 + 2.3 \cdot \frac{Oh2}{(\varepsilon)}}$$

OE<sub>Π</sub><sub>n</sub> =

0.505
1.01
1.515
2.02
2.525
2.929
3.535
4.04
5.05
6.06
7.071
7.576
8.081

## Продовження додатку Ж2

$n := 0..10$

$\Gamma U_n :=$

1
2
3
4
5
5.8
7
8
10
12
13.2

$\Gamma l_n :=$

$8 \cdot 10^{-6}$
$13 \cdot 10^{-6}$
$16 \cdot 10^{-6}$
$23 \cdot 10^{-6}$
$30 \cdot 10^{-6}$
$34 \cdot 10^{-6}$
$44 \cdot 10^{-6}$
$53 \cdot 10^{-6}$
$78 \cdot 10^{-6}$
$106 \cdot 10^{-6}$
$135 \cdot 10^{-6}$

$\Gamma U_{i_n} :=$

0
0
0
24
54
94
135
200
360
500
590

$$\Gamma U_{\text{пит}_n} := \frac{\Gamma U_{i_n} \cdot S}{\Gamma h_2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

мВ · м

$$\Gamma j_n := \frac{\Gamma l_n}{S}$$

$\Gamma U_{\text{пит}_n} =$

0
0
0
5.143
11.571
20.143
28.929
42.857
77.143
107.143
126.429

$\Gamma j_n =$

$1.333 \cdot 10^{-3}$
$2.167 \cdot 10^{-3}$
$2.667 \cdot 10^{-3}$
$3.833 \cdot 10^{-3}$
$5 \cdot 10^{-3}$
$5.667 \cdot 10^{-3}$
$7.333 \cdot 10^{-3}$
$8.833 \cdot 10^{-3}$
0.013
0.018
0.023

$$\Gamma E_n := \frac{\Gamma U_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{\Gamma h_1}{2.3} + \Gamma h_2}$$

$\Gamma E_n =$

0.321
0.642
0.963
1.284
1.605
1.862
2.247
2.569
3.211
3.853
4.238

$$\Gamma E_{\Pi_n} := \frac{\Gamma U_n}{2 \cdot \Gamma h_1 + 2.3 \cdot \frac{\Gamma h_2}{(\varepsilon)}}$$

$\Gamma E_{\Pi_n} =$

0.505
1.01
1.515
2.02
2.525
2.929
3.535
4.04
5.05
6.06
6.666

## Продовження додатку Ж2

$n := 0..11$

$\Pi U_n :=$

1
2
3
4
6
8
10
11
13
14
15
16

$\Pi \Pi_n :=$

$7 \cdot 10^{-6}$
$10 \cdot 10^{-6}$
$13 \cdot 10^{-6}$
$18 \cdot 10^{-6}$
$30 \cdot 10^{-6}$
$42 \cdot 10^{-6}$
$57 \cdot 10^{-6}$
$66 \cdot 10^{-6}$
$86 \cdot 10^{-6}$
$95 \cdot 10^{-6}$
$102 \cdot 10^{-6}$
$108 \cdot 10^{-6}$

$\Pi U_i_n :=$

40
50
65
95
160
230
400
480
620
680
760
840

$$\Pi U_{\text{пит}_n} := \frac{\Pi U_i_n \cdot S}{\Gamma h_2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

$\Pi U_{\text{пит}_n} =$

8.571
10.714
13.929
20.357
34.286
49.286
85.714
102.857
132.857
145.714
162.857
180

$$\Pi j_n := \frac{\Pi \Pi_n}{S}$$

$\Pi j_n =$

$1.167 \cdot 10^{-3}$
$1.667 \cdot 10^{-3}$
$2.167 \cdot 10^{-3}$
$3 \cdot 10^{-3}$
$5 \cdot 10^{-3}$
$7 \cdot 10^{-3}$
$9.5 \cdot 10^{-3}$
0.011
0.014
0.016
0.017
0.018

$$\Pi E_n := \frac{\Pi U_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{\Gamma h_1}{2.3} + \Gamma h_2}$$

$$\Pi E_{\Pi_n} := \frac{\Pi U_n}{2 \cdot \Gamma h_1 + 2.3 \cdot \frac{\Gamma h_2}{(\varepsilon)}}$$

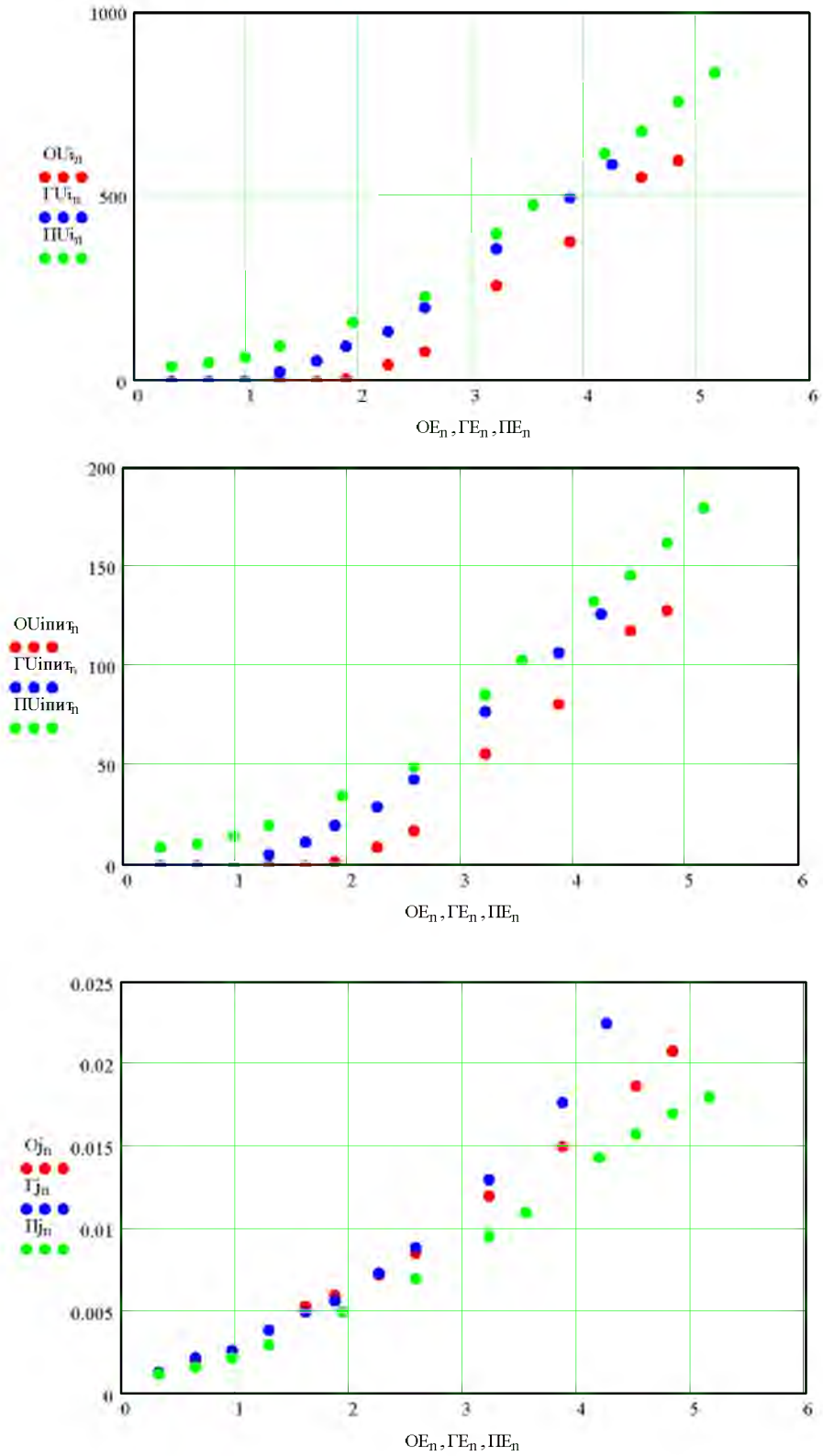
$\Pi E_n =$

0.321
0.642
0.963
1.284
1.926
2.569
3.211
3.532
4.174
4.495
4.816
5.137

$\Pi E_{\Pi_n} =$

0.505
1.01
1.515
2.02
3.03
4.04
5.05
5.555
6.565
7.071
7.576
8.081

## Продовження додатку Ж2



**Додаток ЖЗ**  
**Залежність відносної питомої інтенсивності**  
**іонізаційних процесів в зерновій масі пшениці**  
**сорту Подолянка від виду діелектричних**  
**пластин.**

**Дослідження проведенні при погодних умовах:**

Температура повітря  $t = 23$  С

Тиск  $p = 747$

Вологість повітря  $W_n = 76\%$

Вологість пшениці  $W_z = 12.4 \%$

$h := 3 \cdot 10^{-2}$	-відстань між електродами, м		
$L := 7 \cdot 10^{-2}$	-висота суміші пшениці, м	$X_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
$H := 10 \cdot 10^{-2}$	-ширина електродів, м	$X_{h2} := 2.95$	-товщина шару пшениці, см
X - хостафан РЕ		$\Pi_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
П - поліетилен марки М		$\Pi_{h2} := 2.95$	-товщина шару пшениці, см
ЛФ - лакоткань фторопластова		$ЛФ_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
Л - лакоткань ЛКМ		$ЛФ_{h2} := 2.95$	-товщина шару пшениці, см
		$Л_{h1} := 0.025$	-товщина діелектричної пластини, см
		$Л_{h2} := 2.95$	-товщина шару пшениці, см
$S := L \cdot H$	$S = 7 \times 10^{-3}$		-площа електрода покрита пшеницею, $m^2$
$XV := S \cdot X_{h2} \cdot 10^{-2}$	$XV = 2.065 \times 10^{-4}$		-об'єм суміші пшениці, $m^3$
$\Pi V := S \cdot \Pi_{h2} \cdot 10^{-2}$	$\Pi V = 2.065 \times 10^{-4}$		-об'єм суміші пшениці, $m^3$
$ЛФV := S \cdot ЛФ_{h2} \cdot 10^{-2}$	$ЛФV = 2.065 \times 10^{-4}$		-об'єм суміші пшениці, $m^3$
$ЛV := S \cdot Л_{h2} \cdot 10^{-2}$	$ЛV = 2.065 \times 10^{-4}$		-об'єм суміші пшениці, $m^3$
$j := \frac{I}{S}$	-густина струму, $\frac{A}{m^2}$	$U_i$	-відносна характеристика іоніз. проц, мВ
$\gamma := \frac{I \cdot h}{U \cdot S}$	-питома електропровідність, См/м	$p$	-тиск повітря, мм.р.ст
		$W_n$	-вологість повітря,%
		$W_z$	-вологість зерна пшениця,%
		$t_{я}$	-температура зерна пшениця, град

## Продовження додатку ЖЗ

$$U_{\text{іпит}} := \frac{U_i \cdot S}{h} \quad \begin{array}{l} \text{-відносна питома} \\ \text{характеристика інтенсивності} \\ \text{іоніз. проц, мВ м} \end{array}$$

$$\Delta C := 21 \quad m := 26.8$$

$$\varepsilon := \frac{\Delta C \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300}{8.86 \cdot 10^{-12} \cdot m \cdot 10^{-3}} + 1 \quad \text{-діелектрична проникність пшениці і долянка вологістю 14.4\%}$$

$$n := 0..4$$

$$XU_n :=$$

7.9
8.9
11.7
14.1
15.2

$$Xl_n :=$$

$0.05 \cdot 10^{-6}$
$0.1 \cdot 10^{-6}$
$0.4 \cdot 10^{-6}$
$0.9 \cdot 10^{-6}$
$1.1 \cdot 10^{-6}$

$$XU_{i_n} :=$$

0.1
0.3
1
2.5
3.3

$$XU_{\text{іпит}_n} := \frac{XU_{i_n} \cdot S}{Xh2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

$$Xj_n := \frac{Xl_n}{S}$$

$$XU_{\text{іпит}_n} =$$

0.024
0.071
0.237
0.593
0.783

$$Xj_n =$$

$7.143 \cdot 10^{-6}$
$1.429 \cdot 10^{-5}$
$5.714 \cdot 10^{-5}$
$1.286 \cdot 10^{-4}$
$1.571 \cdot 10^{-4}$

$$XE_n := \frac{XU_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{Xh1}{2.3} + Xh2}$$

$$XE_n =$$

2.623
2.955
3.885
4.682
5.047

$$XE_{\Pi_n} := \frac{XU_n}{2 \cdot Xh1 + 2.3 \cdot \frac{Xh2}{(\varepsilon)}}$$

$$XE_{\Pi_n} =$$

3.238
3.648
4.796
5.78
6.231

$$n := 0..6$$

$$\Pi U_n :=$$

5.7
8.4
9.8
10.8
12.9
14.1
14.9

$$\Pi l_n :=$$

$0.05 \cdot 10^{-6}$
$0.2 \cdot 10^{-6}$
$0.3 \cdot 10^{-6}$
$0.5 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^{-6}$
$1.2 \cdot 10^{-6}$
$1.7 \cdot 10^{-6}$

$$\Pi U_{i_n} :=$$

0.1
0.4
1
2
3.8
5.2
6.5

$$\Pi U_{\text{іпит}_n} := \frac{\Pi U_{i_n} \cdot S}{\Pi h2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

$$\Pi j_n := \frac{\Pi l_n}{S}$$

$$\Pi U_{\text{іпит}_n} =$$

0.024
0.095
0.237
0.475
0.902
1.234
1.542

$$\Pi j_n =$$

$7.143 \cdot 10^{-6}$
$2.857 \cdot 10^{-5}$
$4.286 \cdot 10^{-5}$
$7.143 \cdot 10^{-5}$
$1.429 \cdot 10^{-4}$
$1.714 \cdot 10^{-4}$
$2.429 \cdot 10^{-4}$

Продовження додатку ЖЗ

$$IIE_n := \frac{IU_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{\Gamma h1}{2.3} + \Gamma h2}$$

$$IIE_n =$$

1.893
2.789
3.254
3.586
4.283
4.682
4.947

$$IIE_{\Pi_n} := \frac{IU_n}{2 \cdot \Gamma h1 + 2.3 \cdot \frac{\Gamma h2}{(\varepsilon)}}$$

$$IIE_{\Pi_n} =$$

2.337
3.443
4.017
4.427
5.288
5.78
6.108

n := 0..7

$$I\Phi U_n :=$$

5.8
8
8.3
9.2
11
11.8
12.4
13

$$I\Phi I_n :=$$

$0.05 \cdot 10^{-6}$
$0.1 \cdot 10^{-6}$
$0.2 \cdot 10^{-6}$
$0.5 \cdot 10^{-6}$
$1.5 \cdot 10^{-6}$
$2.1 \cdot 10^{-6}$
$2.9 \cdot 10^{-6}$
$3.9 \cdot 10^{-6}$

$$I\Phi U_{i_n} :=$$

0.1
0.7
1
2.3
4
5.7
7
10

$$I\Phi U_{\text{шпнт}_n} := \frac{I\Phi U_{i_n} \cdot S}{I\Phi h2 \cdot 10^{-2}} \text{ мВ} \cdot \text{м}$$

$$I\Phi j_n := \frac{I\Phi I_n}{S}$$

$$I\Phi U_{\text{шпнт}_n} =$$

0.024
0.166
0.237
0.546
0.949
1.353
1.661
2.373

$$I\Phi j_n =$$

$7.143 \cdot 10^{-6}$
$1.429 \cdot 10^{-5}$
$2.857 \cdot 10^{-5}$
$7.143 \cdot 10^{-5}$
$2.143 \cdot 10^{-4}$
$3 \cdot 10^{-4}$
$4.143 \cdot 10^{-4}$
$5.571 \cdot 10^{-4}$

$$I\Phi E_n := \frac{I\Phi U_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{I\Phi h1}{2.3} + I\Phi h2}$$

$$I\Phi E_n =$$

1.926
2.656
2.756
3.055
3.652
3.918
4.117
4.316

$$I\Phi E_{\Pi_n} := \frac{I\Phi U_n}{2 \cdot I\Phi h1 + 2.3 \cdot \frac{I\Phi h2}{(\varepsilon)}}$$

$$I\Phi E_{\Pi_n} =$$

2.378
3.279
3.402
3.771
4.509
4.837
5.083
5.329

## Продовження додатку ЖЗ

$n := 0..6$

$ЛU_n :=$

5.8
8.3
9.7
10.4
12.3
14.4
15.2

$ЛI_n :=$

$0.05 \cdot 10^{-6}$
$0.2 \cdot 10^{-6}$
$0.5 \cdot 10^{-6}$
$0.8 \cdot 10^{-6}$
$1.3 \cdot 10^{-6}$
$2.4 \cdot 10^{-6}$
$3 \cdot 10^{-6}$

$ЛU_{i_n} :=$

0.1
0.5
1
1.7
3.3
6
7.2

$$ЛU_{\text{пит}_n} := \frac{ЛU_{i_n} \cdot S}{Лh2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

$ЛU_{\text{пит}_n} =$

0.024
0.119
0.237
0.403
0.783
1.424
1.708

мВ · м

$$Лj_n := \frac{ЛI_n}{S}$$

$Лj_n =$

$7.143 \cdot 10^{-6}$
$2.857 \cdot 10^{-5}$
$7.143 \cdot 10^{-5}$
$1.143 \cdot 10^{-4}$
$1.857 \cdot 10^{-4}$
$3.429 \cdot 10^{-4}$
$4.286 \cdot 10^{-4}$

$$ЛE_n := \frac{ЛU_n}{2 \cdot (\varepsilon) \cdot \frac{Лh1}{2.3} + Лh2}$$

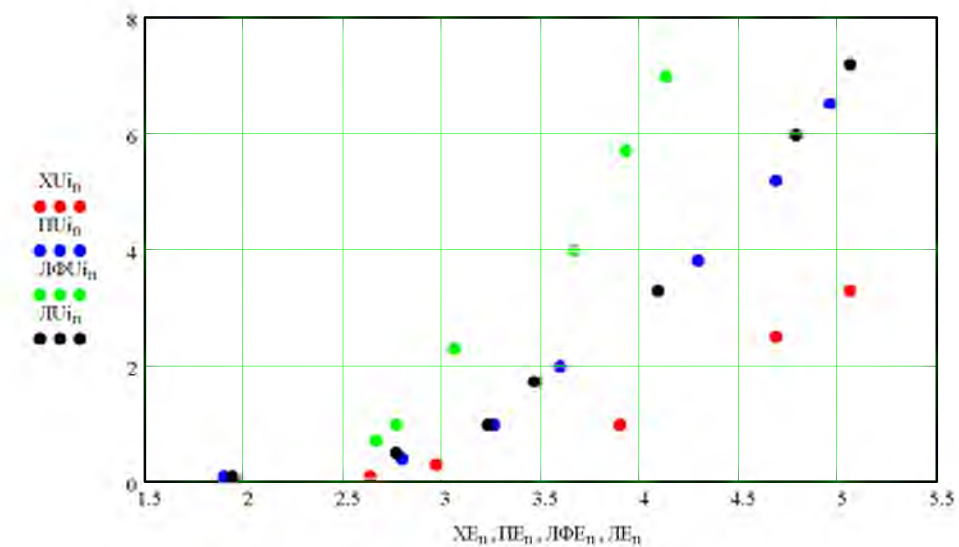
$ЛE_n =$

1.926
2.756
3.221
3.453
4.084
4.781
5.047

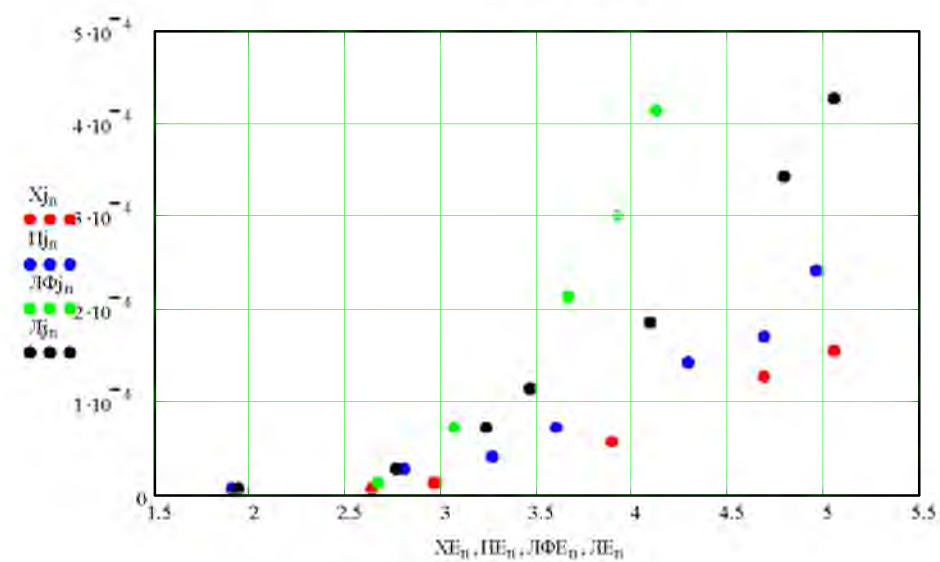
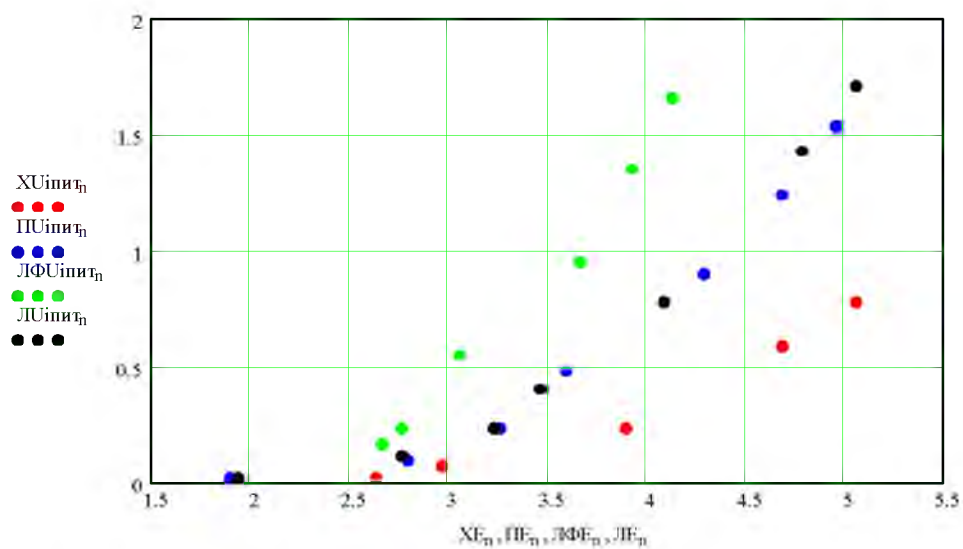
$$ЛE_{\pi_n} := \frac{ЛU_n}{2 \cdot Лh1 + 2.3 \cdot \frac{Лh2}{(\varepsilon)}}$$

$ЛE_{\pi_n} =$

2.378
3.402
3.976
4.263
5.042
5.903
6.231



### Продовження додатку Ж3



**Додаток Ж4**  
**Залежність відносної питомої інтенсивності**  
**іонізаційних процесів в зерновій масі різних**  
**культур з діелектричними пластинами з**  
**поліетилену марки М.**

Діелектричні пластини - поліетилен товщиною 0.25 мм

$h := 3 \cdot 10^{-2}$  -відстань між електродами, м       $h1 := 0.025$  -товщина діелектричної пластини, см  
 $H := 10 \cdot 10^{-2}$  -ширина електродів, м       $h2 := 2.95$  -товщина шару пшениці, см  
 $ЯЛ := 6.2 \cdot 10^{-2}$  -висота суміші ячменя, м при вологості 12.7 %  
 $ПЛ := 7 \cdot 10^{-2}$  -висота суміші пшениці, м при вологості 14.4 %  
 $ЖЛ := 6.2 \cdot 10^{-2}$  -висота суміші жита, м при вологості 15 %  
 $ОЛ := 6.2 \cdot 10^{-2}$  -висота суміші овса, м при вологості 12.7 %

$ЯS := ЯЛ \cdot H$        $ЯS = 6.2 \times 10^{-3}$  -площа електрода покрита зерновою сумішю,  $м^2$   
 $ПS := ПЛ \cdot H$        $ПS = 7 \times 10^{-3}$   
 $ЖS := ЖЛ \cdot H$        $ЖS = 6.2 \times 10^{-3}$   
 $ОS := ОЛ \cdot H$        $ОS = 6.2 \times 10^{-3}$

$ЯV := ЯS \cdot h2 \cdot 10^{-2}$        $ЯV = 1.829 \times 10^{-4}$  -об'єм суміші ячменя,  $м^3$   
 $ПV := ПS \cdot h2 \cdot 10^{-2}$        $ПV = 2.065 \times 10^{-4}$  -об'єм суміші пшениці,  
 $ЖV := ЖS \cdot h2 \cdot 10^{-2}$        $ЖV = 1.829 \times 10^{-4}$  -об'єм суміші жита,  
 $ОV := ОS \cdot h2 \cdot 10^{-2}$        $ОV = 1.829 \times 10^{-4}$  -об'єм суміші овса,

$j := \frac{I}{S}$  -густина струму,  $\frac{А}{м^2}$

$\gamma := \frac{I \cdot h}{U \cdot S}$  -питома електропровідність, См/м

$U_i$  -відносна характеристика іоніз. проц, мВ

$p$  -тиск повітря, мм.рт.ст

$W_n$  -вологість повітря,%

$W_z$  -вологість зерна,%

$t_{я}$  -температура зернапшениця, град

## Продовження додатку Ж4

$$U_{\text{пит}} := \frac{U_i \cdot S}{h} \quad \begin{array}{l} \text{-відносна питома} \\ \text{характеристика інтенсивності} \\ \text{іоніз. проц, мВ м} \end{array}$$

**Дослідження проведенні при погодних умовах:**

Температура повітря  $t = 22 \text{ C}$

Тиск  $p = 746$

Вологість повітря  $Wп = 75\%$

Вологість ячменю  $Wз = 12.7 \%$

$$n := 0..8$$

$YU_n :=$	$YI_n :=$	$YU_i_n :=$	$YU_{\text{пит}_n} := \frac{YU_i_n \cdot YS}{h2 \cdot 10^{-2}}$	мВ · м	$Yj_n := \frac{YI_n}{YS}$
3.9	$0.1 \cdot 10^{-6}$	0.1			
6	$0.6 \cdot 10^{-6}$	1.5			
7.5	$1.2 \cdot 10^{-6}$	3.5	$YU_{\text{пит}_n} =$		$Yj_n =$
8.9	$1.7 \cdot 10^{-6}$	10	0.021		$1.613 \cdot 10^{-5}$
10.3	$2.2 \cdot 10^{-6}$	25	0.315		$9.677 \cdot 10^{-5}$
11.2	$2.8 \cdot 10^{-6}$	47	0.736		$1.935 \cdot 10^{-4}$
12.7	$3.9 \cdot 10^{-6}$	73	2.102		$2.742 \cdot 10^{-4}$
13.6	$4.8 \cdot 10^{-6}$	84	5.254		$3.548 \cdot 10^{-4}$
15.1	$6.1 \cdot 10^{-6}$	102	9.878		$4.516 \cdot 10^{-4}$
			15.342		$6.29 \cdot 10^{-4}$
			17.654		$7.742 \cdot 10^{-4}$
			21.437		$9.839 \cdot 10^{-4}$

$$YAC := 21 \quad Ym := 26.8$$

$$Y\varepsilon := \frac{YAC \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300}{8.86 \cdot 10^{-12} \cdot Ym \cdot 10^{-3}} + 1$$

$$YE_n := \frac{YU_n}{2 \cdot (Y\varepsilon) \cdot \frac{h1}{2.3} + h2} \quad YE_{п_n} := \frac{YU_n}{2 \cdot h1 + 2.3 \cdot \frac{h2}{(Y\varepsilon)}}$$

$YE_n =$	$YE_{п_n} =$
1.295	1.599
1.992	2.46
2.49	3.074
2.955	3.648
3.42	4.222
3.719	4.591
4.217	5.206
4.516	5.575
5.014	6.19

## Продовження додатку Ж4

**Дослідження проведенні при погодних умовах:**

Температура повітря  $t = 23 \text{ C}$

Тиск  $p = 747$

Вологість повітря  $Wn = 76\%$

Вологість пшениці  $Wz = 14.4 \%$

$n := 0..6$      ■

$1U_n :=$	$1\Pi_n :=$	$1U_i_n :=$	$1U_{\text{пит}_n} := \frac{1U_i_n \cdot \text{ПС}}{h2 \cdot 10^{-2}}$	$\text{мВ} \cdot \text{м}$	$1\Pi_j_n := \frac{1\Pi_n}{\text{ПС}}$
6.6	$0.05 \cdot 10^{-6}$	0.1			
8	$0.1 \cdot 10^{-6}$	0.4			
9.3	$0.2 \cdot 10^{-6}$	1			
10.5	$0.4 \cdot 10^{-6}$	2	$1U_{\text{пит}_n} =$		$1\Pi_j_n =$
12.3	$0.9 \cdot 10^{-6}$	3.2	0.024		$7.143 \cdot 10^{-6}$
13.2	$1.1 \cdot 10^{-6}$	4	0.095		$1.429 \cdot 10^{-5}$
14.7	$1.6 \cdot 10^{-6}$	6	0.237		$2.857 \cdot 10^{-5}$
			0.475		$5.714 \cdot 10^{-5}$
			0.759		$1.286 \cdot 10^{-4}$
			0.949		$1.571 \cdot 10^{-4}$
			1.424		$2.286 \cdot 10^{-4}$

$1\Delta C := 21$      $1lm := 26.8$

$$1\epsilon := \frac{1\Delta C \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300}{8.86 \cdot 10^{-12} \cdot 1lm \cdot 10^{-3}} + 1$$

$$1E_n := \frac{1U_n}{2 \cdot (1\epsilon) \cdot \frac{h1}{2.3} + h2} \qquad 1E_{\Pi_n} := \frac{1U_n}{2 \cdot h1 + 2.3 \cdot \frac{h2}{(1\epsilon)}}$$

$1E_n =$	$1E_{\Pi_n} =$
2.191	2.706
2.656	3.279
3.088	3.812
3.486	4.304
4.084	5.042
4.383	5.411
4.881	6.026

## Продовження додатку Ж4

**Дослідження проведенні при погодніх умовах:**

Температура повітря  $t = 22 \text{ C}$

Тиск  $p = 746$

Вологість повітря  $Wп = 75\%$

Вологість жита  $Wз = 15\%$

$$n := 0..8$$

$$ЖU_n :=$$

4.7
6.3
7.4
9.2
10.7
12.2
12.9
14.4
14.9

$$ЖI_n :=$$

$0.1 \cdot 10^{-6}$
$0.9 \cdot 10^{-6}$
$1.5 \cdot 10^{-6}$
$2.1 \cdot 10^{-6}$
$3.4 \cdot 10^{-6}$
$4.8 \cdot 10^{-6}$
$6 \cdot 10^{-6}$
$7.9 \cdot 10^{-6}$
$9 \cdot 10^{-6}$

$$ЖU_{i_n} :=$$

0.1
1
3
25
50
78
112
162
177

$$ЖU_{i_{пит_n}} := \frac{ЖU_{i_n} \cdot ЖS}{h2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м}$$

$$ЖU_{i_{пит_n}} =$$

0.021
0.21
0.631
5.254
10.508
16.393
23.539
34.047
37.2

$$Жj_n := \frac{ЖI_n}{ЖS}$$

$$Жj_n =$$

$1.613 \cdot 10^{-5}$
$1.452 \cdot 10^{-4}$
$2.419 \cdot 10^{-4}$
$3.387 \cdot 10^{-4}$
$5.484 \cdot 10^{-4}$
$7.742 \cdot 10^{-4}$
$9.677 \cdot 10^{-4}$
$1.274 \cdot 10^{-3}$
$1.452 \cdot 10^{-3}$

$$Ж\Delta C := 21 \quad Жm := 26.8$$

$$Ж\epsilon := \frac{Ж\Delta C \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300}{8.86 \cdot 10^{-12} \cdot Жm \cdot 10^{-3}} + 1$$

$$ЖE_n := \frac{ЖU_n}{2 \cdot (Ж\epsilon) \cdot \frac{h1}{2.3} + h2} \quad ЖE_{п_n} := \frac{ЖU_n}{2 \cdot h1 + 2.3 \cdot \frac{h2}{(Ж\epsilon)}}$$

$$ЖE_n =$$

1.561
2.092
2.457
3.055
3.553
4.051
4.283
4.781
4.947

$$ЖE_{п_n} =$$

1.927
2.583
3.033
3.771
4.386
5.001
5.288
5.903
6.108

Продовження додатку Ж4

Дослідження проведенні при погодних умовах:

Температура повітря  $t = 22 \text{ C}$

Тиск  $p = 746$

Вологість повітря  $Wn = 75\%$

Вологість овса  $Wz = 12.7 \%$

$n := 0..10$

$OU_n :=$

4.3
5.3
6
7.2
7.8
8.6
9.3
10.7
11.6
12.8
14.2

$OI_n :=$

$1 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^{-6}$
$2.6 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^{-6}$
$5.9 \cdot 10^{-6}$
$7.9 \cdot 10^{-6}$
$10.6 \cdot 10^{-6}$
$17 \cdot 10^{-6}$
$22.5 \cdot 10^{-6}$
$33.5 \cdot 10^{-6}$
$48.5 \cdot 10^{-6}$

$OU_{in} :=$

0.1
2.8
15
55
95
142
202
275
350
390
460

$$OU_{\text{пит}_n} := \frac{OU_{in} \cdot OS}{h2 \cdot 10^{-2}} \quad \text{мВ} \cdot \text{м} \quad O_{jn} := \frac{OI_n}{OS}$$

$OU_{\text{пит}_n} =$

0.021
0.588
3.153
11.559
19.966
29.844
42.454
57.797
73.559
81.966
96.678

$O_{jn} =$

$1.613 \cdot 10^{-4}$
$3.226 \cdot 10^{-4}$
$4.194 \cdot 10^{-4}$
$6.452 \cdot 10^{-4}$
$9.516 \cdot 10^{-4}$
$1.274 \cdot 10^{-3}$
$1.71 \cdot 10^{-3}$
$2.742 \cdot 10^{-3}$
$3.629 \cdot 10^{-3}$
$5.403 \cdot 10^{-3}$
$7.823 \cdot 10^{-3}$

$OAC := 21 \quad Om := 26.8$

$$O_{\varepsilon} := \frac{OAC \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300}{8.86 \cdot 10^{-12} \cdot Om \cdot 10^{-3}} + 1$$

$$OE_n := \frac{OU_n}{2 \cdot (O_{\varepsilon}) \cdot \frac{h1}{2.3} + h2} \quad OE_{\Pi_n} := \frac{OU_n}{2 \cdot h1 + 2.3 \cdot \frac{h2}{(O_{\varepsilon})}}$$

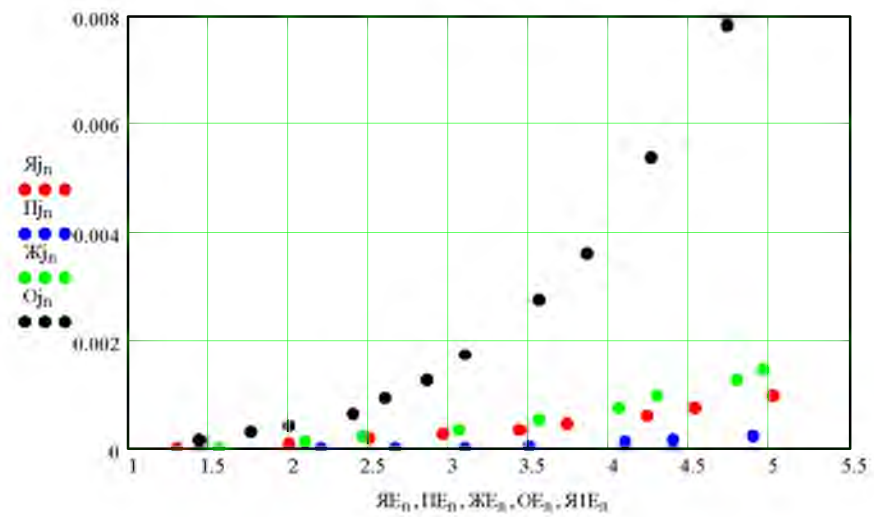
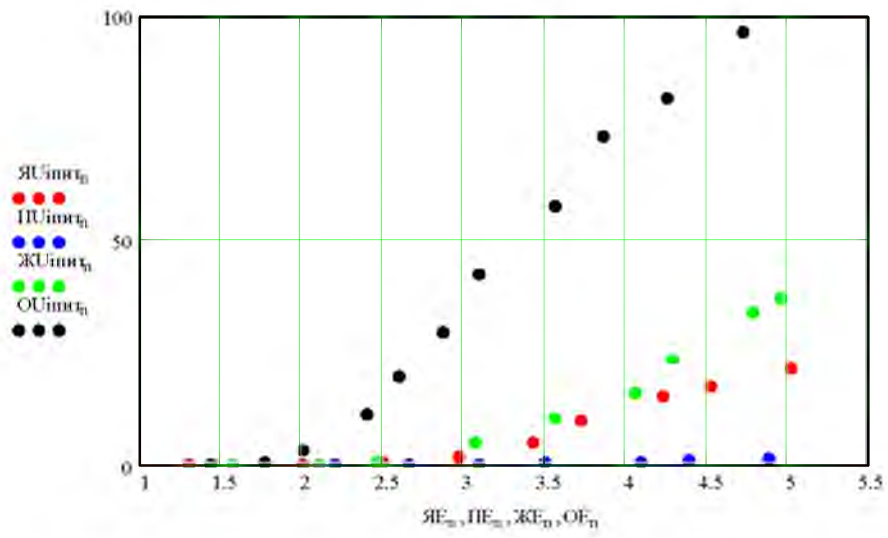
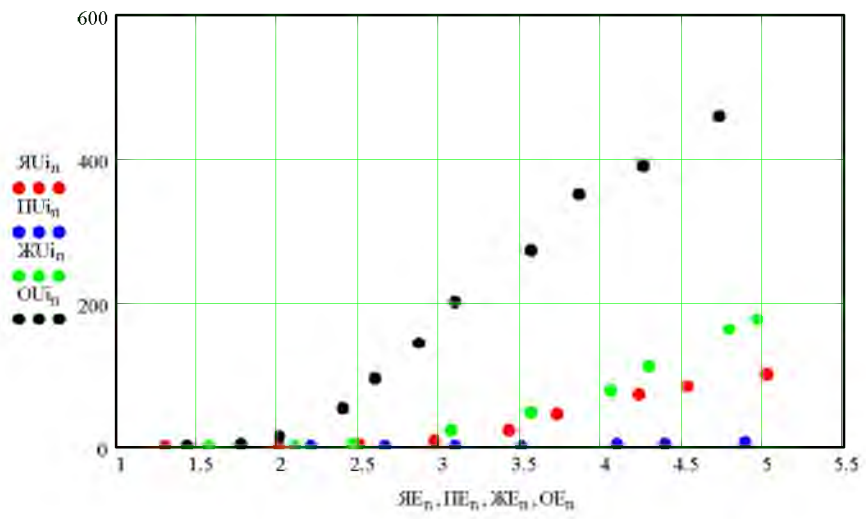
$OE_n =$

1.428
1.76
1.992
2.391
2.59
2.856
3.088
3.553
3.852
4.25
4.715

$OE_{\Pi_n} =$

1.763
2.173
2.46
2.951
3.197
3.525
3.812
4.386
4.755
5.247
5.821

Продовження додатку Ж4



## Додаток Е

### Економічна ефективність установки для зnezаражуючої обробки зернових в електричному полі високої напруженості змінного струму

Розрахунок проводиться при умові обробки 20 т зерна

$N_z := 20$	кількість обробленого зерна, т	
$n := 0.. 5$	кількість періодів, років	
$K_n := 5300 \cdot \Phi(-n)$	капітальні вкладення по періодам, грн	
$Z_n := 200 \cdot 1.1 \cdot \Phi(n - 1)$	експлуатаційні витрати по періодам, грн	
$N\pi_n := 2 \cdot 0.5 \cdot N_z \cdot \Phi(n - 1)$	заощадження протравлювачів по періодам, кг Девіденд Стар, норма 2 кг на 1т (заощаджуємо пів норми)	
$G_{доn} := 0.15 \cdot N_z \cdot \Phi(n - 1)$	вага додатково отриманого зерна, т	
$G_{дзn} := 0.05 \cdot N_z \cdot \Phi(n - 1)$	вага додаткового збереженого зерна, т	
$V\pi := 320$	вартість 1 кг акробат МЦ 69% , грн	
$V_{до} := 1500$	вартість додатково отриманого зерна, грн/т	
$V_{дз} := 1400$	вартість додатково збереженого зерна, грн/т	
$E := 0.15$	норма дисконту	

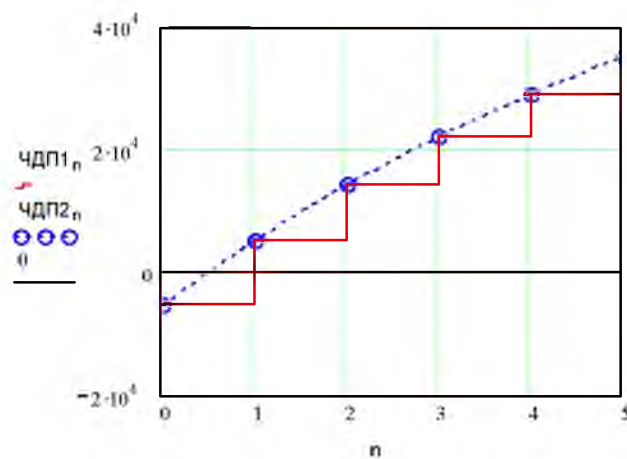
$n =$	$K_n =$	$G_{дзn} =$	$G_{доn} =$	$N\pi_n =$	$Z_n =$
0	$5.3 \cdot 10^3$	0	0	0	0
1	0	1	3	20	220
2	0	1	3	20	220
3	0	1	3	20	220
4	0	1	3	20	220
5	0	1	3	20	220

## Продовження додатку Е

чистий дисконтний прибуток по основній (1) і модифікованій формулі (2)

$$\text{ЧДП1}_n := \sum_{n=0}^n \left[ \left( \text{Гдз}_n \cdot \text{Вдз} + \text{Гдо}_n \cdot \text{Вдо} + \text{Nп}_n \cdot \text{Вп} - \text{Z}_n - \text{K}_n \right) \cdot \frac{1}{(1 + \text{E})^n} \right] \quad (1)$$

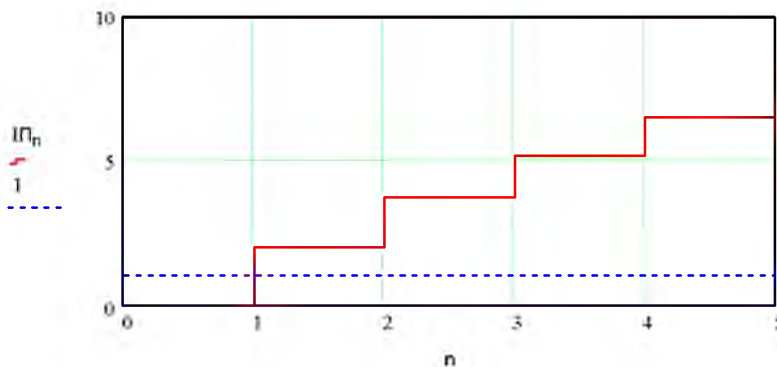
$$\text{ЧДП2}_n := \sum_{n=0}^n \left[ \left( \text{Гдз}_n \cdot \text{Вдз} + \text{Гдо}_n \cdot \text{Вдо} + \text{Nп}_n \cdot \text{Вп} - \text{Z}_n \right) \cdot \frac{1}{(1 + \text{E})^n} - \text{K}_n \right] \quad (2)$$



n =	ЧДП1 <sub>n</sub> =	ЧДП2 <sub>n</sub> =
0	-5.3·10 <sup>3</sup>	-5.3·10 <sup>3</sup>
1	5.204·10 <sup>3</sup>	5.204·10 <sup>3</sup>
2	1.434·10 <sup>4</sup>	1.434·10 <sup>4</sup>
3	2.228·10 <sup>4</sup>	2.228·10 <sup>4</sup>
4	2.919·10 <sup>4</sup>	2.919·10 <sup>4</sup>
5	3.519·10 <sup>4</sup>	3.519·10 <sup>4</sup>

³íààèí ìðåàóðåíàíò³

$$\text{IП}_n := \frac{1}{\sum_{n=0}^n (\text{K}_n)} \cdot \left[ \sum_{n=0}^n \left( \text{Гдз}_n \cdot \text{Вдз} + \text{Гдо}_n \cdot \text{Вдо} + \text{Nп}_n \cdot \text{Вп} - \text{Z}_n \right) \cdot \frac{1}{(1 + \text{E})^n} \right]$$



## Продовження додатку E

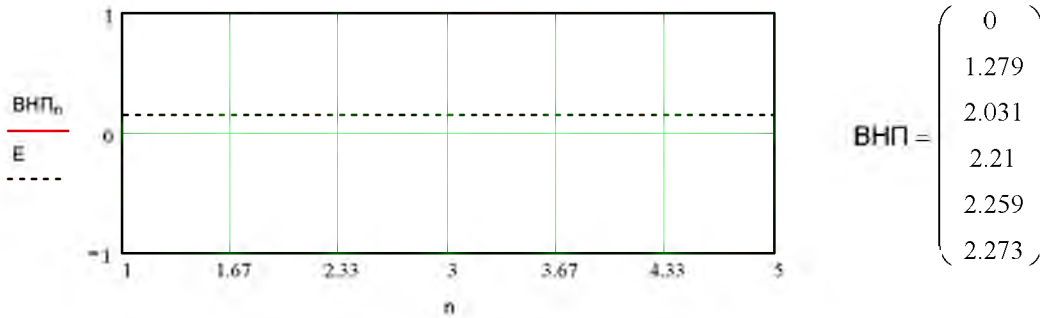
ВНП := 0.0    n := 1.. 5

внутрішня норма прибутковості

Given

$$\sum_{n=0}^n \left[ (G_{D3n} \cdot V_{D3} + G_{D0n} \cdot V_{D0} + N_{\Pi n} \cdot V_{\Pi} - Z_n) \cdot \frac{1}{(1 + \text{ВНП})^n} \right] = \sum_{n=0}^n \frac{K_n}{(1 + \text{ВНП})^n}$$

ВНП<sub>n</sub> := Find(ВНП)



відхилення чистого дисконтного прибутку від бази - F

оцінка ризику

вплив відхилення факторів +/- 20% від бази на чистий дисконтний прибуток при G прогонах на етапі N

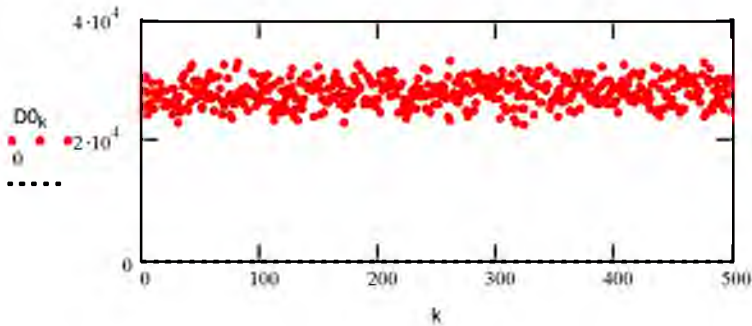
G := 500

N := 3      k := 0.. G

$$B_k := G_{D3n} \cdot V_{D3} \cdot (0.8 + \text{rnd}(0.4)) + G_{D0n} \cdot V_{D0} \cdot (0.8 + \text{rnd}(0.4))$$

$$D0_k := \left[ \sum_{n=0}^N \left[ B_k + N_{\Pi n} \cdot V_{\Pi} \cdot (0.8 + \text{rnd}(0.4)) - Z_n \cdot (0.8 + \text{rnd}(0.4)) - K_n \right] \cdot \frac{1}{[1 + E \cdot (0.8 + \text{rnd}(0.4))]^n} \right]$$

ЧДП<sub>1N</sub> = 2.228 × 10<sup>4</sup> база



## Продовження додатку Е

$$M := \text{mean}(D0) \quad M = 2.818 \times 10^4 \quad \max(D0) = 3.34 \times 10^4 \quad \min(D0) = 2.278 \times 10^4$$

$$\sigma := \text{stdev}(D0) \quad \sigma = 2.171 \times 10^3$$

$$1 + 3.322 \cdot \log(200) = 8.644 \quad NN := 9 \quad A := \min(D0) \quad B := \max(D0)$$

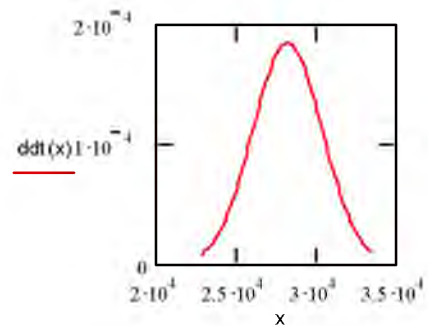
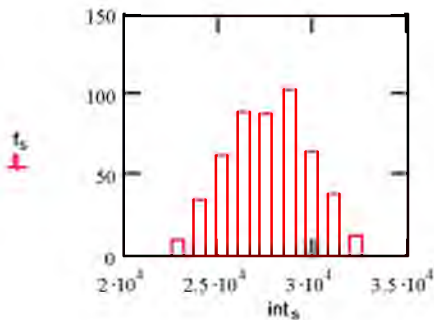
$$j := 0.. NN \quad s := 0.. NN - 1 \quad dd_k := D0_k \quad A = 2.278 \times 10^4 \quad B = 3.34 \times 10^4$$

$$\text{int}_j := \min(D0) + \frac{\max(D0) - \min(D0)}{NN} \cdot j$$

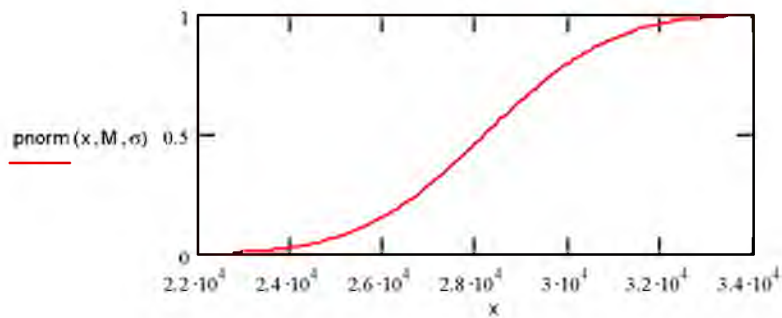
$$\text{ddt}(x) := \text{dnorm}(x, M, \sigma)$$

$$f := \text{hist}(\text{int}, D0)$$

$$x := A, \frac{B - A}{100} + A.. B$$



гістограма



кумулятивна крива

$$\text{qnorm}(0.95, M, \sigma) = 3.175 \times 10^4$$

$$D_{\max} := \text{qnorm}(0.975, M, \sigma) \quad D_{\max} = 3.244 \times 10^4$$

$$D_{\min} := \text{qnorm}(0.025, M, \sigma) \quad D_{\min} = 2.393 \times 10^4$$

найбільший і найменший із математичних очікувань інтегрального ефекту по допустимим вірогідним розподіленням

## Продовження додатку Е

$$\lambda := 0.3$$

$$D := \lambda \cdot D_{\max} + (1 - \lambda) \cdot D_{\min}$$

$$D = 2.648 \times 10^4$$

інтегральний ефект з вірогідністю 0.95

$$rr := \text{sort}(D0)$$

$$kOP := \sum \Phi(-rr)$$

$$kOP = 0$$

кількість негативних результатів

$$kOD := \sum \Phi(rr)$$

$$kOD = 501$$

кількість позитивних результатів

$$OP := \sum_{k=0}^{kOP} rr_k \cdot \frac{kOP}{G+1}$$

$$OP = 0$$

втрати

$$OD := \sum_{k=kOP+1}^G \left( rr_k \cdot \frac{kOD}{G+1} \right)$$

$$OD = 1.41 \times 10^7$$

дохід

$$KOP := \frac{|OP|}{|OP| + OD}$$

$$KOP = 0$$

коефіцієнт можливих втрат

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Адамень Ф. Ф. Обработка сельскохозяйственных материалов сверхвысокочастотным (СВЧ) электромагнитным полем (ЭМП) / Ф. Ф. Адамень, В. Н. Письменов // Вісник аграрної науки. –1998. –№12. – С. 58 – 64.
2. Александрова Н. Е. Действие озона на плесени хранения зерна / Н. Е. Александрова, О. И. Плясухина, А. В. Алексеева // Биохимия и качество зерна. – М. : ВНИИЗ, 1983. – Вып. 103. – С. 35 – 40.
3. Александрова Н. Е. Изучение возможности использования озона для детоксикации зерна / Н. Е. Александрова, О. И. Плясухина, Л.С. Львова, О.И. Кизленко // Послеуборочная обработка и хранение зерна. – М. : ВНИИЗ, 1986. – Вып. 108. – С. 25 – 32.
4. Андреев С. А. Установка для СВЧ – обработки семян: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.09.16 “Применение электротехнологий в сельскохозяйственном производстве” / Андреев С. А. – М.: МИИСП, 1987. – 18с.
5. Андрейчук В. К. Электрофизические методы предпосевной обработки семян различных сельскохозяйственных культур / В. К. Андрейчук, А. Е. Реднев, И. А. Потапенко // Применение электротехнических устройств в АПК. Труды КГАУ. – Краснодар, 2000. – Вып. 381 (409). – С. 74 – 78.
6. Андреев С. В. Біофізичні методи захисту рослин від шкідників і хвороб / С. В. Андреев, Б. К. Мартенс, В. А. Молчанов. – Л. : «Колос», 1969.
7. Бабаянц Л. Т. Генетическая основа устойчивости к возбудителю твердой головни (*Tilletia caries*(DC) Tul) новых линий пшеницы / Л. Т. Бабаянц, Л. А. Дубинина, Г. М. Ющенко // Цитология и генетика. – 1999. – Т.33, № 6. – С.25 – 30.
8. Багиров М. А. Воздействие электрических разрядов на полимерные диэлектрики / М. А. Багиров, В. П. Малин, С .А. Абасов – Баку: Изд-во “ЭЛМ”, 1975. – 167 с.
9. Басов А. М. Вопросы дозировки при стимуляции семян физическими воздействиями / А. М. Басов, Э. А. Каменир, В. Б. Файн // Вестник сельскохозяйственной науки науки. – 1981.–№6. – С. 109 – 116.
10. Басов А. М. Электрозерноочистительные машины (теория, конструкция и расчет) / А. М. Басов, Ф. Я. Изаков, В. Н. Шмигель и др. – М. : Машиностроение, 1968. – С. 58 – 64.
11. Берека О. М. Альтернативні засоби знезаражування зернової маси зерна сильними електричними полями / О. М. Берека, С. М. Усенко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – 2011. – Т. 4, Вип. 11. – С. 230–236.
12. Берека О. М. Вплив температури на електричні властивості зернової маси ячменя пивоварного / О. М. Берека, Л. С. Червінський, М. П. Салата [та ін.] // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – Мелітополь. - 2004. - Вип. № 24. - С. 143 – 147.

13. Берека О. М. Дія сильних електричних полів на насіння сільськогосподарських культур / О.М. Берека // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково–виробничий журнал. – К., 2007. – № 1(20) – С. 23 – 29.
14. Берека О. М. Дослідження відносної характеристики інтенсивності іонізаційних процесів в насінній масі / О. М. Берека, С. М. Усенко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту.– 2009. – Т. 10, Вип. 8. – С. 80–85.
15. Берека О. М. Дослідження впливу електричного поля високої напруги на посівні якості насіння та визначення оптимальної дози обробки / О. М. Берека, С. М. Усенко // Наук. вісн. НУБіП України. – 2009. – Вип. 139. – С. 62–66.
16. Берека О. М. Дослідження конструктивних параметрів установки для знезаражуючої обробки зернових в електричному полі високої напруженості змінного струму [електронний журнал] : Енергетика і автоматика / О. М. Берека, С. М. Усенко – К.: НУБіП України, 2011. – № 2 (8). – Режим доступу до журналу: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2011\\_2/11bomnac.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2011_2/11bomnac.pdf)
17. Берека О. М. Дослідження концентрації озону у зерновій масі під дією електричного поля високої напруги / О. М. Берека, С. М. Усенко // Наук. вісн. НУБіП України. – 2010. – Вип. 153. – С. 176–182.
18. Берека О. М. Дослідження питомої електропровідності насінневої маси в електричних полях високої напруги / О. М. Берека // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – Мелітополь, 2008. – Т. 7, Вип. 8. – С. 213 – 217.
19. Берека О. М. Дослідження питомої інтенсивності іонізаційних процесів в насінній масі / О. М. Берека // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 2008. – Вип. 4(47) – С. 245 – 249.
20. Берека О. М. Дослідження режимних параметрів при знезаражуючій обробці зерна різних видів культур в сильному електричному полі / О. М. Берека, С. М. Усенко // Наук. вісн. НУБіП України. – 2011. – Вип. 166. – С. 32–37.
21. Берека О. М. Електросинтез озону в насінній масі / О. М. Берека // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – Мелітополь, 2008. – Т. 5, Вип.8. – С. 37 – 43.
22. Берека О. М. Ефективність озонування зернових у сильних електричних полях / О. М. Берека, С. М. Усенко // Наук. вісн. НУБіП України.– 2010. – Вип. 148. – С. 92–97.
23. Берека О. М. Закономірності зміни питомої електропровідності насінневої маси в електричних полях високої напруги / О. М. Берека // Аграрна наука і освіта. Науковий журнал. – К., 2008. – Т. 9, № 5 – 6. – С. 146 – 148.
24. Берека О. М. Концентрація оксидів азоту в зерновій масі під дією електричного поля високої напруженості [електронний журнал] : Енергетика і автоматика / О. М. Берека, С. М. Усенко – К.:НУБіП України,

2012. – № 1(11). – Режим доступу до журналу: [http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/eia/2012\\_1/index.htm](http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/eia/2012_1/index.htm)
25. Берека О. М. Обробка зернової маси зерна в сильних електричних полях, як альтернатива хімічним засобам знезаражування / О. М. Берека, С. М. Усенко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – 2010. – Т. 10, Вип. 10. – С. 27–33.
26. 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.
27. Берека О. М. Обробка насіння сільськогосподарських культур в сильних електричних полях / О. М. Берека // Збірник наукових праць Уманського аграрн. ун-ту. – Умань, 2008. – Ч.1, вип. 69 – С. 34 – 40.
28. Берека О. М. Озонування насіннєвого матеріалу в сильних електричних полях / О. М. Берека, Л. С. Червінський, С. М. Усенко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – 2008. – Т. 2, Вип. 8. – С. 103–108.
29. Берека О. М. Питома електропровідність зернової маси ячменя при зміні її вологості [електронний журнал]: Наукові доповіді НУБіП України / О. М. Берека, С. М. Усенко – К.: НУБіП, 2009. – № 3 (15). – Режим доступу до журналу: <http://nd.nauu.edu.ua/2009-3/09bomcih.pdf>.
30. Берека О. М. Регулятор напруги в установці для обробки зернової маси в сильних електричних полях / О. М. Берека, С. М. Усенко О. В. Науменко // Наук. вісн. НУБіП України. – 2011. – Вип. 161. – С. 23–26.
31. Берека О. М. Установка для обробки насіння в електричному полі високої напруги / О. М. Берека, Л. С. Червінський, С. М. Усенко // Наука та інновація: Зб. заверш. наук. та іннов. розробок НУБіП України. – 2010. – Вип. 1(7). – С. 21.
32. Берека О. М. Часткові розряди в зерновій масі під дією електричного поля високої напруженості змінного струму [Електронний журнал] : Енергетика і автоматика / О. М. Берека, С. М. Усенко – К.:НУБіП України, 2011. – № 3. – Режим доступу до журналу: <http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/eia/index.html> .
33. Берека О. М. Часткові розряди в зерновій масі під дією сильного електричного поля / О. М. Берека, С. М. Усенко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – 2011. – Вип. 11, Т. 6. – С. 184–190.
34. Берека О. М. Электросинтез озона в зерновой массе / О. М. Берека // Ғылым және білім. Ғылыми – практикалық журналы. – Орал : Қазақстан, 2008. – № 2 (11). – С. 42 – 47.
35. Биофизика живых систем: от молекулы к организму / Под ред. И. Д. Вологовского. – Мн.: Белсэнс, 2002. – 204с.
36. Болога М. К. Исследование влияния газового разряда на продуктивность микроорганизмов / М. К. Болога, Г. А. Литинский, Л. Ф. Онофреш, В. М. Руденко // Электронная обработка материалов. – Кишинев : ИПФ, 1982. – № 2 (104). – С. 62 – 65.

37. Бородин И. Ф. Развитие электротехнологии в сельском хозяйстве / И. Ф. Бородин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М. : Колос, 1983. – № 6. – С. 27 – 31.
38. Бородин И. Ф. Электроозонирование воздушной среды в животноводстве / И. Ф. Бородин, Н. В. Ксенз, Т. П. Шубина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.: Колос, 1995. – № 7. – С. 18 – 21.
39. Бородин И. Ф. Электроозонированная сушка зерна / И. Ф. Бородин, Н. В. Ксенз, И. И. Дацков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1993. – № 7. – С. 22.
40. Бровкин В. И. Применяйте экологически чистые технологии / В. И. Бровкин, М. С. Хлопук // Картофель и овощи. – 1996. – №4. – С. 7.
41. Бугаенко Л. А. Влияние условий выращивания и сроков уборки на процесс формирования, масличность и всхожесть семян кориандра / Л. А. Бугаенко, Н. М. Макрушин, Р. Ю. Шабанов // Науч. тр. КГАУ. – 2004. – Вып. 83. – С. 57 – 59.
42. Букин В. В. Озонаторное оборудование, выпускаемое АО Курганхиммаш / В. В. Букин, В. Ф. Храма, А. В. Комарских, Е. В. Мехонин. – Курган, 1996. – 42 с.
43. Бутко М. П. Эффективность действия озона в зависимости от температуры и влажности / М. П. Бутко, В. С. Фролов // Современные вопросы интенсификации кормления, содержания животных и улучшения качества продуктов животноводства: материалы конф. – М. : 1999. – С. 185 – 186.
44. Верещагин И. П. Высоковольтные электротехнологии / И. П. Верещагин – М.: из-во МЭИ, 1999. – 204 с.
45. Гинзбург А. С. Теплофизические свойства зерна, муки и крупы / А. С. Гинзбург, М. А. Громов. – М. : Колос, 1984. – 304 с.
46. Горбунов Н. Н. Предпосевное озонирование семян зерновых, технических и овощных культур, озонирование при хранении зерна / Н. Н. Горбунов; Сб. реф. н.-и. работ, выполн. по грантам администрации Воронеж. обл. – Воронеж, 1994. – С. 79 – 80.
47. Горський И. В. Обработка семян пшеницы озонированным воздухом: дис. канд. техн. наук: 05.20.02 / И. В. Горський. – М., 2004. – 202 с.
48. Грачева Л. И. К вопросу исследования электрофизических характеристик зернопродуктов / Л.И. Грачева, Я.Ф. Меренбах, Н.Н. Шумляк // Усовершенствование режимов работы сельскохо-зяйственных установок. – К. :УСХА, 1978. – С. 57 – 60.
49. Давиденко Е. К. Изменение качества зерна кукурузы, обработанного пропионовой кислотой, при хранении / Е. К. Давиденко, Е. В. Дорошова // Послеуборочная обработка и хранение зерна. – М. : ВНИИЗ, 1986. – Вып. 108. – С. 20 – 25.
50. Давидчик Л. Я. Изучение возможности использования озона для обеззараживания токсинов / Л. Я. Давидчик, Т. В. Чемм, Е. А. Шевелева //

- Передовой научно – производственный опыт в птицеводстве. Экспресс – информация. – М. : МСХ СССР, 1981. – Вып. 6. – С.39 – 40.
51. Давидчик Л. Я. Некоторые материалы по изучению озона на конидии плесневых грибов фуражного зерна / Л. Я. Давидчик, Т. В. Чемм, Е. А. Шевелева // Наука и практика – производству качественных комбикормов. – Рига, 1980. – С. 21 – 24.
  52. Давидчик Л. Я. Озон и его влияние на споры плесневых грибов в комбикормах / Л. Я. Давидчик, А. А. Китехцян. – Тр. ВНИИКОП, 1980. – Вып. 17. – С.9 – 10.
  53. Денисов Р. Р. Способы обработки кормового зерна / Р. Р. Денисов, В. П. Елизаров. – М. : ВНИИЕЭИСХ, 1980. – 70 с.
  54. Ермакова В. А. Исследование ламповых генераторов озона для улучшения хранения сельхозпродуктов / В. А. Ермакова, П. П. Ермаков // Хранение и переработка зерна. – 2007. – № 3 – С. 26 – 27.
  55. Ермакова В. А. Озонирование зерна / В. А. Ермакова, П. П. Ермаков // Хранение и переработка зерна. – 2007. – № 10 – С. 19 – 21.
  56. Жалнина А. Озонирование кормов / А. Жаннина // Птицеводство, 1994. – № 3. – С. 18 – 19.
  57. Желтоухов А. И. Модернизация электрзерноочистительных машин / А. И. Желтоухов // Электрификация сельского хозяйства. – Уфа, 2000. – Вып. 2. – С. 67 – 70.
  58. Закладной Г. А. Озон в хранении зерна (обзор) / Г. А. Закладной. – М. : ВНИИЗ, 1992. – 7 с.
  59. Застосування озону в сільському господарстві / О. М. Берека, Л. С. Червінський, М. П. Салата, І. П. Назаренко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2006. – Вип. 42. – С. 32 – 37.
  60. Ивасенко А. Украинский зерновой прогноз: объем, качество, цены / А. Ивасенко // Хранение и переработка зерна. – 2007. – № 6 – С. 12 – 16.
  61. Иерусалимов М. Е. Лабораторный практикум по технике высоких напряжений / М. Е. Иерусалимов, Ю. К. Бобров, О. С. Ильченко– К.: КПИ, 1977. – 131 с.
  62. Иерусалимов М. Е. Расчет и конструирование электрической изоляции / Иерусалимов М. Е., Ильченко Н. С., Кириленко В. М. – К.: КПИ, 1980. – 111 с.
  63. Изаков Ф. Я. Влияние влажности семян и сроков при предпосевной обработке в электрическом поле коронного разряда / Ф. Я. Изаков, А.П. Блонская. – Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1968. – Вып. 31. – С. 61 – 64.
  64. Изаков Ф. Я. Влияние влажности семян пшеницы и некоторых условий предпосевной обработки в электрическом поле на урожай и поглощение элементов минерального питания из почвы на различных этапах онтогенеза / Ф. Я. Изаков, А. П. Блонская, В. А. Окулова // Электронная обработка материалов. – Кишинев : ИПФ, 1981. – № 2 (98). – С. 66 – 74.

65. Изучить молекулярно-мембранные механизмы действия озона и аэроионов при электронно-ионной обработке с.-х. Продуктов (картофель, овощи, плоды) // Отчет Ин-та фитобиологии АН БССР, 1980.
66. Іноземцев Г. Б. Обробка моркви в полі коронного розряду як метод збереження продукції / Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко // Електрифікація і автоматизація сільського господарства. – 2003. – №3. – С. 30 – 33.
67. Іноземцев Г. Б. Технологічні аспекти зберігання продукції рослинництва із застосуванням аероіонізації / Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко // Праці Таврійської держ. агротехн. акад. – 2005. – Вип. 31. – С. 3 – 7.
68. Ирха А. П. Использование термической и магнитной обработки для обеззараживания и улучшения посевных качеств семян / А. П. Ирха, Е. П. Шеховцова, Г. Ю. Пустовалова // Применение энергосберегающих технологий в агропромышленном комплексе. Труды КГАУ. (359). – Краснодар, 1993. – Вып. 331. – С. 136 – 141.
69. Казакевич П. П. Предварительная очистка и активное вентилирование зерна – технологические основы сокращения потерь собранного урожая / П. П. Казакевич, В. Н. Дашков, В. П. Чеботарев, Е. И. Михайловский, А. А. Князев // Весці нацыянальнай акадэміі навук беларусі серыя аграрных навук Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – 2009. – № 2. – С. 100 – 103.
70. Казарновский Д. М. Испытания электроизоляционных материалов / Д. М. Казарновский, Б. М. Тареев. – Л. : Изд - во „Энергия”, 1969. – 296 с.
71. Карасенко В. А. Влияние электрогидротермической обработки на качество зерна / В. А. Карасенко, В. А. Пашинський, В. С. Корко // – Мукомольно элеваторная и комбикормовая промышленность. – 1981. – № 1. – С. 40.
72. Карасенко В. А. Технологические основы применения электрического тока для обработки кормов / В. А. Карасенко // Электротехнологические методы обработки кормов. Сб. науч. тр.– Горки: БСА, 1983. – Вып. 100. – С. 15 – 22.
73. Каратыгин И. В. Возбудители головни зерновых культур / И. В. Каратыгин. – Л. : Наука, 1986. – 108 с.
74. Карпов Б. А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна / Б. А. Карпов. – М. : ВО «Агропромиздат», 1987.
75. Карташевич С. М. Энергосберегающая электроозонированная сушка зерна активным вентилированием / С. М. Карташевич, Т. П. Троцкая // Науч. тр. – Вип. – 2000. – Т. 132. – С. 142 – 145.
76. Кастальский А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А. А. Кастальский, Д. М. Минц. – М., 1962.
77. 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.
78. Кирик М. М. Вплив озону на проростання теліоспор *Tilletia caries* (DC) Tul. / М. М. Кирик, О. М. Берека, С. М. Усенко, А. Б. Ковалишин // Біоресурси і природокористування. – 2011. – Т. 3, Вип. 1–2. – С. 77–80

79. Китехцян А. А. Изучение обеззараживающего действия озона на микрофлору кормовых компонентов, используемых для приготовления комбикормов / А. А. Китехцян, Л. Я. Давидчик // Сб. Республ. конф. молодых уч. и спец. Наука и практика – производству качественных комбикормов. – Рига, 1980. – С. 19 – 21.
80. Клячко В. А. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения / В. А. Клячко, И. Э. Апельцин. – М., 1962.
81. 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.
82. Колодезникова Е. Н. Изучение бактерицидной активности озона / Е. Н. Колодезникова // Материалы Всерос. науч.-произв. конф. "Гигиена содерж. и кормления животных – основа сохранения их здоровья и получения экологически чистой продукции". – Орел, 2000, – С. 73 – 74.
83. Колтунов В. А. Якість плодоовочевої продукції та технологія її зберігання / В. А. Колтунов – К. : Київський нац. торг.-екон. ун-т, 2004. – Ч. 1. : Якість і збереженість картоплі та овочів. – 568 с.
84. Корко В. С. Исследование проводимости зерновой массы при обработке электрическим током / В. С. Корко // Электротехнологические методы обработки кормов; Сб. науч. тр. – Горки: БСА, 1983. – Вып. 100. – С. 15 – 22.
85. Кравцов П. В. Действие и последствие постоянного электрического тока на развитие и активность азотфиксирующих микроорганизмов / П. В. Кравцов, Л. В. Кравцова // Электронная обработка материалов.– Кишинев : ИПФ, 1971. – № 5 (41). – С. 70 – 75.
86. Кривопишин И. П. Действие озона на микроорганизмы / И. П. Кривопишин, Ю. В. Исаев // Труды ВНИТИП. – М. : ВНИТИП, 1974. – Т. 38. – С. 32 – 37.
87. Кривопишин И. П. Озон в промышленном птицеводстве / И. П. Кривопишин. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 2-е изд. – 176 с.
88. Кривопишин И. П. Озон в промышленном птицеводстве / И. П. Кривопишин. – М. : Россельхозиздат, 1979. – 95 с.
89. Кучинский Г. С. Регистрация ионизационных характеристик изоляции / Г. С. Кучинский // Ионизационное старение и короностойкость высоковольтной изоляции. Научные труды ЦИНТИЭП. – М., 1960. – С. 3 – 9.
90. Кучинский Г. С. Силовые электрические конденсаторы / Г. С. Кучинский, Н. И. Назаров, Г. Т. Назаров, И. Ф. Переселенцев – М. : Энергия, 1975. – 248с.
91. Левитин М. М. Грибные болезни зерновых культур / М. М. Левитин, С. Л. Тетерев // Защита и карантин растений. – М., 2003. – № 11. – С. 55 – 86.

92. Линьков Ф. С. Озоно-воздушная установка ОВУ – 1 / Л. Ф. Линьков, Ю. Ф. Ершов, Н. Ф. Оруджив // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М. : Колос, 1991. – № 11. – С. 19.
93. ЛОЗА. Озоновые технологии. [Электронный ресурс] / Режим доступа до статті: <http://www.lozza.ru>
94. Мамбиш И. Е. О технологических режимах подготовки пшеницы к помолу / И. Е. Мамбиш. – Труды ВНИИЗ. – М. : 1952. – Вып. 24. – С. 105 – 120.
95. Мартиненко І. І., Чапний М. В., Рубан О. В. Обробка картоплі електричною енергією // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2003. – № 2. – С. 30 – 33.
96. Мельников Н. Н. Сучасні напрямки розвитку виробництва і застосування пестицидів / Н. Н. Мельников // Висновки науки : Серія „Хімія”. – М. : ВІНТІ, 1970.
97. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно – исследовательских и опытно – конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – К. : Урожай, 1986. – 118 с.
98. Методы изучения устойчивости зерновых культур к возбудителям головневых заболеваний / В. И. Кривченко, Д. В. Мягкова, Л. Г. Щелко, З. В. Тимошенко, Д. П. Пшинник. – Л., 1972. – 59 с.
99. Минх А. А. Методы гигиенических исследований / А. А. Минх – М. : Медицина, 1971. – 584 с.
100. Мишустин Е. Н. Микробиология зерна и муки / Е. Н. Мишустин, Л. А. Трисвятский. – М. : Изд - во технической и экономической литературы по вопросам хлебопродуктов, 1960. – 407 с.
101. Мікростім – 2М. [Електронний ресурс] / Режим доступу до статті : [http://kovua.net/index/mikrostim\\_2m/0-8](http://kovua.net/index/mikrostim_2m/0-8)
102. Молдау Х. Антропогенный озон – надвигающийся стрессовый фактор продуктивности растений / Х. Молдау, Я. Сыберб // Газообмен растений в посевах и природных фитоценозах. – Сыктывкар, 1992.
103. Мочалова Л. И. Влияние поражения растений твердой головней на рост и развитие озимой пшеницы / Л. И. Мочалова // Бюллетень МНИИССП. – М. : Колос. – Вып.5. – 1974. – С.90 – 93.
104. Музиченко В. А. Транспортування аероіонів до об'єкта обробки в картоплесховищах / В. А. Музиченко // Проблеми енергозабезпечення в АПК України. – Харків: ХДТУСГ. – 2001. – №6. – С. 100 – 106.
105. Мураков А. П. Универсальные озонные технологии очистки сточных вод хим. Производств. / А.П. Мураков. – Иваново : ИЭБ Редокс-системы, 1999. – 16 с.
106. Наумов Е. М. Влияние послеуборочной обработки пшеницы в электростатическом поле на посевные качества семян / Е. М. Наумов // Электротехнология в сельском хозяйстве. Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1974. – Вып. 75. – С. 159 – 162.

107. Наумова Н. А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию / Н. А. Наумова – Л. : Колос, 1970. – 207 с.
108. 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.
109. Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы / А. А. Романенко, Л. А. Беспалова, И. Н. Кудряшов, И. Б. Аблова. – Краснодар, 2005. – 224 с.
110. Нормов Д. А. Повышение энергетической эффективности электроозонаторов / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М. : Колос, 2004. – № 11. – С. 29 – 30.
111. Оборудование для озонотерапии. [Электронный ресурс] / Режим доступа до статті: <http://www.medozone.com.ua/products.php>.
112. Обработка зерна озоном на мельницах сортового помола. [Электронный ресурс] / Режим доступа до статті : <http://www.bakteriy.net/Ozon/Grain.aspx>.
113. Огнев В. Н. Формирование урожайности зерна ячменя сорта Биос-1 в зависимости от приемов предпосевной обработки семян / В. Н. Огнев // Материалы XIX науч.-практ. конф. Ижев. гос. с.-х. акад. – Ижевск, 1999. – С. 33.
114. Озоновая технология и оборудование для обеззараживания зерна и помещений агропромышленных предприятий: (III российско-индийский форум по торговле и инвестициям) [Электронный ресурс] / Н. И. Пурисев. – М.: 2009. – Режим доступа до статті :<http://www.rus-ind.ru/forum/forum07/report/rus17/>.
115. Останков А. А. Интенсификация процесса сушки зерна озоновоздушной смесью / А. А. Останков, А. И. Горбатенков, А. И. Цыпленков, С. А. Пивоваров // Технические средства для интенсивных технологий сельскохозяйственного производства. – М., 1992. – С. 37 – 41.
116. Оськин С. В. Предпосевная обработка семян озоном / С. В. Оськин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.: Колос, 2004. – № 11. – С. 7.
117. Пат. 2076556 Российская федерация, А01С1/00. Способ предпосевного стимулирования жизнеспособности и продуктивности семян сельскохозяйственных культур / Филиппов А. К., Битюцкий Н. П., Федоров М. А.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский Государственный университет; Общество с ограниченной ответственностью "Плазмас". – № 95111570/13; заявл. 05.07.1995; опубл. 10.04.1997.
118. Пат. 2134501 Российская федерация, А01С1/00. Установка для предпосевной обработки семян / Потапенко И. А., Андрейчук В. К., Кремьянский В. Ф., Вербицкая С. В.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрн. университет. – № 97118076/13; заявл. 30.10.1997; опубл. 20.08.1999.

119. Пат.2174398 Российская федерация, А61К33/08. Способ лечения и профилактики поражений мягких тканей организма с использованием оксида азота / Кабисов Р. К., Козлов Н. П., Пекшев А. В., Перов Ю. Л., Шехтер А. Б.; заявитель и патентообладатель Кабисов Руслан Казбекович; Пекшев Александр Валерьевич; Шехтер Анатолий Борухович. – №98106256/14 заявл. 1998. 04. 02; опубл. 2001. 10. 10.
120. Пат. на винахід 84978 Україна, МПК А01С 1/00. Пристрій для обробки продукції при зберіганні / Берека О. М., Червінський Л. С., Салата М. П., Усенко С. М.; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. – № а200703860; заяв. 06.04.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.
121. Пат. на винахід 96809 Україна, МПК А 01 F 25/14. Установка для обробки насіння сільськогосподарських культур в електричному полі високої напруги / Берека О. М., Червінський Л. С., Іноземцев Г. Б., Кондратенко І. П., Божко І. В., Усенко С. М.; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № а200913877; заяв. 29.12.2009; опубл. 11.07.2011, Бюл. №13.
122. Пахомов П. Л. Зависимость диэлектрических свойств пищевых продуктов от влажности / П. Л. Пахомов, С. В. Некрутман, А. Н. Белехов // Электронная обработка материалов. – Кишинев : ИПФ, 1975. – № 1 (61). – С. 70 – 73.
123. Перегуд Е. А. Быстрые методы определения вредных веществ в воздухе / Е. А. Перегуд, М. С. Быховская, Е. В. Гернет. – М. : Химия, 1970. – 358 с.
124. Перегуд Е. А. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е. А. Перегуд, Д. О. Горелик. – М. : Химия, 1981. – 384 с.
125. Перегуд Е. А. Новые методы определения очень малых количеств озона / Е. А. Перегуд, Э. М. Степаненко // Журнал аналитической химии. – М., 1960. – Т. 15, Вып. 1. – С. 96 – 99.
126. Пересечный П. П. Обработка поверхности зерна водой / П. П. Пересечный. – М. : Изд-во технической и экономической литературы по вопросам заготовок, 1955. – 124 с.
127. Пересипкін В. Ф. Атлас хвороб польових культур / В. Ф. Пересипкін. – К. : Урожай, 1976. – 214 с.
128. 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.
129. Печерский А. С. Экспериментальные исследования эффектов действия озона на возбудителей корневой гнили злаковых культур / А. С. Печерский, Т. А. Гурова, В. П. Махнев // Современные экспресс - методы в исследовании растений и животных. – Новосибирск, 1985, – С. 3 – 7.
130. Попов В. А. Определение озона и перекисных соединений / В. А. Попов, Е. В. Печенникова // Методы определения газообразных загрязнений в

- атмосфере. Проблемы аналитической химии. – М., 1979. – Т. 6. – С. 39 – 61.
131. Потапенко И. А. Магнитная установка для предпосевной обработки семян риса / И. А. Потапенко, Г. И. Третьяков, А. Г. Прудников // Применение энергосберегающих технологий в агропромышленном комплексе. Труды КГАУ. – Краснодар, 1993. – Вып. 331 (359). – С. 25 – 29.
132. Потапенко И. А. Установка для комплексной предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур / И. А. Потапенко, В. К. Андрейчук, В. Ф. Кремянский // Повышение эффективности электрификации сельскохозяйственного производства. Труды КГАУ. – Краснодар, 1997. – Вып. 360 (388). – С. 71 – 75.
133. Применение озонных технологий в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] / Режим доступа до статті : <http://www.medozone.com.ua/ozoninfarming.php>.
134. Приходько Н. М. Активация ферментных систем растительных тканей методом озонирования / Н. М. Приходько, А. Л. Кулик, Г. Г. Рунова, С. Г. Калашников ; Междунар. науч-техн. конф. "Биотех – 95" : Тез. докл. – Днепропетровск, 1995. – С. 40 – 41.
135. Пугин А. М. Многоконтурные системы управления микроклиматическими и технологическими процессами с применением озонирования / А. М. Пугин // Монография. Деп. В ВИНТИ. 13.0598 № 1446-В98. УГАТУ. – Уфа, 1998. – 160 с.
136. Разработать концепцию ресурсосберегающей технологии защиты зерна и зернопродуктов при хранении от насекомых – вредителей хлебных запасов: Отчет / ГНУ ВНИИЗ; Рук. работы Г. А. Закладной. –Задание РАСХН 01.03. – М., 2000. – 56 с.
137. Разработка способов обеззараживания и обезвреживания сырья и комбикормов с применением озона : Отчет / Латв. Фил. ВНИИКП. – 1981.
138. Разумовский С. Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С. Д. Разумовский, Г. Е. Заиков. – М. : «Наука», 1974. – 322 с.
139. Романенко Н. Д. Разработка экологически безопасного способа обеззараживания камер плодоовощехранилищ перед закладкой на зимнее хранение плодов и овощей / Н. Д. Романенко, Б. В. Буров. // Ассоциативные паразитарные болезни, проблемы экологии терапии, 1995. – С. 144 – 146.
140. Румянцев П. Д. Біологія шкідників хлібних запасів / П. Д. Румянцев. – М. : Хлібоіздат, 1959.
141. Савельев В. А. Способы повышения качества посевного материала и методы его оценки [Использование физических факторов на примере зерновых культур] / В.А. Савельев // Кург. гос. с.-х. акад. им. Т. С. Мальцева. – Курган, 1995. – 170 с.
142. Самойлович В. Г. Физическая химия барьерного разряда / Самойлович В. Г., Гибалов В. И., Козлов К. В. – М.:МГУ, 1989. – 175 с.

143. Сенин П. В. Влияние обработки водозерновой смеси озоном на скорость замачивания при производстве пивоваренного солода / П. В. Сенин, С. Н. Додонов // Наука и инновации в Республике Мордовия. (Материалы III респ. науч.-практ. конф.). – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – С. 297 – 300.
144. Сибельдина Л. Озонатор для обработки зерна и комбикормов / Л. Сибельдина, В. Левицкий, С. Рыжов // Комбикормовая промышленность. – 1995. – № 5. – С.26 – 27.
145. Сибельдина Л. Портативный малогабаритный озонатор ОШ-М / Л. Сибельдина, В. Левицкий, С. Рыжов. – Сельский механизатор, 1995. – № 11. – С. 19 – 20.
146. Сканава Г. И. Физика диэлектриков (область сильных полей) / Г. И. Сканава – М.: Изд-во «Физико–математической литературы», 1958. – 907 с.
147. Сканава Г. И. Физика диэлектриков (область слабых полей) / Г. И. Сканава – М.-Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. – 500 с.
148. Соу С. Гидродинамика многофазных систем / С. Соу. – М. : Мир, 1971. – 536 с.
149. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов / Б. М. Тареев. – М. : „Энергия”, 1973. – 328 с.
150. Ткачук Н. Г. Влияние электрического тока на рост и ферментативную активность микроорганизмов активного ила / Н. Г. Ткачук // Электронная обработка материалов. – Кишинев : ИПФ, 1978. – № 4 (72). – С. 78 – 79.
151. Ткачук Н. Г. Стимулирующее действие электрического тока на развитие культуры BACTERIU AGILE / Н. Г. Ткачук // Электронная обработка материалов. – Кишинев : ИПФ, 1976. – № 1 (67). – С. 60 – 62.
152. Троцкая Т. П. Энергосберегающие технологии сушки с.-х. материалов в озono-воздушной бреде. / Т. П. Троцкая. – Минск : БелНИИИИИМСХ, 1997. – 75 с.
153. Тютерев С. Л. Совершенствование химического метода защиты сельскохозяйственных культур от семенной и почвенной инфекции / С. Л. Тютерев. – Санкт-Петербург, 2000. – 251с.
154. Управление проектами / Ильин Н. И., Лукманова И. Г., Немчин А. М. и др.] – М., 1996. – 610 с.
155. Устойчивость озимой пшеницы и тритикале к твердой головне (*Tilletia caries* (DC) TUL.) / И. Б. Аблова, Л. А. Беспалова, Ф. А. Колесников, Г. Д. Набоков // Эволюция научных технологий в растениеводстве. Сборник научных трудов в честь 90-летия со дня образования Краснодарского НИИСХ им. П.П.Лукьяненко. – т.1 Пшеница. – Краснодар, 2004. – С. 336 – 345.
156. Филиппов Р. Л. Анализ существующих методов дезинсекции зерна и других сыпучих материалов / Р. Л. Филиппов // Электротехнология

- процессов в сельскохозяйственном производстве. Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1975. – Вып. 99. – С. 108 – 113.
157. Хранение зерна и зерновых продуктов. – М. : Колос, 1978. – 472с.
158. Хранение семян // Будущее науки. Международный ежегодник. – М. : Знание, 1982. – Вып. 15. – С.212 – 216.
159. Шевелуха В. С. Рекомендации по борьбе с фузариозом пшеницы и других зерновых колосовых культур, использованию пораженного зерна и определению содержания в нем микотоксинов. / В. С. Шевелуха, К. В. Новожилов, С. Ф.Сидорова. – М., 1988. – 52 с.
160. Шестерин И. В. Влияние озона и протравителей на посевные качества и оздоровление яровой пшеницы: дис. канд. с.-х. наук: 06.01.05, 06.01.11 / И. В. Шестерин. – М., 2005. – 150 с.
161. Шмигель В. Н. Определение напряженности поля внутри зернового слоя / В. Н. Шмигель, В. Г. Рахманин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – М., 1966. – № 2. – С. 30 – 32.
162. Шмигель В. Н. К очистке поверхности семян пшеницы от пыли в электростатическом поле / В. Н. Шмигель, Е. М. Наумов, П. С. Плюхин // Электротехнология в сельском хозяйстве. Труды. – Челябинск : ЧИМЭСХ, 1974. – Вып. 75. – С. 129 – 134.
163. Шмигель В. Н. Применение электростатического поля для очистки поверхности зерна от вегетативных клеток, спор бактерий и грибов / В. Н. Шмигель, А. Д. Евтушенко, В. Г. Рахманин, Л. Я. Эберт // Электротехнология процессов в сельскохозяйственном производстве. Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1972. – Вып. 67. – С. 135 – 140.
164. Alпов R. S. The linear oscillating elektrodrive with improved technology – ecological indictz / R. S. Alпов, N. A Belova, A. M. Pugin // Proceeringz of international scientific-technical conference on Unconventional Electromechanical and Electrotechnical Systems. – Szczecin, 1995. – P. 35 – 40.
165. Anderson J. A. Evaluation of malting barley / J. A. Anderson, L. E. Hudson ; In: Barley and malt, A.H. Cook, ed. Academic Press, New York and London. – 1962. – P. 207 – 302.
166. Bakke A. L. The relation of moisture to respiration and heating in stored oats. Iowa Res.Bull / A. L. Bakke, N. L. Noecker. – 1953. – P. 320 – 336.
167. 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.
168. 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.
169. Bressman E. N. Effect of bunt on Height of wheat plants / E. N Bressman. – Phytopath. – 1932. – v. 22. – № 3. – P. 259 – 262.

170. Chiam L. Effect of ozone end storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.) / L. Chiam Liew and K. Robert Prange. – J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1994. – v. 119, n. 23, – P. 563 – 567.
171. Encyclopedia of Environmental Science and Engineering. – Vol. 1: A-E / Ed. Pfafflin J.R., Ziegler E.N.-New York e.a. : Gordon and Breach Sci. Publ., 1983. – 404 p.
172. Erdman H. E. Ozone toxicity during ontogeny of two species of flour beetles, *Tribolium confusum* and *T. castaneum* / H. E. Erdman. – Environ. Entomol., 1980. – v. 9, n. 1. – P. 16 – 17.
173. Handbook of Ozone Technology and Applications / Rice Eds. R.G., Netzer A. Michigan : Ann Arbor Sci. Publ., 1982. – V. 1. 386 p. : 1984. – V. 2. – 385 p.
174. Heuzer C. Zur Ozonerzeugung in elektrischen gasentladungen, Diss. Aachen Technische Hochschule / C. Heuzer. – 1985.
175. Hideo Vaeba, Yujitakamoto, Minoru Kamimura and Toshiyuki Miura. Destruction and detoxification of aflatoxins with ozone. – J. food Sci., 1988, – v. 53, n. 2, – p. 667 – 671.
176. James J. Karlins and Richard G. Klark, Rectipt Ozone by crown discharge, Union Carbide, Tochoyanda, st. New-York, 1990. – p. 2 – 47.
177. 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.
178. Klumpp A. H. Effects of realistic ozone concentrations on the sex pheromone of the green oak tortrix (*Tortrix viridana* L.) / A.H. Klumpp and others. – Giessen, 2000. – v. 12, n. (1–6). – P. 67 – 70.
179. Liew Ch. L. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.) / Ch. L. Liew, R. K. Prange. – J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1994. – v. 119, n. 3. – P. 563 – 567.
180. Mason L. T. Efficacy of ozone to control insects, molds and mycotoxins / L. T. Mason, C. P. Woloshuk, D. E. Maier. – Proc. Intern. Conf. on CAF. Nicosia, Cyprus, 1996. – P. 665 – 670.
181. Masschelein W. J. L'optimalisation de la capacite de production d; ozone dans le traitement des eaux / W. J. Masschelein // Techniques & Sciences municipales. – 1977. – V. 72. – № 5. – P. 177 – 195.
182. McKezie K. S. Aflatoxicosis in turkey poults is prevented by treatment of naturally contaminated corn with ozone generated by electrolysis / K. S. McKezie, L. F. Kubena, A. J. Denvir and others. – Poultry Sci., 1998. – v. 77, n. 8. – P. 1094 – 1102.
183. Pomares F. Respuesta del hinojo en cultivo ecologico / F. Pomares, C. Baixauli, J. M. Aguilar, R. Canet // Agr. Vergel. – 2000. – An 19. – № 225. – P. 5 – 6.
184. Pugin A. M. Elaboration of ozonization systems for rendering harmless multiparametrik technological processes with regard for disturbing effects (on the example of poultry breeding technological processes) / A. M. Pugin,

- V.N. Golovanov // International conference of the european-african-australasian group in conjunction with ecwatech. – M. : Russia, 1998. – P. 467 – 483.
185. Reddy D. B. Determination of sex in adult rice and granary weevil (Coleoptera : Curculionidae) / D. B. Reddy. – Panpacif. Ent., 1951. – v. 27. – P. 13 – 16.
186. Rice R. G. Review of the Applications of Ozone for Sucreasing Storage Times of Perichable Foods / R. G. Rice, T. M. Farfechar, I. T. Bollyky // Ozone : Science and Engineering. – 1982. – V. 4. – № 3. – p. 147 – 163.
187. Rige R. G. Analytical Aspects of Ozone. Treatment of water and Wasterwater / R. G. Rige, L. I. Bollyky, W. I. Lacy. – Chelcea, Michigan : Lewis, 1986. – 413 p.
188. Rodenhiser H. A. Stunting of wheat caused by *Tilletia levis* and *Tilletia tritici* / H. A. Rodenhiser – Jour. Agric. Res. – 1934. – v. 43. – № 5.– P. 465 – 468.