

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Новіков Геннадій Володимирович

УДК 681.5

ОБґРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ
АЕРОЗОЛЬНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник: доктор технічних наук
професор
Діордієв В.Т.

Мелітополь – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	14
1.1 Стан та перспективи впровадження аерозолів у рослинництві.....	14
1.1.1 Аналіз методів передпосівної обробки насіннєвого матеріалу.....	20
1.1.2 Аерозольний метод захисту рослин	21
1.2 Аналіз методів інтенсифікації осадження аерозолів	22
1.3 Аналіз конструктивних рішень протруйників насіння зернових	25
1.4 Технічні засоби отримання електроаерозолів.....	27
1.4.1 Способи отримання електроаерозолів	27
1.4.1.1 Способи диспергування рідини	28
1.4.1.2 Способи зарядження аерозолу	31
1.4.2 Технічні засоби отримання електроаерозолів.....	34
Висновки.....	37
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛЮ НА НАСІННЄВИЙ МАТЕРІАЛ.....	38
2.1 Фізичні основи моделювання обробки зернового матеріалу у хмарі електризованого аерозолу	38
2.2 Створення та руйнування електроаерозолів у робочій камері	54
2.2.1 Фізичні процеси в електроаерозолях	57
2.2.2 Осадження електроаерозолу на поверхнях	60
2.2.3 Джерела високовольтної напруги.....	61
2.3 Математичні основи моделювання обробки зернового матеріалу у хмарі електризованого аерозолу	65
Висновки.....	74
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ АЕРОЗОЛЬНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ	75

3.1 Методика експерименту	75
3.2 Обґрунтування розміру сканованого зображення.....	78
3.3 Достовірність експериментальних даних.....	78
3.4 Аналіз впливу параметрів обробки на якість обробки	83
Висновки.....	96
РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО	
КОМПЛЕКСУ АЕРОЗОЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА	97
4.1 Електротехнологічний комплекс передпосівної обробки зернових з використанням електроаерозолів.....	97
4.2 Електротехнологічний комплекс передпосівної обробки насіння зернових на основі електроаерозольних технологій	100
4.3 Розрахунок джерела високовольтної напруги	105
4.4 Дослідження стійкості і якості роботи автоматизованого електротехнологічного комплексу аерозольної обробки зерна	112
Висновки.....	117
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	
ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛІВ ПРИ ОБРОБЦІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ.....	118
Висновки.....	122
Висновки	123
Література	125
Додаток А Документи з охорони інтелектуальної власності	140
Додаток Б Акти впровадження	145
Додаток В Устаткування для протруювання зернових	150
Додаток Г Генератори аерозолію	158
Додаток Д Високовольтні джерела живлення.....	164
Додаток Е Генераторів електроаерозолію	168
Додаток Ж Експериментальні дані.....	171
Додаток З Результати лабораторних випробувань	184

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НВЧ – надвисока частота

ЕТК – Електротехнологічний комплекс

АСУ – автоматизована система управління

ТП – технологічний процес

УМО - ультра-малооб'ємне обприскування

ДВЕ - джерела вторинного електроживлення

ВСТУП

Актуальність теми. Аналіз розвитку виробництва зернових показує, що одним з визначальних факторів стабілізації його ефективності залишається висока технологічна дисципліна. При цьому недосконалість технологій і технічних засобів хімічного захисту рослин від шкідників і хвороб, а також недотримання інших агротехнічних і технологічних вимог, призводять до надлишкового вмісту пестицидів у ґрунті, забруднення водоймищ і ґрунтових вод, пригнічення життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, знищенню корисної мікрофлори. Одним з шляхів поліпшення даної ситуації є покращення передпосівної обробки насіння зернових.

Зернові культури є однією з найбільших і найважливіших груп сільськогосподарських культур, які за площею займають близько половини орних земель України. Проте отримання високих і якісних врожаїв цих культур залежить від застосування оптимальних систем захисту рослин від шкідливих організмів. І першим найважливішим етапом цього процесу є протруєння насіння. Останнім часом спостерігається погіршення фітосанітарного стану посівів внаслідок порушення сівозмін, неправильного вибору попередників, погіршення якості обробітку ґрунтів та недотримання схем захисту. Крім того, в останні десятиріччя відбулись суттєві зміни клімату, що в комплексі з трансформацією в агроценозах, призвело до значного переформатування фітопатогенних та ентомологічних комплексів зернових культур [1].

У сучасному сільському господарстві високоякісний насіннєвий матеріал має першочергове значення як засіб виробництва. Високоякісне насіння є однією з умов одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур. Однак, навіть сформоване здорове насіння не завжди має високі посівні властивості, оскільки насіння багате на поживні речовини і є добрим субстратом для розвитку й збереження фітопатогенних мікроорганізмів. Через насіння може поширюватись багато хвороб, що знижують урожай та погіршують його якість. Крім паразитичних мікроорганізмів, на насінинах зберігаються й

розвиваються сапротрофні (цвілеві) мікроорганізми, які можуть викликати пліснявіння й загибель насіння та проростків. Одним із способів знешкодження збудників хвороб, захисту насіння від пліснявіння, зниження ураження кореневими гнилями є протруювання насіння [2]. Пов'язано це з тим, що активна фаза життєдіяльності рослин починається із проростання насіння, тому першим етапом у технології вирощування сільськогосподарських культур є заходи, спрямовані на підвищення життєздатності та польової схожості насіння. Це є обробка насіння інсектицидними та фунгіцидними протруйниками для попередження хвороб і боротьби із шкідниками [3].

Сьогодні значної шкоди посівам озимих зернових завдають збудники гельмінтоспоріозної та фузаріозної кореневої гнилі, альтернаріозу, твердої та летючої сажок, снігової плісняви, плямистості. Тому саме підготовці посівного матеріалу необхідно приділяти особливу увагу [1].

Основним методом боротьби з грибовими та бактеріальними інфекціями зерна та насіння сільськогосподарських культур залишається хімічне протруювання. Необхідність використання отрутохімікатів обумовлена тим, що без них фітопатогенні інфекції у насіннєвому зерні призводять до погіршення посівних якостей, гальмуванню росту та розвитку рослин, зниженню врожаю [4].

В умовах глобалізації на рослинництво очікує нова біда – базальний бактеріоз, який вимагає протруювання насіння, яке було отримано в іноземних фірмах. Деградація активного гумусу ґрунтів призвела до того, що тепер, будь-яка інфекція, внесена з імпортом насінням, не пригнічуються власними ослабленими мікробними аборигенними колоніями [5].

Понад 60% видів фітопатогенів передаються через насіння. Посів зараженим насінням призводить до передачі хвороб на вегетуючі рослини і тим самим створює та підтримує розвиток інфекції у полі [6].

За даними ВОЗ, зараженість мікотоксинами зернових культур сягає 25% від усієї сировини, яка закладається на зберігання [4].

Зараження насіннєвого матеріалу патогенною мікрофлорою відбува-

ється в різний час: в період вегетації; при збиранні врожаю (особливо в умовах підвищеної вологості) під час обмолоту або при післязбиральній доробці; в період зберігання внаслідок порушення його режимів, а також при закладці на зберігання насіння з підвищеною вологістю [6].

Передпосівна обробка насіння мікроелементами є дуже ефективним і економним способом їх використання, що підвищує енергію їх проростання, польову схожість, стійкість до хвороб і несприятливих погодних умов [3]. Використання протруйників, при умові дотримання умов висіву культури, є одним з вирішальних факторів отримання здорових посівів та високих врожаїв [7].

Принципово іншим механізмом знезараження володіють електрофізичні методи. Опромінення електромагнітними хвилями надвисокої частоти призводить до деяким внутрішнім змінам на рівні кліткових структур, яке носить не тепловий характер, але, тим не менш має суттєвий вплив на життєдіяльність біоорганізмів [4].

Електронний спосіб обробки насіння – альтернатива передпосівної обробки насіння за допомогою хімічних препаратів. Досліди показують, що фізичний спосіб контролю насіннєвої інфекції ефективний як і хімічний. Це перш за все справедливо лише по відношенню до твердої головні на пшениці та жита. Однак він є недостатньо дієвим контролю пильної головні та ґрунтових інфекцій [7].

Слід підкреслити, переваги електротехнології: можливість використання, як у передпосівних, так і в післязбиральних операціях, екологічна чистота, відсутність адаптивного механізму у мікроорганізмів, підвищення врожайності, сушіння зернового матеріалу. У той же час, хімічне протруювання забезпечує більш повне знешкодження від паразитної мікрофлори [4]. На практиці зустрічається глибоке бактеріальне та грибкове зараження насіннєвого матеріалу, яке перевищує 50%. При використанні електротехнологій рекомендується хімічне протруювання слабкими розчинами фунгіцидів [8].

Використання додаткового технологічного обладнання магнітної очис-

тки, обумовлене тим, що потрапляння у потужне електромагнітне поле дрібних або одиничних крупних металевих часток призводить до інтенсивного нагріву, у зв'язку з чим можливі позаштатні ситуації, які пов'язані з запалюванням насіннєвого матеріалу або його зпінанням у робочій камері [8].

У зв'язку з цим залишається актуальною вимога до обов'язково проведення хімічної передпосівної обробки насіння з метою захисту від хвороб і шкідників фунгіцидами й інсектицидами, дозволеними до використання в Україні [9]. Ефективним є також сумісне застосування регуляторів росту і мікроелементів, які, крім стимулюючої дії, дають можливість зменшити дози застосування пестицидів [9].

Сьогодні все більше поширення набуває протруювання насіння препаратами на лише фунгіцидної, а й інсектицидної дії [10]

Втрати врожаю зернових культур внаслідок негативної дії численних патогенів (збудники твердої та летючої сажки, гелмінтоспоріозної і фузаріозної кореневих гнилей, пліснявіння насіння) можуть сягати 15-30%, а за умови розвитку епітафій – до 50%. Внаслідок фузаріозного ураження знижується схожість насіння, вага 1000 зерен і кількість зерен у колосі [2].

Не менш важливу роль в інтенсифікації виробництва зерна відіграє захист рослин від шкідників, які у різні періоди вегетації пошкоджують висіяне насіння, сходи, надземну масу, кореневу систему, а також дозріваюче насіння. При пошкодженні шкідниками зерна на рівні 15-20%, переважна його кількість втрачає схожість повністю, а деякі проростки, хоч і формуються, але гинуть до виходу на поверхню ґрунту [2]. У контексті сказаного вище, слід розглянути симбіоз використання сучасних препаратів стимулювання й захисту насінного матеріалу та сучасних електротехнологій.

Питаннями удосконалення технологічного процесу передпосівного обробітку займалися Балянг Цю, Борисова С. М., Войтюк Д. Г., Герасимчук Ю. В., Дунський В. Ф., Кан Хі, Кирпа М. Я., Ковбаса В. П., Кравчук В. І., Маслов Г. Г., Мойсеєнко В. К., Пахомов А. І., Ратушний В. В., Судденко В. В., Тимошенко С.П. та ін. (обґрунтування конструктивно-технологічних

параметрів, зниження енергоємності процесу та металоємності устаткування, покращення якісних показників та ін.). Наукове обґрунтування та впровадження електротехнологій у процеси передпосівного обробітку насіння зернових в сучасних умовах зробили Іноземцев Г. Б., Косуліна Н. Г., Лисиченко М. Л., Савченко В. В., Сидорук Ю. К., Синявський О. Ю., Черенков О. Д. та ін., які акцентували увагу на перспективності синтезу даного методу з іншими способами підвищення врожайності на етапі підготовки насіннєвого матеріалу. Питання використання аерозолів робочих розчинів та електротехнологій у сільському господарстві досліджували: Бородін І. Ф., Волков С. І., Глотов Є. О., Діордієв В. Т., Кітаєв А. В., Лекомцев П. Л., Нікітін С. П., Петровський О. М., Савушкін А.В. та ін. (рослинництво закритого та відкритого ґрунту, знезараження тваринницьких приміщень та складів зберігання продукції сільського господарства та ін.). Але у відомих роботах поверхнево відображена можливість обробки аерозолями насіннєвого матеріалу у потокових лініях.

Для передпосівного обробітку насіння зернових зростає актуальність двох проблем: вибір принципових схем засобів хімічного захисту рослин та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи електротехнологічного комплексу аерозольної обробки насіння зернових.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до науково-технічної програми Таврійського державного агротехнологічного університету на 2016-2020 роки «Автоматизація електротехнічних систем в АПК» (№ ДР 0116U002728): «Обґрунтування параметрів та режимів роботи передпосівної обробки зерна у хмарі електроаерозолі».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення якості передпосівної обробки насіння зернових за допомогою протруйників хімічними розчинами в умовах господарств шляхом обробки електризованого насіння у хмарі електроаерозолі.

Досягнення поставленої мети реалізується через формулювання та

розв'язання наступних задач теоретичних та експериментальних досліджень:

- аналіз технологічного обладнання для протруювання насіннєвого матеріалу зернових;
- аналіз критеріїв оцінки передпосівного протруювання насіння зернових;
- вивчення фізичних процесів, які відбуваються при електризації аерозолі розчинів робочих рідин та насіння зернових;
- обґрунтування математичного апарату взаємодії насіннєвого матеріалу та хмари електризованого аерозолі;
- обґрунтування технологічних параметрів та режимів роботи електротехнологічного комплексу передпосівної обробки насіння зернових у хмарі електризованого аерозолі;
- обґрунтування критерію оцінки якості роботи протруйника;
- експериментальне дослідження та виробниче випробування запропонованого електротехнологічного комплексу;
- формалізація системи автоматичного керування ;
- визначення техніко-економічних показників впровадження електротехнологічного комплексу передпосівної обробки насіння зернових у хмарі електризованого аерозолі.

Об'єкт дослідження – технологічний процес передпосівної обробки насіння зернових робочим розчином у протруйниках.

Предмет дослідження – взаємозв'язки та закономірності функціонування електротехнологічного комплексу аерозольної обробки насіння зернових та їх вплив на якість протруювання, ресурсозбереження і врожайність.

Методи дослідження. Для аналізу технологічного обладнання для протруювання насіннєвого матеріалу зернових та критеріїв оцінки якості протруювання, були використані інструменти системного аналізу (аналіз теоретичної інформації про технологію передпосівної обробки; аналіз режимів роботи діючих технологічних машин, їх переваги та недоліки; оцінка критеріїв

якості та їх визначення; аналіз фізичних процесів, які протікають при створенні електрично зарядженого аерозолі та потоку насіння зернових; обґрунтування критерію оцінки якості роботи протруйника), математичного моделювання (для обґрунтування технології, технологічних та конструктивних параметрів електротехнологічного комплексу), положення теорії автоматичного керування (для формалізації системи автоматичного керування) та експериментальний метод дослідження. Експериментальна перевірка теоретичних положень проводилась на лабораторному стенді та у виробничих умовах. Отримані теоретичні дані оброблялись відомими статистичними методами. Обробка результатів досліджень здійснювалась з використанням офісного пакету Microsoft Excel, Scilab та програмного забезпечення власної розробки.

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше:

- науково-обґрунтовано концепцію функціонування електротехнологічних комплексів передпосівної обробки насіння зернових, котра, на відміну від існуючих, забезпечує протруювання насіннєвого матеріалу робочими розчинами, передбачає інкрустацію насіння зернових у хмарі аерозолі;
- реалізовано взаємодію електризованих різнополярних зарядів аерозолі і зерна та отримані закономірності їх взаємодії, що на відміну від відомих результатів досліджень, враховує електричні сили, які виникають внаслідок заряду аерозолі та зерна пшениці;
- запропоновано критерій апаратної оцінки рівномірності укриття робочим розчином насіння зерна пшениці та його витрати, що на відміну від відомих методів, дозволяє автоматизувати налаштування роботи протруйника і тому покладено в основу оцінки і вибору алгоритму керування запропонованим електротехнологічним комплексом;
- на основі використання математичного апарату дискретних Марківських процесів, проаналізована ймовірнісна модель двостороннього аналізу варіантів реалізації технологічного процесу обробки зернових аерозолями хімічних розчинів у вигляді матриці стійкого стану системи, що на відміну

від існуючих систем, дозволило узгодити конструктивно-технологічні параметри та режими подачі компонентів;

отримало подальший розвиток:

- теорія автоматичного керування динамічною системою протруювання насіння зернових, яка, на відміну від традиційної, дає змогу реалізувати стратегію керування електротехнологічним комплексом, що забезпечує досягнення максимального ефекту покриття зарядженого насіння у хмарі електроаерозолі при значній економії робочого розчину;

- техніка високих напруг, яка, на відміну від відомих результатів досліджень використання електроаерозолі, дозволила обґрунтувати параметри блоку живлення для створення знакополярних характеристик зарядів зерна та аерозолі.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблена методика апаратної оцінки якості роботи оприскувача (рівномірності покриття насіння зернових робочим розчином), що може бути використана для оперативного налаштування протруйника;

- розроблений електротехнологічний комплекс, що дозволяє знизити витрати робочого розчину та здійснювати протруювання у режимі ультра-малооб'ємного обприскування;

- результати досліджень впроваджені і пройшли виробничу перевірку у ПП «АСКОН» (Запорізька обл., с.м.т. Якимівка);

- проект технічного рішення щодо удосконаленої технологічної схеми та режимів роботи пристрою обробки заряджених високою напругою протилежної полярності насіння зернових та аерозолі переданий ДП «Гуляйпільський механічний завод» ВАТ «Мотор-Січ» з метою їх використання при розробці нових пристроїв для знезараження насіння.

Особистий внесок здобувача. Результати, які складають основний зміст дисертації, автором отримано самостійно. В опублікованих роботах, виконаних у співавторстві, здобувачеві належать такі ідеї і розробки: проаналізовано технологічне обладнання для протруювання насіннєвого матеріалу

зернових [11, 12, 13]; виявлені їх недоліки та запропоновано конструкції технологічного комплексу з мінімальним пошкодженням насіннєвого матеріалу [14, 15, 16]; запропоновано критерій роботи протруйника [17, 18]; розроблено методику дослідження впливу електричного заряду на ефективність та якість обробки матеріалу [19]; одержано математичні моделі флуктуацій змін якості протруювання насіння зернових та виконана оцінка їх адекватності [20, 21].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, що включені до дисертації, представлено і схвалено на науково-технічних конференціях різного рівня: науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу аспірантів і співробітників ТДАТУ (м. Мелітополь, 2015-2016 р.); Міжнародні науково-практичні конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2015 р.), «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК» та «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України» (ТДАТУ, м. Мелітополь, 2015 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта)» (НУБіП, м. Київ, 2016 р.)

Публікації. Основні положення та результати дисертації опубліковані в повному обсязі в 12 наукових працях, з яких 6 статей - у фахових друкованих виданнях, 1 - у фаховому електронному збірнику (входять до науково-метричних баз даних Google Scholar, РІНЦ), одержано 2 патенти на корисну модель (№102525, № 112265) та позитивне рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель від 22.09.2016 за заявкою №u 2016 08876 від 31.05.2016, а також 3 публікації (тези докладів) у збірниках праць наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, переліку умовних позначень, 5 основних розділів, додатків, списку використаних джерел (143 найменувань). Загальний обсяг роботи становить 185 сторінок, з яких 130 сторінки основного тексту, 23 рисунки та 14 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

1.1 Стан та перспективи впровадження аерозолів у рослинництві

Ефективність протруювання посівного матеріалу була науково доведена близько 300 років тому. Але промислових масштабів ця операція досягла у зв'язку з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва (рис. 1.1). Ще не так давно обробка насіння хімічними препаратами була необхідна для боротьби з кореневими гнилями, сажкою, сніговою пліснявою, септоріозом, борошнистою росою [22, 23]. Сьогодні за допомогою протруювання успішно борються зі збудниками ранніх листових плямистостей, на насіння наносять суміші пестицидів різних груп, фунгіцидів і інокуляти (для більш точного, а, отже, і економічно ефективного сівби). Існують протруйники насіння, що містять в своєму складі регулятори росту, мікроелементи, гумінові кислоти. Близько 80% ринку препаратів для протруювання доводиться на фунгіциди.

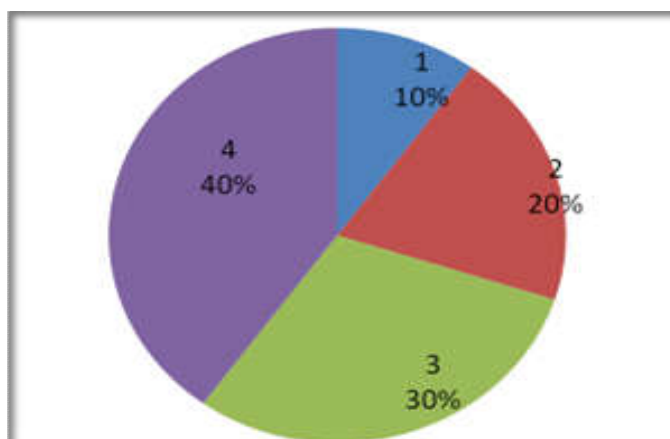


Рис. 1.1. Вплив різних етапів хімічного захисту озимої пшениці від хвороб на збереження врожаю (2006-2010 роки): 1 – оприскування проти снігової плісняви восени; 2 – протруювання насіння проти кореневої гнилі; 3 – оприскування проти хвороб колоса у літку; 4 оприскування проти листових плямистостей у літку.

Добрива для передпосівної обробки насіння позитивно впливають на ростові та біохімічні процеси молодих проростків озимих зернових культур – пшениці, ячменю, жита та тритикале і забезпечують [24, 25, 26]:

- підвищення на 8-10% польової схожості насіння та на 3-5% - їх енергії проростання;
- отримання дружніх сходів, швидкий ріст і розвиток культур на ранніх фазах їх органогенезу, утворення більшої площі листової поверхні;
- зниження ураження сходів кореневими гнилями, підвищення стійкості культур до хвороб;
- раннє проростання культур на весні та більш активне поглинання ними елементів живлення;
- отримання істотних приростів урожайності зернових колосових культур, не менше ніж на 1-3 ц/га;
- отримання високої окупності добрив, де на 1 вкладену гривню отримується прибуток не менше ніж 8-10 гривень.

Рівномірність розподілу препарату у більшій мірі залежить від виду насіння (крупні, дрібні, гладкі, шорсткі), від температури у зоні роботи протруйника, від в'язкості препарату та можливих інших факторів. Це, у свою чергу, вимагає до необхідності регулювання часу взаємного розподілу насінням нанесеного препарату [27].

Така увага до рівномірності покриття насіння викликана тим, що діючої речовини у препараті, як правило, набагато менше ніж води, але якщо доля рідкого препарату менша за 1,5% від ваги насіння, то перезволожене насіння потребує його досушування до рівноважної вологості. Все частіше ставиться задача забезпечити рівномірне покриття насіння препаратом, доля якого не більше 1% від ваги насіння. На жаль це не завжди вдається з-за [27]:

- препарат має високу в'язкість, і вимагає збільшення частки води для отримання необхідної консистенції;
- захисна оболонка деяких культур швидко поглинає препарат, і рівномірність його розподілу погіршується при взаємному контакті насіння.

До якості виконання операцій внесення хімічних препаратів та технічних засобів для їх реалізації висувається ряд вимог, основні з яких агротехнологічні – точність дозування препарату, рівномірність розподілу його по оброблюваній поверхні, дисперсність розпилювання та ступінь осаджування крапель і проникнення препарату в масив рослин [28]. Недостатньо суворе дотримання вимог до вибору препарату, а також неякісне нанесення, тягне за собою зниження ефективності обробки, через це все частіше спостерігається поява сажкових захворювань посівів, а результати досліджень наукових лабораторій (табл. 1.1) у свою чергу свідчать про те, що часто сільгоспвиробники допускають ряд помилок при проведенні передпосівної обробки насіння.

Таблиця 1.1

Поширені відхилення від норми витрати препарату
при проведенні обробки насіння.

Показник	Кількість партій	
	шт.	%
Проаналізовано всього	142	
Порушення технології протруювання	100	70
Перевищення норм витрати протруйника на 20 та більше %	22	15
Зниження норм витрати протруйника на 20 та більше %	60	42
Не підтверджено наявності заявленої витрати	18	13

Ефективність препарату безпосередньо залежить від дотримання рекомендованого дозування. При його зменшенні має місце зниження ефективності продукту, а перевитрата протруйника може негативно позначитися на схожості насіння і, як наслідок, на собівартості продукції. Дуже важливо, щоб техніка, що здійснює обробку насіння, була точно відкалібрована.

При плануванні обробки насіння слід враховувати наступне [25, 28, 29]:

- мета обробки (від яких хвороб і шкідників планується захистити);
- якість зерна повинна відповідати стандартам, які дозволяють викорис-

товувати зерно на насіннєві цілі [30, 31]. Зерно повинно бути очищеним, каліброваним, мати високу енергію проростання і схожість (не нижче 87%). Якщо вологість перевищує 16%, то це призводить до нерівномірного нанесення препарату;

- регламенти застосування, санітарні вимоги і характеристики обраного препарату. До протравленого зерна пред'являються такі ж вимоги безпеки, як і до препарату, що використовується для його обробки [32, 33];

- наявність персоналу, який здатний налаштовувати обладнання для обробки насіння, а також в його справності і чистоті.

Особливу увагу слід приділяти питанням травмування насіння, яке не тільки знижує урожай, а й різко погіршує його якість. Механічні пошкодження різко збільшуються при обмолоті дуже сухого або вологого насіння. Наприклад, при вологості 10% та нижче, пошкодження підсилюється за рахунок дроблення, при вологості 25% і вище – за рахунок деформації і мікротравм [34]. При нестачі ґрунтової вологи схожість непошкодженого насіння становила 60 %, а пошкодженого 16 % [35]. Протруюванні лабораторна схожість насіння може знижуватись на 10% та більше [4].

Якщо враховувати загальні міркування, що 1 % травмованості зародку зернівки знижує схожість на 1 %[36, 37], під час протруєння, травмується ще в межах 3...4 % зернівок, а будь-яке переміщення, завантаження чи розвантаження додає ще 1...2 % травмувань, що збільшує можливість зниження якості насіння, а відповідно лабораторної та польової схожості [36], стає зрозуміло що необхідно обирати такі технологічні машини, які мають мінімальну кількість операцій, які пошкоджують зернівку.

Відповідність вимогам Європейських норм і близьких до них вимог стандарту ВВА [38, 39, 40, 41, 42] є необхідною умовою для оптимального і цільового використання засобів захисту рослин. До сучасних технічних засобів протруювання висуваються наступні вимоги [28]:

- точне дозування кількості внесеного препарату;
- забезпечення рівномірного розподілу по поверхні обробки;

- проникнення робочого розчину в посів або крону (пенітрація);
- досягнення високого або достатнього ступеня осадження краплин.

Кількісне осадження препарату на насіння (відсоток нанесеного препарату на насіння) - це кількість препарату, яка фактично була нанесена на насіння при проведенні обробки [43]. Цей критерій залежить від протруювальної машини, а саме – від типу машини (додаток В):

- машини поточного типу;
- машини порційного типу;.

Машини поточного типу характеризуються більш високою продуктивністю, але меншою рівномірністю нанесення препарату на насіння.

Мінімальна ступінь протруювання може становити 85%, однак при оптимальних налаштуваннях, вона може збільшитися до 90-95% (табл. 1.2) [44].

Таблиця 1.2

Максимально допустимі відхилення від заданого ступеня протруювання посівного матеріалу і їх причини

Показник	Припустимі відхилення, %
Дозировка протруйника та його розприскування	± 10
Здатність прилипати та утримуватись	± 3
Втрати діючої речовини в устаткування для протруювання	± 1
Помилки вимірювання в лабораторії	± 1
Максимальна сума відхилень	± 15

У країнах Європейського Союзу найбільш поширені машини для обробки насіння стаціонарного типу. Подача насіннєвого матеріалу в такі машини здійснюється за допомогою норій або окремих завантажувальних шнеків, заданої продуктивності [45]. Найякісніше нанесення здійснюється при продуктивності 50-60% від паспортної.

Рівномірність розподілу препарату на насінні - здатність препарату рів-

номірно розподілятися по поверхні насіння за допомогою робочої рідини.

Фактори, що впливають на рівномірність розподілу препарату [24, 25]:

- гомогенність насіння (однакова маса 1000 насінин). Насіння з різною масою мають різну площу поверхні. Чим маса менше, тим більше площа поверхні і кількість насіння при однаковій вазі. Якщо в насіннєвій партії є насіння з різною масою, то рівномірність нанесення препарату на таке насіння буде значно відрізнятися;

- витрата робочої рідини;
- продуктивність машини (т / год);

- очищення насіннєвого матеріалу. У погано очищеному матеріалі до 30% препарату осідає на щупле зерно, зернової і смітної домішки, а також пилу. Пил, в залежності від його кількості в насіннєвій партії здатний адсорбувати від 3 до 20% препарату. В середньому мінімальний вміст пилу у насіннєвій зерновій партії складає 5 г / 100 кг або 50 г / тонну насіння.

Здатність препарату утримуватися на насінні залежить від:

- його формуляції;
- кількості пилу в насіннєвій партії (якість очищення);
- наявності інших препаратів, які не мають прилипачів.

Вимоги до посівного матеріалу, який буде протруюватись [30, 31]:

- очистити насіння, довести до кондиції державних стандартів;
- переконатися, що посівний матеріал має високу енергію проростання (в разі використання щойно зібраного насіння озимих поточного року під посів), або схожість (в інших випадках) не нижче 87%;

- відкалібрувати насіння. Оптимальною є середня фракція (найбільш типові для конкретного сорту розміри і вагою насіння);

- необхідно контролювати вологість насіння, яка не повинна перевищувати 15%, оскільки більша вологість сприяє нерівномірному нанесенні робочого розчину.

Слід також пам'ятати, що в погано очищеному матеріалі до 20% протруйника осідає на щупле зерно та пил.

1.1.1 Аналіз методів передпосівної обробки насіннєвого матеріалу

Заходи захисту рослин складаються з агротехнічних, фізичних, механічних, хімічних і біологічних прийомів (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Методи захисту рослин

Агротехнічні заходи спрямовані на підвищення стійкості рослин до дії шкідливих організмів, збалансоване живлення, науково обґрунтовану сівозміну, створення нових сортів, стійких до хвороб і шкідників.

Фізичні методи (вплив електромагнітним випромінюванням різних довжин хвиль [46, 47]) не отримали широкого застосування. Це пов'язано із науковою ємністю та багатофакторністю впливу.

Перспективним напрямком захисту рослин є біологічний [48, 49]. Він передбачає використання мікробіологічних препаратів, а також феромонів та гормонів для захисту рослин від шкідливих організмів – їх природних ворогів (хижаки, паразити, антагоністи).

Перевага біопрепаратів полягає в нешкідливості для рослин, людини, теплокровних тварин, ентомофагів, бджіл та інших корисних комах, а також в можливості застосування їх спільно з ентомофагами і хімічними засобами. Недоліки полягають в складності їх виробництва, в необхідності розробки окремих препаратів для кожного виду рослин, шкідників та хвороб [50, 51].

В даний час в якості засобів захисту, найбільшого поширення набули

різноманітні хімічні препарати, головним чином, синтетичні органічні сполуки – пестициди [4, 52]. В цілому, хімічний метод є основним методом захисту рослин і залишиться таким в осяжному майбутньому. Наявний в світі асортимент пестицидів дозволяє використовувати препарати, практично безпечні для людини і корисних тварин, забезпечити відсутність залишків пестицидів в об'єктах зовнішнього середовища, продуктах харчування і харчових ланцюгах, уникнути появи резистентних форм шкідників [51].

Метод обприскування передбачає нанесення пестициду на оброблювану поверхню в крапельно-рідкому стані у вигляді розчинів, емульсій і суспензій. Залежно від норми витрат рідини процеси обприскування характеризують як високооб'ємних 400 ... 2000 л/га, середньо-об'ємне 100... 400 л/га та малооб'ємне 10 ... 100 л / га. Недоліки обприскування пов'язані з використанням громіздкою техніки, великими витратами пестицидів, сильним забрудненням навколишнього середовища.

Сучасні препарати мають малу витрату на тону насіння (Венцедор, ТН 1-1,2 л/т, Авіценна, СЕ 0,5-0,6 л/т[1], ТМ «Авангард» - 1 л/т [24], Рестлер-Тріо – 2 л/т [53]), що вимагає виготовлення великого об'єму розчину, для досягнення рівномірного нанесення на поверхню насіння.

1.1.2 Аерозольний метод захисту рослин

В даний час пестициди використовуються головним чином у вигляді аерозолів (обпилювання, обробка високодисперсними туманами і димами) [52, 54]. У 60 ... 70-х роках ХХ ст. з'явився і успішно розвивався метод ультрамалооб'ємного обприскування (УМО) нерозбавленими препаратами. Висока ефективність УМО в дослідках з різними тест-рослинами відображена в роботах [55, 56]. При цьому норма витрати рідини не перевищувала 0,5...5 л/га. Аерозольна УМО обробка за ефективністю не тільки не поступається обприскуванню з нормою витрати робочої рідини 25...500 л/га, а й у

багатьох випадках перевершує його, також дозволяє зменшити норму витрати токсичної речовини на 25 ... 50% [57].

Ряд досліджень показує, що ефективність використання інсектицидів значно посилюється при зменшенні розмірів аерозольних часток до 20 мкм [58, 59, 60]. При цьому утримання препарату на поверхнях рослин і тілах комах збільшується в 5 ... 20 разів у порівнянні з великими краплями.

Крім того витрати часу на обробку скорочуються в 3 рази при тій же ефективності [61]. При цьому рівень залишкових кількостей отрутохімікатів в рослинності та ґрунті, в зоні обробки, в сотні разів менше, ніж при обприскуванні [62]. При обробці монодисперсним аерозолем з частинками 20 ... 50 мкм, можна зменшити норму витрати токсичної речовини в 50 ... 100 разів у порівнянні з полідисперсним аерозолем [107].

Не зважаючи на широке поширення аерозольного методу, він має ряд істотних недоліків. Аерозоль, введений в приміщення, поширюється по його обсягу за рахунок дифузії і конвективних потоків повітря нерівномірно. До того ж сила тяжіння, що діє на дисперсну фазу аерозолю, викликає осадження частинок препарату лише в одному напрямку, що вимагає застосування токсичних фумігантів для знезараження вертикальних поверхонь. Частина аерозолю виноситься за межі робочої камери, забруднюючи навколишнє середовище препаратами [107].

При монодисперсному розпилюванні спостерігається знесення дрібних крапель-супутників, що забруднюють навколишнє середовище [63]. Перераховані фактори призводять до зниження якості аерозольних обробок.

1.2 Аналіз методів інтенсифікації осадження аерозолів

Щоб поліпшити якість передпосівної обробки (прилипання рідини в кроні рослини) слід інтенсифікувати осадження [107]. Розглянемо основні методи виділення крапель з повітряно-рідинного аерозолю в залежності від

дії різних силових полів і фізичних параметрів частинок стосовно до обприскування. У разі впливу на краплі декількох методів осадження одночасно, процес буде протікати більш інтенсивно.

Осідання частинок в гравітаційному полі відбувається під дією сили тяжіння і в'язкого тертя часто супроводжується коагуляцією часток і інерційним осадженням на різних предметах, наприклад, рослинах, машинах, ґрунті [69]. Завжди має місце при обприскуванні як основний механізм осадження на горизонтальних поверхнях рослин.

Оскільки гравітаційне падіння крапель може відбуватися і за межами крони в міжряддях, то це стає причиною забруднення ґрунту.

Інерційне осадження відбувається, коли маса або швидкість руху крапель великі настільки, що вони не можуть слідувати разом з повітрям по лінії потоку, що огинає перешкоди [69]. Розподіл швидкостей зазнає крапля, прагнучи за інерцією продовжити рух, стикається з перешкодою, осідаючи на ній.

Дифузійне осадження відбувається в результаті безперервного впливу на дрібні зважені частинки пестицидів ударів молекул навколишнього повітря, що знаходяться у хаотичному броунівському русі. При малооб'ємному обприскуванні краплі мають діаметр понад 50 мкм, тобто краплі занадто великі для цього виду осадження.

Використання такого явища як електропреципітація, або осадження крапель рідини під дією електричних сил, широко застосовується в обприскувачах з електростатичною зарядкою крапель. Повітряно-рідинний потік на виході з сопла обприскувача проходить крізь електростатичне поле, утворене конденсатором, отримуючи позитивний заряд «+». Об'єкт обробки покрив розглядається як негативно заряджений «-». В результаті електростатичних процесів відбувається інтенсифікація осадження крапель отрутохімікату на поверхні рослин за рахунок кулонова тяжіння [64].

Термопреципітації, або термічне осадження крапель рідини в полі температурного градієнта, відбувається з використанням такого явища, як термофорез [64, 107], тобто рух частинок рідини уздовж ліній температурного

поля в бік зниження температури. Вплив температури отрутохімікату на інтенсивність осадження під час обприскування на даний час до кінця не визначений. Гіпотетично можна припустити, що для інтенсифікації осадження доцільно підвищувати температуру отрутохімікату на кілька градусів.

Фотофорез, є окремим випадком явища термофорезу. Рух частинок відбувається під дією одностороннього інтенсивного освітлення, в результаті чого відбувається нерівномірний нагрів краплі і середовища, головним чином через різної їх здатності відбивати і поглинати світло [64, 107].

Фільтрування аерозолів являє собою процес поділу неоднорідних систем за допомогою проникних перегородок, які затримують одні фракції цих систем і пропускають інші [107].

Додання часткам аерозолію електричного заряду дозволяє якісно поліпшити технологію обробок сільськогосподарських об'єктів [65, 70, 66].

В електрично зарядженому аерозолі, в порівнянні з незарядженим, виникають додаткові сили взаємодії частинок - електростатичного розсіювання і дзеркального відображення [67]. Електричні сили діють в усіх напрямках, що сприяє вирівнюванню концентрації за обсягом при одночасному збільшенні швидкості осадження. Напрямок та величина сил залежать від розміру, величини і полярності заряду, концентрації частинок і обсягу обробки, що відкриває нові можливості для управління процесами поширення і осадження електроаерозолію [68, 69, 70, 71].

Електроаерозольні технології в сільському господарстві застосовують для: дезінфекції та дезінсекції тваринницьких приміщень, пташників, допоміжних будівель, споруд захищеного ґрунту; дезодорації, знепилювання і зволоження тваринницьких приміщень і пташників; вакцинації і інгаляції тварин і птахів; захисту і позакореневого підживлення рослин в спорудах захищеного ґрунту [72, 73].

Електризація дезінфікуючих засобів, сприяє більш рівномірному покриттю оброблюваних поверхонь [107], при цьому знезаражуючий ефект вище і зберігається на оброблюваних поверхнях більш тривалий час, ніж в разі за-

стосування незаряджених аерозолів того ж препарату [107].

У рослинництві заряджені частинки пестицидів осідають практично рівномірно на нижній і верхній сторонах листя рослин, забезпечують можливість значного скорочення витрат пестициду [107].

Слід зазначити, що додатковим способом інтенсифікації осадження аерозолів робочих розчинів є електризація самої поверхні зерна. Сьогодні електризація зерна використовується у різних технологічних процесах передпосівної обробки та сепарації [94]. Відомі які досліджують технологічні властивості зерна під дією електричного поля [74].

Таким чином, застосування викладених методів інтенсифікації осадження робочого розчину дозволить поліпшити якість обприскування насіння зернових.

1.3 Аналіз конструктивних рішень протруйників насіння зернових

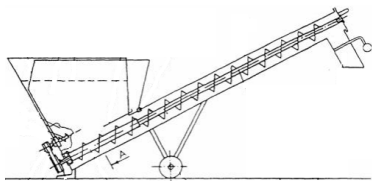
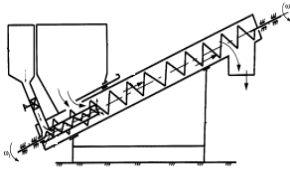
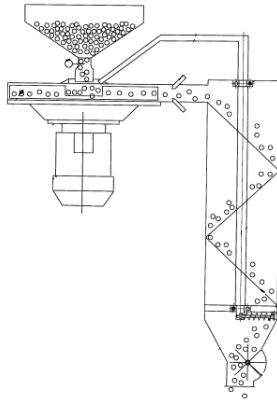
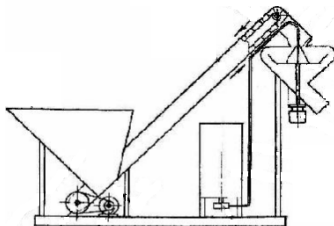
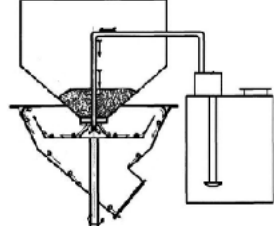
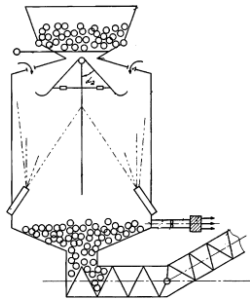
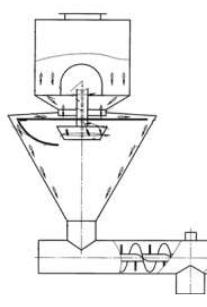
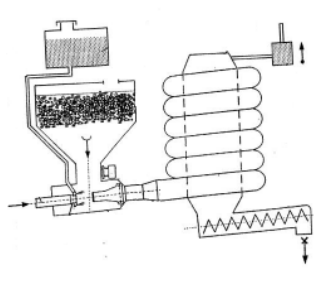
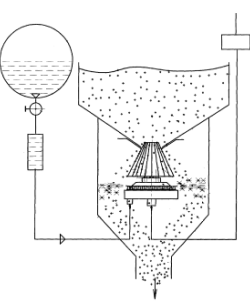
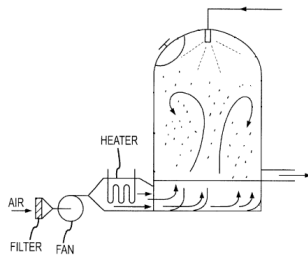
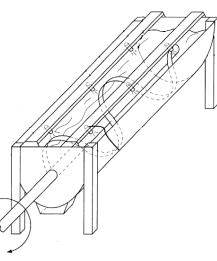
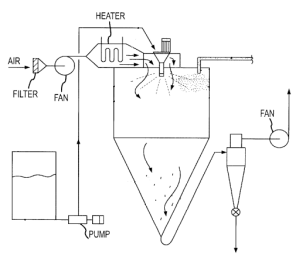
Збагачення насіння мікроелементами і біологічно активними речовинами за допомогою інкрустації насіння захисно-стимулюючими складами - найбільш доступний спосіб підвищення інтенсивності біохімічних перетворень в насінні, що проростає, а також стимуляція проростання і розвитку рослин [75]. Обробка насіння електричним і магнітним полями постійного і змінного струму, ультрафіолетовим, інфрачервоним і лазерним опромінюваннями, а також у полі коронного заряду при дотриманні науково обґрунтованих режимів, забезпечує приблизно однакове підвищення схожості і врожайності в межах 15-20% [76, 77, 78].

Метою пункту є визначення шляхом аналізу техніко-технологічних складових технологічного процесу передпосівної обробки зернових, найбільш вагомих та можливих, з точки зору практичного застосування, шляхів підвищення ефективності передпосівної обробки.

Огляд технічних рішень по конструкціях пристроїв протруювання (табл. 1.3) [76, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86], адаптованих для використання в поточних технологічних лініях, показав, що запропоновані пристрої мають обмежені технологічні можливості і низьку універсальність щодо обробки насіння різних культур (Додаток В).

Таблиця 1.3

Сучасні конструкції технологічного обладнання інкрустації зернових

1 UA69352, UA76160	2 RU 2266631	7 RU11382
		
3 UA 3697	6 UA58628	
		
4 RU2316925	5 RU 75269	8 UA65398
		
		9 RU2373677
		
10 а	10 б	10 в
		
US6682697B2		
Основні елементи: 1 - сопло подачі робочого розчину; 2 - механізм вивантаження, переміщення або перемішування; 3 - відцентровий дозатор; 4 - вхідний отвір; 5 - вихідний отвір; 6 - робочий розчин.		

Виділимо деякі технологічні недоліки розглянутих пристроїв інкрустації. Пристрої №1-№5 (табл. 1.3) сприяють травмуванню зерна шнековими органами, що може привести до зниження посівних якостей насіннєвого матеріалу [75, 79, 80, 81, 81, 82]. Пристрої №3-№9 можуть сприяти налипанню зволоженого обробленого зерна на стінках робочих бункерів, що може привести до сводоутворення над випускними отворами. Крім того, дані пристрої, в меншій мірі (по відношенню до пристроїв №1-№3) також сприяють травмуванню зерна.

Розглянуті пристрої, крім №10 (табл. 1.3), мають необхідність в подальшому досушуванні обробленого зерна. Пристрій №10 є найбільш щадним до зерна і містить модуль сушки, але має складну конструкцію, яка знижує можливість його впровадження в діючу технологічну схему виробничого процесу.

У сільському господарстві України переважно використовуються вузькоспеціалізовані протруювачі насіння шнекового та камерного типів, набирають популярності роторно-статорного та інерційно-фрикційного типів [81]. Однак практично відсутнє технологічне обладнання для аерозольної обробки насіння з використанням технологій інтенсифікації його осадження.

1.4 Технічні засоби отримання електроаерозолів

1.4.1 Способи отримання електроаерозолів

Процес отримання електроаерозолів складається з диспергування рідини на дрібні краплі і надання краплям електричного заряду [107, 72]. Найбільш поширені способи диспергування рідини і зарядки крапель аерозолію приведені на рис. 1.3.



Рис. 1.3 – Способи отримання електроаерозолів

1.4.1.1 Способи диспергування рідини

Промисловість випускає устаткування, яке забезпечує генерацію аерозолію із заданими параметрами (Додаток Г) і можуть бути використані відповідно до агротехнічних вимог до аерозольної хмари. Відомо багато способів диспергування рідин [70, 87].

Відомий гідравлічний спосіб розпилення. Цей метод полягає у вільному розпаді струменя рідини, яка витікає з високою швидкістю із сопла розпилювача. Зі збільшенням швидкості рідини, при інших рівних умовах, характер розпилення змінюється, і дисперсність частинок аерозолію підвищується. Гідравлічне розпорошення вимагає найменших енергетичних витрат і найбільш просте за реалізацією, однак одержуваний аерозоль полідисперсний з розмірами частинок 10 ... 1000 мкм. Ускладнено регулювання витрати при заданій якості дроблення, а також розпилювання високов'язких рідин [88, 89]. У сільськогосподарській практиці гідравлічні форсунки знайшли застосування в розпилювальних установках підвищеної продуктивності.

Пневматичним способом рідина дробиться високошвидкісним струменем газу. Дисперсність розпилю визначається відносною швидкістю і об'ємними витратами рідини і газу і складає менше 100 мкм [89, 90]. Витрата енергії на розпорошення в 20 і більше разів вища, ніж при гідравлічному способі розпилення. До переваг цього способу розпилення слід віднести надій-

ність в експлуатації і можливість розпилення високов'язких рідин.

Механічне розпорошення здійснюється обертовими механізмами типу диска, конуса, чаші і т.п. Рідина під дією відцентрових сил розтікається по поверхні розпилювача, набуває кінетичну енергію і зривається з кромки у вигляді окремих крапель, тонких ниток або плівки. Характер розпилення знаходиться в сильній залежності від витрати рідини і лінійної швидкості обертання диска. Діскові генератори, у порівнянні з іншими типами (гідравлічними і пневматичними) мають розпорошення, наближене до монодисперсного (коефіцієнт варіації менше 0,3) і дозволяють змінювати розміри крапель в широких межах та не забиваються нерозчинними домішками рідин [91, 107]. До недоліків методу можна віднести великі витрати енергії на розпорошення, тому що значна частина корисної потужності втрачається на аеродинаміку диска і вентиляційний ефект.

Ультразвуковий метод розпилення базується на явищі кавітації, що виникає при створенні в рідині хвиль з частотою більше 20 кГц. Розміри крапель, що одержуються таким способом, не перевищують 120 мкм. До недоліків способу слід віднести малу продуктивність (до 6 л/год) і необхідність використання дорогого устаткування [89]. Як правило, цей спосіб розпилення використовують в сукупності з розглянутими способами, наприклад, пневматичним, що призводить до зменшення розміру часток [92].

Акустичний спосіб розпилення здійснюється при впливі ультразвукових коливань повітря на рідину. Використовується спільно з іншими способами розпилення, наприклад, з пневматичним, при цьому досягається значне зменшення розміру часток аерозолію без істотного підвищення енергетичних витрат [89]. До недоліків методу можна віднести складність конструкції розпилювачів і значний шум при їх роботі.

Ультразвуковий і акустичний способи розпилення недостатньо вивчені і не отримали широкого практичного застосування.

Значний інтерес представляє *пульсаційне* розпорошення, засноване на створенні додаткових збурень в рідині, яка дробиться будь-яким з перерахо-

ваних способів. Ці збурення-пульсації виникають при різкій зміні витрати або тиску рідини і призводять до збільшення поверхневої енергії рідини і більш тонкого розпорошення. Практично без збільшення енергетичних витрат і незначному ускладненні конструкції розпилювача, досягається зменшення розміру часток на 20 ... 30% [107]. Механізм пульсаційного розпилення вивчений недостатньо, тому ефективні межі його застосування поки не визначені.

Електричне розпорошення досягається дробленням краплі або струменя рідини в сильному електричному полі. За рахунок перерозподілу електричних зарядів на краплі, її поверхня розтягується, з краплі випливає цівка рідини, яка розривається, утворюючи безліч більш дрібних крапель [93, 94]. Гідравлічна нестійкість краплі спостерігається при рівності сил поверхневого натягу і сил електричного поля [91, 93]. Незначна продуктивність при високих енергетичних затратах і складному обладнанні є істотним недоліком способу.

Разом з тим, електричне розпорошення частки призводить до її електризації, в результаті чого аерозоль набуває зовсім інші властивості, що дозволяє більш ефективно його використовувати. У зв'язку з цим, застосування електричного способу спільно з іншими способами розпилення, є вельми перспективним.

Розпилення з *попереднім газонасиченням* за принципом близьке до гідравлічного розпорошення. При цьому способі рідину перед подачею в розпилювач, або безпосередньо в самому розпилювачі, насичують газом. Зростання енергії потоку рідини, а також швидке розширення бульбашок і десорбція газу при витіканні рідини з газу призводять до її розпаду на більш дрібні, ніж в умовах гідравлічного розпилення, краплі [89].

При *електрогідравлічному* розпиленні потоку рідини надається додаткова енергія за рахунок високовольтного електричного розряду в порожнині розпилювача. В утвореному плазмовому шнурі спостерігається стрибок тиску до тисяч мегапаскалів, від того відбувається викид високошвидкісного

поток роздріблених крапель [89]. Супроводжуючі розряд ефекти (ударна хвиля, кавітація) додатково подрібнюють краплі між імпульсами.

Комбіновані методи розпилення поєднують кілька перерахованих вище способів і дозволяють отримувати хороші характеристики розпорошення при найменших витратах енергії.

Проведений аналіз дозволяє зупинитися на механічному способі розпилення [107], як найбільш компактному, що не вимагає застосування компресорного устаткування, які мають розпорошення близьке до монодисперсних, з широким факелом розпилу, що допускає регулювання дисперсності аерозолі в широких межах і досить добре komponуються з електричним способом розпилення.

1.4.1.2 Способи зарядження аерозолі

До основних процесів, що призводять до утворення заряду на частинці, відносяться: пряма іонізація, статична електризація, зіткнення з іонами або іонними кластерами (в присутності зовнішнього електричного поля або без нього), а також іонізація частки електромагнітним випромінюванням (ультрафіолетовим, видимим або гамма-випромінюванням). Перераховані процеси можуть протікати як спільно, так і кожен окремо [93].

Пряма іонізація частинки. Як правило, маса аерозольних часток в одиниці об'єму на багато менше маси повітря, що заповнює цей обсяг. Оскільки ефект іонізації насамперед залежить від маси, кількість іонів, що утворюються з молекулярних частинок повітря, буде на кілька порядків вище, ніж при іонізації аерозольних часток.

Статична електризація. Процес статичної електризації протікає в результаті дії одного або декількох механізмів, що робить дуже важким його теоретичний опис за допомогою єдиного математичного механізму. До статичної електризації можуть призводити п'ять основних процесів.

Електролітичні ефекти. У цьому випадку рідкі розчини з високою діе-

лектричної проникністю обмінюються іонами з металевими або іншими твердими поверхнями. Наприклад, краплі рідини з великою діелектричною проникністю, що стікають з поверхні металу, забирають з собою значний заряд.

Контактна електризація. При цьому процесі електрони з чистих сухих поверхонь різних металів, що знаходяться в зіткненні, переміщуються вглиб металу з більш низькою можливістю виходу електрона. Необхідно, щоб між контактуючими поверхнями були відсутні домішки. Внаслідок такої вимоги механізм контактної електризації, ймовірно не має істотного значення для процесу статичної зарядки.

Електризація при розпилюванні. Третій механізм статичної зарядки діє при розпилюванні рідин. У верхньому шарі рідини з високою діелектричною проникністю, завдяки дії поверхневих сил, зростає концентрація електронів і негативних іонів. При розпилюванні і барботажі цей шар руйнується, і утворюються дрібні краплі, які, в основному, заряджаються негативно, в той час як великі краплі можуть заряджатися як позитивно, так і негативно, або залишатися незарядженими приблизно з рівними можливостями. Відзначимо, що розміри всіх крапель, що утворилися, може змінюватись наступним їх випаровуванням або конденсацією. Краплі, що утворилися під час розпилювання, зазвичай містять лише по кілька одиничних зарядів.

Четвертий метод статичної зарядки - *електризація тертям*, в результаті якої сухі неметалеві частинки набувають заряд при контакті з металами або іншими частками. Причини цього дуже поширеного механізму зарядки залишаються недостатньо ясними, хоча деякі його риси вивчені добре.

У разі, якщо суспензії вибухонебезпечних частинок пилу мають високу концентрацію та протікають через незаземлену трубку, на ній може накопичитися значний заряд, що може призвести до іскрового розряду і, як наслідок, до вибуху. Якщо відносна вологість повітря перевищує 50-60%, зарядка протікає повільніше через утворення на частці тонкого шару води. Заряд не буде накопичуватися, якщо вода містить достатню кількість розчиненої речовини, що робить цей шар провідним. Таке пояснення узгоджується зі спо-

стереженнями того, що у вибухах пилових систем важливу роль відіграє не абсолютна, а відносна вологість, оскільки процес зарядження тертям запобігає не присутність водяної пари, а осадження води на частинках.

Зарядження аерозолі в електричному полі. На відміну від зарядки внаслідок дифузії, зарядження в електричному полі відбувається в потоці уніполярних іонів, тобто в області, де іони знаходяться в електричному полі і їх рух є впорядкованим. Припустимо, що незаряджені сферичні аерозольні частинки раптово потрапляють в однорідне електричне поле. Поле створюючи газові іони і слідуючи уздовж силових ліній частинки, негайно почали б її заряджати. Передбачається, що стикатися з часткою і заряджати її будуть всі іони, що рухаються. Однак набувши деякого заряду, частинки почнуть відштовхуватися. В результаті конфігурація поля зміниться, що призведе до зменшення швидкості зарядки, і врешті-решт – до її припинення (зарядового насичення). Відзначимо, що в міру насичення частинки зарядами зменшиться як число іонів, що вступають в контакт з нею, так і площа самого контакту.

Спільна дія дифузійної зарядки і зарядки в електростатичному полі полягає у тому, що по мірі зменшення розміру часток вони заряджається в електричному полі не тільки внаслідок упорядкованого руху іонів, але також завдяки їх хаотичного руху. Отже, повна теорія зарядки одночасно враховує обидва явища. Однак при цьому виникає чимало труднощів. По-перше, при дифузійній зарядці граничного заряду, що здійснюється часткою, не існує, в той час як при зарядці в електростатичному полі цей граничний заряд існує. По-друге, заряд частки у полі є функцією квадрату її розміру, а при дифузійній зарядці заряд приблизно лінійно залежить від розміру частки. Розрахунок зарядки дрібних частинок в сильному електричному полі за двома механізмами все ж призводить до порівнянних результатами незважаючи на те, що розрахунки по окремим механізмам дають трохи занижену, в порівнянні з вимірюваною, величину заряду на частинці.

Для заряджання аерозолі можна використовувати пристрої індивідуальної розробки та серійного виконання (Додаток Д).

1.4.2 Технічні засоби отримання електроаерозолів

Не дивлячись на переваги використання електроаерозоліу у промисловості устаткування з використанням електроаерозолів не отримало широкого поширення (Додаток Е).

Відомі три способи надання електричного заряду частинкам: а) контактний; б) у полі коронуючого заряду; в) – електродинамічний [94]. Загальним для них є наявність високовольтного генератора постійного струму, один електрод якого безпосередньо (при контактному способі) або через вплив (коронуючому і електродинамічному способі) сполучається з робочою рідиною. У загальному випадку в процесі електрзарядки аерозоліу на електрод обприскувача подається напруга від 1 до 100 кВ. Застосовують розпилювачі механічного, гідравлічного і акустичного дроблення. В установках електродинамічного типу надання заряду і формування частинок робочої рідини здійснюється одночасно електричним полем електродів (рис. 1.4, 1.5).

Для досягнення рівномірності покриття необхідно проводити зарядку самого насіння (рис. 1.4). Причому знак статичного заряду може бути протилежним до знаку заряду розчину.

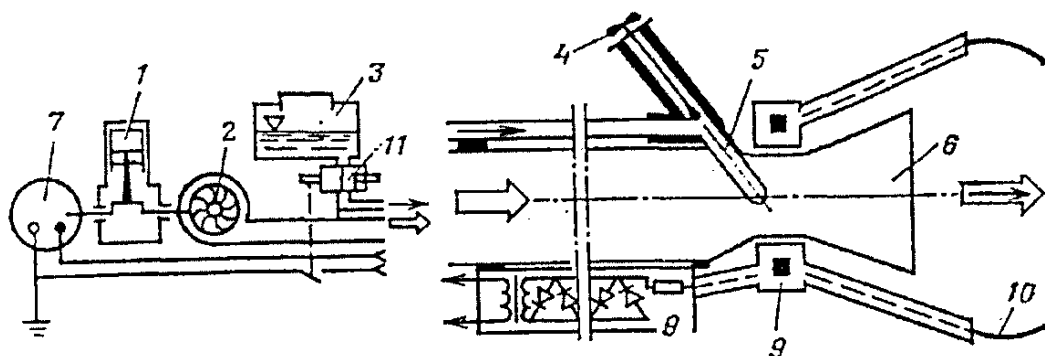


Рис. 1.4. Електростатичний обприскувач з дробленням струменя потоком повітря і зарядом частинок в коронуючому полі: 1 - двигун; 2 - відцентровий вентилятор; 3 - бак обприскувача; 4 - регулятор витрати рідини; 5 - форсунка; 6 - сопло; 7- електричний генератор; 8 - перетворювач напруги; 9 - високовольтний електрод; 10 - тонкий електрод; 11 - регулювальний кран

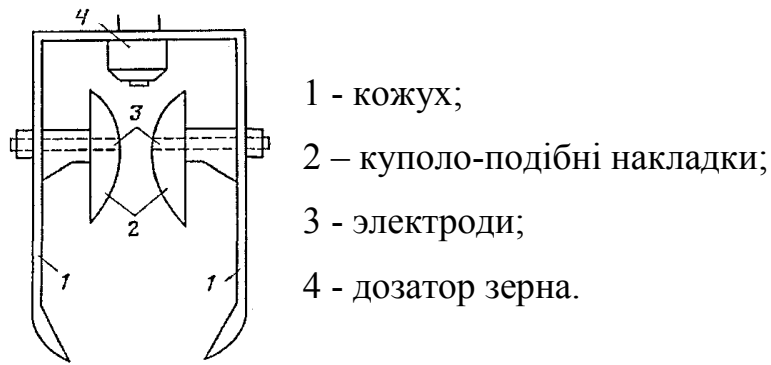


Рис. 1.5. Приставка для статичного заряду насіння зернових

Однією з перших конструкцій дискового електростатичного розпилювача з індукційною зарядкою була запропонована Дунським В.Ф. і Кітасвим А. В. [45].

Розпилювач складається з заземленого диска, закріпленого на валу електродвигуна і розміщеного в продувній трубі, що служить корпусом пристрою і кільцевого електрода, з'єднаного з джерелом високої напруги.

При обертанні заземленого диска рідина подається через вал розтікається тонкою плівкою по його поверхні і заряджається під впливом кільцевого електрода. При досягненні кромки диска плівка рідини зривається у вигляді заряджених крапель.

З метою підвищення надійності та ефективності зарядки погано провідних рідин Безкровний Н.Ф. і Мартиненко І.І. [95] запропонували пристрій для розпилення рідин, що містить корпус, на якому жорстко закріплений диск, з'єднаний з джерелом високої напруги, встановлений на валу і заземлений розпилювальний диск із змонтованою на ньому крильчаткою.

У цьому пристрої діелектрична крильчатка, що встановлена на заземленому диску, створює потужний повітряний потік, який ізолює потенційний диск, і, підхоплюючи краплі, що зриваються з краю диска, розносить їх по всьому об'єму приміщення.

З метою підвищення електробезпеки ефективності зарядки частинок Шмігель В.Н. і Савушкін А.В. [96] запропонували пристрій, що відрізняється від розглянутого тим, що диск, з'єднаний з джерелом високої напруги, за-

кріплений на нижньому торці крильчатки, за рахунок чого значно знижено напругу зарядження, зникла небезпека «електричного пробою», яка пов'язана з вібрацією. Для збільшення дисперсності і однорідності аерозолі цими ж авторами запропонований електростатичний розпилювач з диском у вигляді двох конусів різної висоти, над краями яких розташований кільцевий ступінчастий високовольтний електрод [97]. Збільшення дисперсності аерозолі досягається за рахунок ступеневого розпилення рідини на розпилюючих елементах.

Електроаерозольний генератор [98], забезпечений з цією ж метою відбивачами, в яких вловлюються великі і незаряджені краплі, а високодисперсний аерозоль виноситься за межі генератора під дією повітряного потоку, створюваного вентилятором.

Астапов СВ. і Блюмин Г.З. [99] запропонували аерозольні генератори з електроприводом підвищеної частоти. Маючи продуктивність 1 ... 3 л/хв, генератори не можуть ефективно заряджати одержуваний аерозоль.

У механічних електроаерозольних генераторах, в більшості випадків, використовують індукційну зарядку [91, 95, 100, 101, 102]. Існують також генератори з зарядкою на електроді [103].

Технічні характеристики деяких електроаерозольних генераторів наведені в додатку Е [65, 104].

Аналіз показує, що, виходячи з умов роботи при передпосівному обробітку насіннєвого матеріалу, існуючі електроаерозольні генератори не задовольняють умовам технологічного процесу передпосівної обробки насіння зернових. Тому акцентована увага на серійному обладнанні, яке генерує аерозоль (додаток Г) я має у своєму складі високовольтні джерела живлення (додаток Д).

Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- якісна передпосівна обробка насіння зернових дозволяє зберегти до 20% врожаю;
- однією з головних вимог до електротехнологічного комплексу є мінімальне пошкодження насіння, що дозволяє підвищити врожайність зернових культур на 5-7% ;
- існуючі дослідні та виробничі розробки протруйників не підходять для обробки зернового матеріалу у хмарі електризованого аерозолі;
- найбільш раціональний спосіб отримання електризованого аерозолі є механічний із зарядженням в електростатичному полі;
- використання електроаерозолі дозволяє мінімізувати втрату препарату, підвищити рівномірність його розподілу на поверхні насіння, що зменшує пестицидне навантаження;
- теоретичні положення, які описують питання взаємодії електроаерозольних часток та зернового матеріалу, при вільному падінні останнього у робочому просторі камери протруювання, як єдиний процес не розроблені.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛЮ НА НАСІННЄВИЙ МАТЕРІАЛ

2.1 Фізичні основи моделювання обробки зернового матеріалу у хмарі електризованого аерозолі

Проаналізуємо можливість оптимізації процесу передпосівного обробітку зерна рідкими хімічними добавками для захисту та стимуляції шляхом заряду аерозолі цього розчину і поверхні оброблюваного насіння різними зарядами, та отримати базові математичні вирази.

Сьогодні розвиток інтенсивного сільського господарства неможливий без вирішення нових складних проблем по захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. Вирішення поставленої проблеми здійснюється агротехнічними заходами, які спрямовані на підвищення стійкості рослин до впливу шкідливих організмів, збалансоване живлення, науково-обґрунтовану сівозміну, створення нових сортів, стійких до хвороб і шкідників.

Фізичні методи (вплив електромагнітним випромінюванням різних довжин хвиль, високими й низькими температурами) і механічні методи (ручна прополка, використання ловчих канавок, світлових пасток тощо) не знайшли широкого застосування.

Найбільш перспективним напрямом захисту й стимулювання рослин є біологічний [105], який передбачає використання для захисту рослин від шкідливих організмів та стимулювання їх росту, мікробіологічних препаратів, а також феромонів, гормонів і ін.

Переваги біопрепаратів полягає у нешкідливості для рослин, людини, теплокровних тварин, бджіл і інших корисних комах, а також у можливості застосування їх разом з хімічними засобами.

Недоліки полягають у складності виробництва біопрепаратів, необхід-

ності розробки окремих препаратів для кожного виду рослин, що у свою чергу стримує широке застосування біологічного методу [106].

Сьогодні у якості засобів захисту найбільше поширення одержали різноманітні хімічні препарати, головним чином, синтетичні органічні сполуки, об'єднані загальною назвою – пестициди.

У цілому, незважаючи на серйозні недоліки, хімічний метод є основним методом захисту рослин і залишиться таким у найближчому майбутньому. Вже наявний у світі асортимент пестицидів дозволяє використовувати препарати, практично безпечні для людини й корисних тварин, забезпечити відсутність залишків пестицидів в об'єктах зовнішнього середовища, продуктах живлення й харчових ланцюгах, уникнути появи резистентних форм шкідників.

Якщо розглядати використання пестицидів у контексті передпосівної обробки зернового матеріалу у промислових масштабах, то необхідно відзначити, що вітчизняна промисловість випускає достатньо великий перелік технологічних машин порційного та періодичного принципу дії [15]. В основі технологічного процесу лежить обприскування, що призводить до певних недоліків: нерівномірність нанесення робочого розчину, необхідність досушування насіннєвого матеріалу та, у переважній більшості, сприяє механічному ушкодженню насіння. Якщо останні два недоліки можливо вирішити за рахунок техніко-конструктивних рішень, то рівномірність нанесення робочого розчину є складною багатопараметричною задачею.

Метод обприскування припускає нанесення пестициду на оброблювану поверхню в краплинно-рідкому стані у вигляді розчинів, емульсій і суспензій. Залежно від норми рідини, що витрачається, обприскування характеризують як: високооб'ємне 400...2000 л/га, середньооб'ємне 100...400 л/га, малооб'ємне 10... 100 л/га. Недоліки обприскування пов'язані з використанням громіздкої техніки, великими витратами пестицидів, значним забрудненням навколишнього середовища.

В результаті аналізу періодичних видань [15, 107, 108] за проблемати-

кою досліджень, можна акцентувати увагу на усуненні зазначених недоліків шляхом розробки електротехнологічного комплексу (ЕТК) протруювання насіннєвого матеріалу шляхом надавання часткам аерозолію робочого розчину електричного заряду [14], що дозволить значно поліпшити якість технологію передпосівної обробки.

Електризація аерозолію робочої рідини, сприяє більш рівномірному покриттю оброблюваних поверхонь, при цьому знезаражуючий ефект вище і протруювач зберігається на оброблюваних поверхнях більш тривалий час, ніж у випадку застосування незаряджених аерозолів того ж препарату [66, 107]. Заряджені частки пестицидів при цьому осаджуються практично рівномірно і забезпечують можливість значного скорочення витрат пестициду.

Взаємодія між зарядженими частками аерозолію й насінням обумовлена законами електростатики. Заряджена хмара аерозолію індукує рівні й протилежні за знаком заряди на поверхні зернин, тому між факелом аерозолію й оброблюваним об'єктом створюється електростатичне поле, по силових лініях якого і рухаються до об'єкта крапельні заряджені частки.

Оскільки форма траєкторії руху часток визначається формою силових ліній електричного поля, а остання залежить від профілю оброблюваного об'єкта, то осадження часток можливе по всій поверхні цього об'єкта [66].

При осадженні зарядженого аерозолію на зернину, основну роль відіграє сила притягання, обумовлена дією електричного поля, величина якої визначається добутком напруженості цього поля на величину заряду частки.

Умовою найкращого електростатичного осадження є найбільш повна зарядка всіх часток при їхній уніполярній електризації. А якщо ні, то електричні сили будуть недостатніми для ефективного транспортування часток, а наявність протилежних зарядів стане причиною їх коагуляції й нейтралізації, що в остаточному підсумку послабить напруженість електричного поля й погіршить процес осадження.

Таким чином, використання електроаерозолів сприяє більш якісному проведенню обробок сільськогосподарських об'єктів.

Відомо, що фізичні тіла можуть бути електрично нейтральні, або електрично заряджені. Електрично заряджені тіла мають заряд тіла позитивний або негативний, що визначає їх взаємодію притягуванням або відштовхуванням.

Якщо дві матеріальні точки заряджені, нерухомі, знаходяться у вакуумі і на деякій відстані одна від одної, між ними виникає сила взаємодії, спрямована вздовж лінії їх з'єднання. Відомо, що ця сила описується законом Кулона - основним законом електричної взаємодії тіл

$$F = \frac{k_1 q_1 q_2}{r_{12}^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}, \quad (2.1)$$

де k_1 – константа, $k_1 = 1/(4 \cdot \epsilon_0 \pi) = 9 \cdot 10^9 \text{ Кл}^2 \cdot \text{Нм}^2$;

q_1 і q_2 – заряд матеріальних точок, Кл;

r_{12} – відстань між ними, м;

ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 \cdot \text{Нм}^2$.

Оскільки між зарядженими тілами діють електричні сили, то заряджене тіло створює навколо себе деяке силове електричне поле. Якщо заряди нерухомі, то поле називається електростатичним.

При внесенні в електричне поле точкового заряду (тіло із зарядом, що наближається до нуля) на нього буде діяти сила

$$\vec{F} = q_n \vec{E}, \quad (2.2)$$

де q_n – точковий заряд.

Вектор $\vec{E}$, який залежить від величини зарядів, які створюють електричне поле, та місця розташування точкового заряду, називається напруженістю поля E (Н/Кл або В/м). Напруженість поля точкового заряду у вакуумі визначається наступним чином:

$$1) \text{ у векторній формі } \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \cdot \vec{r}_0, \quad (2.3)$$

де $\vec{r}_0$ – одиничний вектор, м;

$$2) \text{ у скалярній формі } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}. \quad (2.4)$$

Сила взаємодії зарядів в однорідному і ізотропному середовищах менша від тієї ж сили у вакуумі в ϵ - раз, де $\epsilon = F_0 / F$, ϵ діелектричною проникністю середовища.

Електростатичне поле графічно зображується за допомогою ліній напруженості (силових ліній), дотичні до яких в будь-якій точці збігаються за напрямком з вектором напруженості в цій точці простору. До кулоновських сил застосуємо закон суперпозиції, тобто результуюча, діюча на пробний заряд дорівнює векторній сумі сил, прикладених до них з боку кожного з зарядів

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F} \quad \text{або} \quad \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}. \quad (2.5)$$

Грунтуючись на законі Кулона, зробимо припущення, що можна підвищити ефективність технологічного процесу передпосівної обробки зернових живильним або хімічними розчинами за рахунок заряду аерозолі цих розчинів і поверхні зерна різнополярними зарядами.

Широко відомі механічні сепаратори, що розділяють суміші за формою частинок, парусністю, стану поверхні, питомою вагою та ін. В даний час відомо декілька типів сепараторів з використанням електростатичного поля, а також поля коронного розряду. В електростатичному полі зерна поляризуються: один кінець зерна, звернений до позитивного електрода, набуває негативний заряд, інший - позитивний, що не дозволяє використовувати даний метод для обробки зернового матеріалу в полі електроаерозолі.

Також часто для сепарування насіння використовується поле коронного негативного уніполярного розряду. При введенні в зону коронного розряду частинок, вони набувають заряд іонів і переміщуються до заземленого

електрода. В системі сил, що діють на частку, з'являється ще одна сила електростатичної взаємодії, що змінює траєкторію частинки. Час заряду частинки становить близько 0,01 с.

Граничний заряд для частинки еліпсоїдної форми при орієнтуванні більшої вісі вздовж силових ліній [36, 108] характеризується таким чином

$$q_{\text{ч}} = \frac{E_0 \varepsilon_{\text{ч}} l_{\text{б}} l_{\text{м}}}{1 + (\varepsilon_{\text{ч}} - 1) \varphi_{\text{б}}} \pi \varepsilon_0, \quad (2.6)$$

при орієнтуванні малої вісі вздовж силових ліній

$$q_{\text{ч}} = \frac{E_0 \varepsilon_{\text{ч}} l_{\text{б}} l_{\text{м}}}{1 + (\varepsilon_{\text{ч}} - 1) \varphi_{\text{м}}} \pi \varepsilon_0, \quad (2.7)$$

а для часток сферичної форми

$$q_{\text{ч}} = \left(1 + 2 \frac{\varepsilon_{\text{ч}} - 1}{\varepsilon_{\text{ч}} + 2} \right) 4 \pi \varepsilon_0 E_0 r_{\text{ч}}^2, \quad (2.8)$$

де E_0 – напруженість поля, Н/Кл;

ε – відносна діелектрична проникність;

ε_0 – діелектрична постійна, Ф/м;

$l_{\text{б}}, l_{\text{м}}$ – довжина більшої та меншої вісі, м;

$\varphi_{\text{б}}, \varphi_{\text{м}}$ – коефіцієнт деполяризації частинки, який залежить від її форми при орієнтації відносно силових ліній;

$r_{\text{ч}}$ – радіус частинки, м.

Заряд частки визначається її розміром, формою, діелектричної проникністю та положенням відносно вектора напруженості поля.

Якщо говорити про аерозолі, то це дрібні краплі, зважені в газовому середовищі. Зі зменшенням розміру частинок їх маса зменшується пропорційно кубу, а площа – квадрату радіусу. При розпилюванні одиниці маси речовини його поверхня збільшується в тисячі разів. Зі збільшенням площі речовини зростає її хімічна та біологічна активність. Аерозолі, які мають електричний заряд, звуться електроаерозолями. Оскільки електричний заряд зме-

ншує силу поверхневого натягу, то величина окремих крапель знижується з 200 ... 400 мкм до 10 ... 20 мкм, що веде до тисячкратного збільшення поверхні крапель при однаковій масовій витраті.

Оскільки частинки заряджаються однойменними зарядами, то під впливом електростатичних сил аерозольна хмара значно збільшується в об'ємі. Якщо об'єкт, на поверхню якого повинні осідати заряджені аерозольні частинки, має рівномірний поверхневий заряд протилежного знаку, то аерозоль рівномірно розподіляється по поверхні об'єкта.

Найбільш відомі аерозолі, які застосовуються в побуті та виготовлюються в спеціальній упаковці. Рідкі речовини: одеколони, лаки, фарби, освіжувачі повітря, інсектициди - перетворюються в аерозолі під час розпилювання за допомогою стиснутого повітря [72, 109]. Аерозолі твердих речовин утворюється як за допомогою стиснутого повітря (газу), так і з використанням механічних пристроїв, наприклад, за допомогою обертового диска.

Зарядка частинок аерозолі може проводитися трьома способами: контактним, в полі коронного розряду та індукційним.

Контактний спосіб зарядки частинок відбувається, якщо в момент відриву частинки від зарядженого кінцевого пристрою розпилення, частка, що знаходиться деякий час в контакті з ним, набуває заряду тієї ж полярності.

Але, з технічної точки зору та питань техніки безпеки, в умовах поточних ліній передпосівної обробки зерна, більш прийнятним є індукційний спосіб зарядки частинок, який полягає в тому, що у форсунках розташовується кільцевий електрод, на який надається позитивний потенціал, а форсунка заземлюється. На форсунці і, отже, в рідині індукується негативний заряд, обумовлений позитивним потенціалом електрода (рис. 1) [108].

Заряд крапель рідини обумовлений здатністю їх заряджатися, що визначається постійної часу [94]

$$\tau = \varepsilon_0 \varepsilon \rho, \quad (2.9)$$

де ρ – питомий опір рідини, Ом·м;

ε_0 – діелектрична постійна $8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н·м²);

ε – діелектрична проникність робочого розчину.

Процес утворення крапель та їх зарядження відбувається одночасно, при умові, що якщо час зарядження менший за час утворення крапель, тобто

$$\tau < t_{\text{кп}} . \quad (2.10)$$

Час утворення крапель

$$t_{\text{кп}} = \frac{l_c}{v} , \quad (2.11)$$

де l_c – відстань від зрізу форсунки до точки утворення крапель, м;

v – швидкість струменю, м/с.

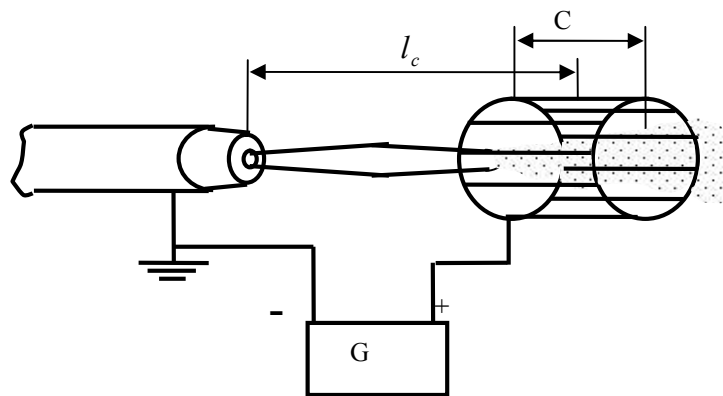


Рис. 2.1. Схема індукційного зарядження часток

Напруженість поля на поверхні струменю для коаксіального електрода при умові, якщо безперервний струмінь має довжину не менше $4r_0$, визначається таким чином[107]

$$E_j = \frac{U}{r_j \ln \frac{r_0}{r_j}} , \quad (2.12)$$

де U – напруга зарядження аерозолі, В;

r_j – радіус струменю, м;

r_0 – радіус електрода, м.

Щільність поверхневого заряду на струмені [107]

$$\delta_j = \varepsilon_0 E_j. \quad (2.13)$$

Величина конвективного струму [107]

$$i_0 = \frac{2\varepsilon_0 U Q}{r_j^2 \ln \frac{r_0}{r_j}}, \quad (2.14)$$

де Q – витрата рідини, м³/с.

При швидкості повітря, більшій за швидкість витікання рідини, остання розривається у вигляді циліндричної плівки і дробиться на краплі. В цьому випадку конвективний струм розпилення дорівнює

$$i_0 = \frac{\varepsilon_0 U Q}{S_0 r_j \ln \frac{r_0}{r_j}}, \quad (2.15)$$

де $S_0 = 0,3 \dots 0,6$ мм.

Ефективність зарядки часток слід визначати порівнянням отриманого ними заряду з максимально можливим, при якому можна спостерігати гідравлічну нестабільність краплини [110]

$$q_{\max} = 8\pi r_q^{3/2} \sqrt{E\delta}, \quad (2.16)$$

де δ – коефіцієнт поверхневого натягування, Н/м.

Якщо заряд частинки більше $q_{\max}$, то частинка подрібнюється на більш дрібні. Для визначення фактичного заряду краплини застосовують наближену формулу [111]

$$q_m = \frac{2\pi^3}{3} \varepsilon_0 E_0 r_a^2 \quad (2.17)$$

де E_0 – напруженість поля, яке заряджає аерозоль, Н/Кл.

r_a – радіус аерозольної частинки, м.

У зв'язку з тим, що після перших секунд зарядки частинка приймає заряд близький до максимального, то у практичних розрахунках користуються наступною формулою для максимального заряду

$$q_m = 2A \cdot r_a \cdot q_i, \quad (2.18)$$

де A – коефіцієнт, який залежить від концентрації іонів. При $n_i=10^8 \text{ см}^{-3}$, $T=3000\text{K}$, $t=1\text{с}$, $A=1$.

Для визначення рівноважного заряду достатньо малої сферичної частини запропоновано ряд закономірностей. Відповідно до теорії процесу уніполярної дифузної зарядки аерозольних часток у слабких електромагнітних полях із зникаючою малою напруженістю розроблена Арендтом та Кальманом [112]

$$q_a = 4\pi\epsilon_c\epsilon_0 \frac{r_a kT}{q_i} \ln \left(1 + \frac{v_i r_a n_i q_i^2 \tau}{4\pi\epsilon_c\epsilon_0 kT} \right), \quad (2.19)$$

де ϵ_c – відносна діелектрична проникність;

ϵ_0 – діелектрична постійна, Ф/м;

r_a – радіус частинки аерозолю, м;

k – постійна Больцмана, Дж/К;

T – абсолютна температура газу у зоні зарядки, К;

q_i – заряд одновалентного іону, Кл;

v_i – теплова швидкість газових іонів, м/с;

n_i – концентрація іонів у зоні зарядки, м^{-3} ;

τ – час перебування частинки у полі коронного розряду, с

або

$$q_a = \frac{r_a kT}{q_i} \ln \left(1 + 2r_a n_i q_i^2 \tau \sqrt{\frac{2}{\tau m_i kT}} \right), \quad (2.20)$$

де m_i – вага іона, кг.

Величину заряду, який утворюється на частинці за рахунок спрямованого руху іонів з діелектричною проникністю ϵ_a , можна оцінити за відомою формулою Потеньє та Моро-Ано [113]

$$q_a = 4\pi\epsilon_c\epsilon_0 E_0 r_a^2 \delta \left(\frac{\mu m_i q_i \tau}{4\epsilon_c\epsilon_0 + \mu m_i q_i \tau} \right), \quad (2.21)$$

$$\text{де } \delta = 1 + 2 \frac{\varepsilon_a - 1}{\varepsilon_a + 2};$$

E_0 – напруженість зовнішнього поля, В/м;

μ – рухомість іонів, $\text{м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$.

Величину заряду можна визначити за такою формулою [108]

$$q_a = \frac{\left(n_i q_i \frac{\mu}{4\varepsilon_0} \right) \tau}{\left(n_i q_i \frac{\mu}{4\varepsilon_0} \right) \tau + 1} \left(1 + 2 \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} \right) 4\pi\varepsilon_0 E_0 r_a^2. \quad (2.22)$$

Як видно з (2.22) заряд частинок аерозолі пропорційний часу перебування їх у полі коронного розряду. Існує кілька поширених методів визначення даного часу. Наприклад, час, за який досягається заряд, рівний половині максимального часу [108, 112]:

$$\tau = 4\varepsilon_0 r_a (n_i \cdot q_i \cdot \mu), \quad (2.23)$$

$$\tau = \frac{4\varepsilon_0}{\sigma\mu} - \text{час заряду за рахунок електричного поля}; \quad (2.24)$$

$$\tau = \frac{4\varepsilon_0 kT}{r_a q_i \sigma v_T} - \text{тривалість за рахунок дифузії заряду}. \quad (2.25)$$

де σ - об'ємна щільність заряду, Кл/м³;

v_T – теплова швидкість руху іонів, м/с.

Отже, за умови постійних властивостей робочого розчину, час зарядки можна регулювати за рахунок зміни швидкості потоку повітря та рідини.

Аналітичний аналіз фізичних процесів, які протікають в електроаерозолях дозволяє розглядати заряд зернового матеріалу (2.6-2.8) і заряд аерозольної хмари (2.16), як динамічну систему, яка буде прагнути до стану рівноваги, тобто об'ємний заряд даної системи буде прагнути до нейтрального. При цьому сила, з якою будуть взаємодіяти заряди буде тим більшою, чим більше буде їх різниця за модулем.

Механізм наплення розчину на частинки під впливом електроаерозо-

лю складається з двох взаємопов'язаних процесів: коагуляції зерна і водних частинок і осідання компонентів під дією гравітаційних і електричних сил.

На одиницю площі робочої зони S , за час dt , осідає число крапель, рівне $Snv_{oc}dt$. З урахуванням робочого об'єму, в якому здійснюється обробка, можна записати [107]

$$dn = -\frac{Snv_{oc}}{V} dt, \quad (2.26)$$

або

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{Snv_{oc}}{V},$$

де S – площа робочої зони, m^2 ;

n – концентрація електроаерозолі, m^{-3} ;

v_{oc} – швидкість осадження, m/s ;

V – об'єм приміщення, m^3 .

Інтегруючи (2.26) при початкових умовах $t=0$ та $n=n_0$, отримаємо

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{Sv_{oc}t}{V}}. \quad (2.27)$$

Зменшення концентрації необробленого зернового матеріалу у робочому просторі буде пропорційне швидкості його коагуляції з краплями електроаерозолі

$$\frac{dn_d}{dt} = -Knn_d, \quad (2.28)$$

де n_d – концентрація зерна у робочому просторі, m^{-3} ;

K – коефіцієнт коагуляції, m^3/s .

З урахуванням (2.27) отримаємо

$$\frac{dn_d}{dt} = -Kn_0n_d \cdot e^{-\frac{Sv_{oc}t}{V}}. \quad (2.29)$$

Інтегруємо (2.29) та отримаємо

$$\ln n_d = \frac{KV}{Sv_{oc}} n_0 \cdot e^{-\frac{Sv_{oc}t}{V}} + C. \quad (2.30)$$

Постійну C знайдемо при умовах $t=0$ та $n_d=n_{d0}$,

$$C = \ln n_d - \frac{KV}{Sv_{oc}} n_0. \quad (2.31)$$

Підставивши значення C в (2.30) та виконавши перетворення одержимо

$$n_d = n_{d0} \cdot e^{\frac{KV}{Sv_{oc}} n_0 \left[1 - \exp\left(\frac{Sv_{oc}t}{V}\right) \right]}. \quad (2.32)$$

Позначивши висоту робочої зони через h , отримаємо

$$n_d = n_{d0} \cdot e^{\frac{Kh}{v_{oc}} n_0 \left[1 - \exp\left(\frac{v_{oc}t}{h}\right) \right]}. \quad (2.33)$$

З виразу (2.33) витікає, що зміна концентрації необробленого зерна у робочій зоні залежить тільки від висоти h робочого простору пристрою обробки.

Коефіцієнт коагуляції залежить від властивостей розчину та зернового потоку, а також характеру їх руху. Якщо не розглядати турбулентну коагуляцію, отримаємо

$$K = K_k + K_e, \quad (2.34)$$

де K_k – коефіцієнт кінетичної коагуляції, $\text{м}^3/\text{с}$;

K_e – коефіцієнт електростатичної коагуляції, $\text{м}^3/\text{с}$.

Коефіцієнт кінетичної коагуляції визначається як [114]

$$K_k = \pi r_a^2 \frac{r_d}{r_a} v = \pi r_a r_d v, \quad (2.35)$$

де r_d – еквівалентний радіус насіння зерна, м;

v - відносна швидкість руху крапель електроаерозолі та зерна, м/с.

Коефіцієнт електростатичної коагуляції можна виразити залежністю [115]

$$K_e = 1,512\pi v \left(\frac{r_d^2 q^2}{\rho_d g (r_a^2 - r_d^2)} \right)^{2/5}, \quad (2.36)$$

де ρ_d – щільність зернового матеріалу, кг/м³;

g – швидкість вільного падіння, м/с².

Таким чином, коефіцієнт коагуляції дорівнює

$$K = \pi v \left[r r_d + 1,512 \left(\frac{r_d^2 q^2}{\rho_d g (r_a^2 - r_d^2)} \right)^{2/5} \right]. \quad (2.37)$$

Підставимо отриманий вираз (2.37) у (2.33) і отримаємо вираз зміни концентрації необробленого зерна у повітрі робочого розчину при електроаерозольній обробці (приймаємо $v=v_{oc}$)

$$n_d = n_0 \cdot e^{\pi h n_0 (r_a r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{v_{oc} t}{h}\right) \right]}, \quad (2.38)$$

$$\text{де } k_1 = 1,512 \left(\frac{r_d^2 q^2}{\rho_d g (r_a^2 - r_d^2)} \right)^{2/5}.$$

При математичному аналізі функції зміни концентрації від часу $n_d=f(t)$, впливає, що перша похідна даної функції при будь-яких фізичних параметрах електроаерозолі та зернового матеріалу має від'ємний знак, що свідчить про спадаючий характер зміни концентрації (2.38)

$$(n_d)' = f'(t) = -n_{d0} \pi h n_0 \frac{v_{oc}}{h} (r_a r_d + k_1) \cdot e^{\pi h n_0 (r_a r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{v_{oc} t}{h}\right) \right]} \cdot e^{\frac{v_{oc} t}{h}}. \quad (2.39)$$

Виконаємо заміни:

$$C_1 = n_{d0} \pi h n_0 \frac{v_{oc}}{h} (r_d r_d + k_1), \quad (2.40)$$

$$C_2 = e^{\pi h n_0 (r_d r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{v_{oc} t}{h}\right) \right]}, \quad (2.41)$$

$$C_3 = e^{\frac{v_{oc} t}{h}}. \quad (2.42)$$

Тоді отримаємо похідні

$$C_2' = -\pi h n_0 (r_d r_d + k_1) e^{\pi h n_0 (r_d r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{v_{oc} t}{h}\right) \right]} \cdot e^{\frac{v_{oc} t}{h}} \quad \text{та} \quad C_3' = \frac{v_{oc}}{h} e^{\frac{v_{oc} t}{h}}. \quad (2.43)$$

Друга похідна функції $n_d = f(t)$ матиме вигляд

$$(n_d)'' = f''(t) = -C_1 (C_2' \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3') = -(C_1 \cdot C_2' \cdot C_3 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3'). \quad (2.44)$$

На основі зроблених заміन (2.40-2.43) отримаємо, що функція матиме точку перегину або точку найбільш інтенсивного осадження, яку можна визначити з рівняння

$$\pi h n_0 (r_d r_d + k_1) \cdot e^{\frac{v_{oc} t}{h}} - \frac{v_{oc}}{h} = 0, \quad (2.45)$$

що відповідає положенням, які наведені у роботі Лекомцева П.Л. [107] при дослідженні зміни концентрації пилу (рис. 2.2).

Криві на рис.2.2 отримані для розрахункової висоти приміщення $h = 6\text{ м}$. Як видно з графіків, концентрація пилу в приміщенні при електроаерозольній обробці зменшується практично до нуля [107]. Найбільш швидко концентрація необробленого зерна зменшуватиметься при високих витратах рідини і високих значеннях напруги зарядки. На високих витратах рідини збільшується концентрація крапель електроаерозолі, що в свою чергу призводить до збільшення коагуляції крапель рідини і об'єкта [107].

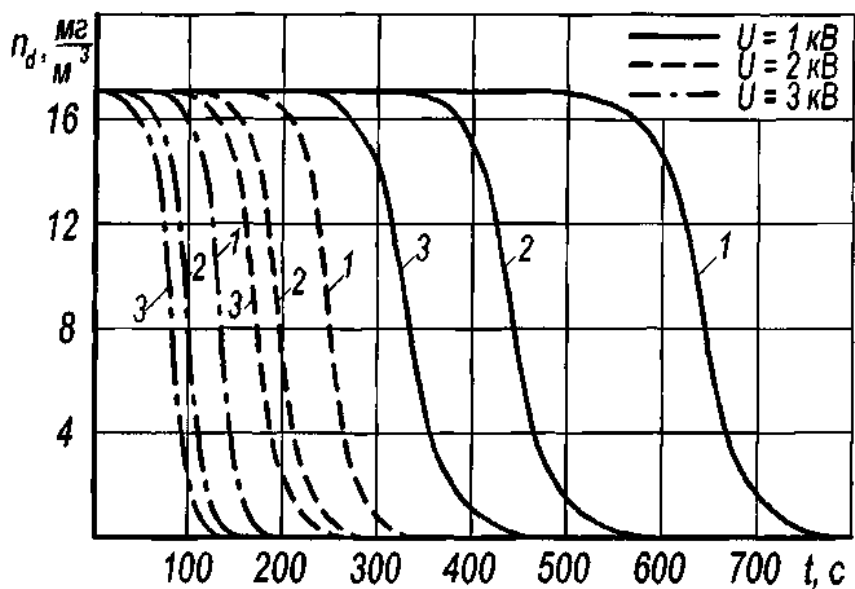


Рис. 2.2. Залежність концентрації пилу n_d від часу t при різних напругах U та витратах рідини Q_p : 1 для $Q_p = 1$ мл/с; 2 для $Q_p = 4$ мл/с; 3 для $Q_p = 9$ мл/с;

Із збільшенням напруги поля заряду збільшується електростатична коагуляція, що також призводить до швидкого зниження концентрації необробленого зерна.

Отримані результати дозволяють продовжити дослідження технологічного процесу електроаерозольної обробки зернового матеріалу перед посівом з обґрунтуванням конструкції електротехнологічного комплексу та режимів його роботи. Дослідження отриманих виразів показує, що із збільшенням висоти робочої зони камери обробки збільшується час обробки. В той же час, ні розміри зернового матеріалу, ні значення його щільності, майже не впливають на швидкість обробки.

Представлений математичний апарат дозволяє обґрунтувати режими роботи порційного протруювача зернового матеріалу, який знаходиться у режимі спокою. Але при дослідженні динамічних систем (зернова маса, яка переміщується під дією механічних робочих органів, або під дією сил гравітації під час вільного падіння) суттєво ускладнюється математичний опис фізичних процесів. У рівнянні (29) додається складова, яка характеризує переміщення насіння у просторі.

Отримані результати дозволяють зробити підґрунтя для використання математичного апарату статистичної фізики, в основі якого лежать кулонівські сили (2.1), величина заряду насіння зернових (2.6-2.8) та аерозолі (2.16-2.22). У подальших дослідженнях необхідно обґрунтувати конструкцію ЕТК.

2.2 Створення та руйнування електроаерозолів у робочій камері

В даний час існує достатньо велика кількість способів електризації аерозольних частинок [64, 93, 107], які розглянуті п. 1.4.1. : зарядка шляхом механічної, хімічної або теплової електризації; іонна електризація - за рахунок осадження іонів на поверхні частинок; зарядка, заснована на явищі електростатичного індукції, тобто поділу зарядів в електростатичному полі.

Зарядку в електростатичному полі поділяють на контактну і індукційну [94]. При контактній зарядці рідина знаходиться на потенційному електроді, при індукційній - на заземленому.

Аналіз робіт Дунського В.Ф., Савушкина А.В., Лекомцева П.Л. [52, 92, 93, 107] показує, що зарядка аерозольних часток в електростатичному полі має ряд переваг перед їх зарядкою у полі коронного розряду: технічно легше реалізується поєднання процесу диспергування і зарядки рідини в просторі і в часі ; вимагає більш низької напруги і струму зарядки, отже, економічніша; не забруднює навколишнє середовище оксидами азоту і озоном, що утворюються в коронному розряді.

Розглянемо цей спосіб зарядки більш докладно. Процес зарядки рідини в електростатичному полі вперше описав Бурхарт Е. [107]. Він розглядав міжелектродний проміжок як двошаровий конденсатор. У початковий момент прикладена до електродів напруга ділиться між ємностями, а потім наявність вільних зарядів в рідині з початковою об'ємною щільністю в $\sigma_{\text{в0}}$, призводить до зменшення заряду ємності, утвореною шаром рідини, і накопиченню зарядів на поверхні розділу рідина-діелектрик.

Відомо, що з плином часу об'ємна щільність заряду зменшується згідно із рівнянням [94]

$$\sigma_v = \sigma_{v0} e^{-\frac{\gamma_2 t}{\varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0}}, \quad (2.46)$$

де σ_{v0} – об'ємна щільність заряду, Кл/м³;

γ_2 – питома об'ємна струмопровідність рідини, (Ом·м)⁻¹;

t – час, с;

ε_2 – відносна діелектрична проникність рідини;

ε_0 – електрична постійна, Ф/м.

Бураєв Т.К., Сланов В.Н. визначили поверхневу щільність заряду σ_s на межі розділу двох діелектриків [116]

$$\sigma_s = \frac{\varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0 \cdot U}{l_1 + l_2} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (2.47)$$

Максимальний заряд сферичної частинки, яка є струмопровідною та знаходиться на одному з електродів плоского конденсатора, описаний Лебедевим Н.М. та Скальською І.П. [107]

$$q = -\frac{2\pi^3}{3} \varepsilon_0 E r^2, \quad (2.48)$$

де E – напруженість електричного поля, В/м;

r – радіус частинки, м.

Отримані вирази (2.46-2.48) дають уявлення про механізм зарядки часток в електростатичному полі без урахування процесу їх формування. Дунським В.Ф. отриманий вираз для конвекційного струму заряджених часток у випадку розпилювання струмопровідної рідини диском-електродом, який обертається [107]

$$I_k = \sigma_m v_n 2\pi R, \quad (2.49)$$

де σ_m – поверхнева щільність заряду, Кл/м².

Вираз (2.49) приблизний, оскільки він не враховує заряд одиночних крапель, та придатний для рідин, для яких постійна зарядки τ набагато менша часу знаходження плівки рідини в електростатичному полі.

Савушкіним А.В. [92] отриманий вираз конвекційного струму для диску, виготовленого з діелектричного матеріалу

$$I_k = k 2\pi R \varepsilon_0 U \nu_n \left(\frac{\varepsilon_2}{d_2} + \frac{\varepsilon_4}{d_4} \right), \quad (2.50)$$

де k – коефіцієнт, який враховує вплив додаткових факторів на процес зарядки;

ε_4 та d_4 – відповідно відносна діелектрична проникність та товщина диска розпилювача.

Величину заряду, при якому спостерігається гідродинамічна нестабільність краплі, визначив Реллей Л. [107]

$$q = 8\pi \sqrt{E \alpha r^3}. \quad (2.51)$$

З аналізу формули (2.51) випливає, що зі збільшенням радіуса частки r і поверхневого натягу рідини α , граничний заряд краплі зростає.

Губенський В.А. [107], досліджуючи дроблення рідини, яка вільно витікає з капіляра, показав, що для розпилення найбільш придатні рідини з $\gamma_2 = 2 \cdot 10^{-8} \dots 8 \cdot 10^{-7} \text{ (Ом} \cdot \text{см)}^{-1}$ та $\varepsilon = 6 \dots 12$.

Бураєв Т.К. і Верещагін І.П., уточнивши висновки Губенського В.А., теоретично і експериментально показали, що на процес дроблення краплі сильно впливає коефіцієнт поверхневого натягу [107]. При розпилюванні рідин $\sigma > \sigma_{кр}$, на поверхні краплі виникає коронний розряд, що перешкоджає її дроблення.

Можна припустити, що встановлені закономірності є справедливими і для дроблення рідини в електростатичному полі.

Зменшення середнього розміру часток при дробленні рідини механічними розпилювачами в електростатичному полі, вперше було помічено Дунським В.Ф. і Кітаєвим А.В. [117]. Збільшення дисперсності при електризації аерозолі вони пояснюють дією електростатичного тиску, який втягує поверхню струменя всередину електричного поля і зменшує поверхневий натяг рідини.

Проведений аналіз показує, що в існуючих теоретичних дослідженнях не знайшли належного відображення питання осадження електризованого аерозолі на насіннєвому матеріалі.

2.2.1 Фізичні процеси в електроаерозолях

В хмарі уніполярного зарядженого аерозолі відбуваються різні фізичні процеси. Сили кулонівської взаємодії заряджених частинок зумовлюють процес електростатичного розсіювання електроаерозолі. Одночасно з цим відбуваються процеси коагуляції, дифузії і випаровування частинок. На кожну частинку також діє гравітаційна сила.

Фуксом Н.А. отримана формула, що описує електростатичне розсіювання монодисперсного уніполярного зарядженого аерозолі [114]

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n^2 q^2}{\varepsilon_0 6\pi\eta_b r}, \quad (2.52)$$

де n – концентрація частинок аерозолі, м^{-3} ;

q – заряд частинки, Кл.

З виразу (2.52) витікає, що електростатичне розсіювання є внутрішньою властивістю аерозолі і залежить від розміру, заряду та концентрації частинок.

Явище електростатичного розсіювання було експериментально дослі-

джено Фуксом Н.А. [115]. Опір середовища руху часток аерозолі, без урахування інерційних сил, можна описати формулою Стокса [114]

$$F = -6\pi\eta_{\text{в}}rv, \quad (2.53)$$

де v - швидкість руху часток.

У випадку гравітаційного осадження

$$v = v_g = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (\rho_p - \rho_c)}{\eta_{\text{в}}}, \quad (2.54)$$

де g – прискорення вільного падіння.

З виразу (2.54) виходить, що швидкість гравітаційного осадження пропорційна квадрату розміру часток.

Формула (2.53) відповідає випадкам, коли значення числа Рейнольдса, наближені до одиниці $Re \geq 1$ [114]. Друге наближення формули Стокса з урахуванням інерційних сил, отримано Осесном С. [107],

$$F = -6\pi\eta_{\text{в}}rv \left(1 + \frac{3}{8} \frac{r\rho_c v}{\eta_{\text{в}}} \right) = -6\pi\eta_{\text{в}}rv \left(1 + \frac{3}{16} Re \right), \quad (2.55)$$

$$\text{де } Re = \frac{2r\rho_c v}{\eta_{\text{в}}}.$$

Концентрація частинок аерозолі змінюється за рахунок коагуляції та дифузії. Таунсенд Д. [107], розглядаючи коагуляцію уніполярно зарядженого аерозолі, запропонував формулу

$$\frac{dn}{dt} = -8\pi D n^2 r \lambda, \quad (2.56)$$

$$\text{де } D = \frac{RT}{6\pi\eta r N}; \quad \lambda = \frac{q_1 q_2}{2rkT};$$

R – газова постійна, Дж/(К·моль);

T – абсолютна температура, К;

N – число Авогадро, 1/моль;

k – постійна Больцмана, Дж/К.

З виразу (2.56) випливає, що швидкість коагуляції пропорційна заряду частинок та квадрату концентрації аерозолі, яку можливо визначити. Для біполярно зарядженого аерозолі отримано вираз [118]

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{4\pi q^2 D(n_+ - n_-)^2}{kT}. \quad (2.57)$$

Загальна швидкість зменшення концентрації аерозолі, що обчислюється, за рахунок коагуляції та електростатичного розсіювання уніполярно зарядженого аерозолі, отримана у вигляді

$$\frac{dn}{dt} = -8\pi D n^2 \left(\frac{\lambda}{e^\lambda - 1} + \lambda \right), \quad (2.58)$$

для біполярно зарядженого аерозолі

$$\frac{dn}{dt} = -K \left[\frac{(n_+^2 + n_-^2)\lambda + 2n_+ n_- \lambda e^\lambda}{e^\lambda - 1} \right] + \frac{4\pi q^2 D(n_+ - n_-)^2}{kT}, \quad (2.59)$$

де $K = \frac{2}{3} \frac{RTs}{\eta_b N}$ – константа коагуляції нейтрального аерозолі.

Вплив коагуляції може істотно проявитися лише при великих концентраціях аерозолі. Коагуляція за рахунок дифузії помітна при діаметрі частинок аерозолі менше 0,1 мкм [118]. Для аерозолів, отриманих диспергуванням рідини, впливом дифузії можна знехтувати. Випаровування сферичної частинки описали Максвелл Д. і Ленгмюр І. [107]

$$-\frac{dm}{dt} = 4\pi D m_2 c_0 r, \quad (2.60)$$

де D – коефіцієнт дифузії пара, м²/с;

c_0 – концентрація насиченого пара, у молекулах на 1 см³;

m_2 – вага дифундуючих молекул, кг.

Випаровування одинарної краплі описується формулою Максвелла Д.

[107]

$$r = \sqrt{r_0^2 - \frac{2D}{\rho_p}(c_0 - c_\infty)t}, \quad (2.61)$$

де r_0 – початковий радіус краплі у початковий момент часу, м;

c_0 – концентрація насиченої пари біля поверхні краплі, кг/м^3 ;

c_∞ – концентрація пари в оточуючому середовищі, кг/м^3 .

З виразу (2.61) випливає, що час випаровування краплі зворотно пропорційний різниці концентрації насиченого пара на поверхні і ненасиченого - в навколишньому середовищі. Час існування крапель в аерозольній хмарі може становити кілька десятків хвилин [119, 115]. Швидкість випаровування вільно падаючої краплі підвищується і описується формулою

$$-\frac{dm}{dt} = 4\pi D m_2 (c_0 - c_\infty) [1 + \alpha \sqrt{\text{Re}}], \quad (2.62)$$

де $\alpha = 0,276 \sqrt{\frac{\nu}{D}}$ - константа, яка характеризує речовину, що випаровується.

Аналіз наведених процесів показує, що найбільший вплив на хмару зарядженого аерозолі здійснює електростатичне розсіювання та гравітаційне осадження. Тому найбільш оптимальним способом транспортування зарядженого аерозолі до робочої камери є електростатичне розсіювання з урахуванням повітряного потоку, створюваного генератором аерозолі.

2.2.2 Осадження електроаерозолі на поверхнях

Збільшення ступеня осадження зарядженого аерозолі в порівнянні з незарядженими частинками на стелю і стіни приміщення вперше отримали Дунський В.Ф. і Китаєв А.В. [107]. За даними зазначених учених електризація підсилює осадження частинок і сприяє більш рівномірному їх розподілу

на заземлених провідниках з різною кривизною поверхні.

Дунський В.Ф. і Китаєв А.В. [68] запропонували наближену теорію осадження уніполярного зарядженого монодисперсного електроаерозолі в закритому приміщенні під дією гравітаційних і електростатичних сил. Диференціальне рівняння цього процесу записується у вигляді

$$\frac{dn}{dt} = \frac{N}{V} - \frac{n v_e S}{V} - \frac{n}{V} \int_S v_g dS. \quad (2.63)$$

Нерівномірність обробки поверхонь приміщення, обумовлене впливом сили тяжіння, характеризується такими коефіцієнтами:

$$K_n = \frac{v_e - v_g}{v_e + v_g}; \quad (2.64)$$

$$K_{ст} = \frac{v_e}{v_e + v_g}, \quad (2.65)$$

де v_e – швидкість руху часток під дією об'ємного заряду.

Справедливість виразів (2.64), (2.65) була підтверджена експериментальними дослідженнями. Китаєв А.В. відзначає [117], що найбільший ефект для електростатичного осадження дають частинки розміром 10^{-3} см і менше, так як їх електрична швидкість осадження набагато перевищує гравітаційну, що дозволяє обґрунтувати вимогу до розміру часток аерозолі генератора.

2.2.3 Джерела високовольтної напруги

Для отримання в джерел вторинного електроживлення (ДВЕ) потрібних вихідних параметрів, створювалися різні типи перетворювачів – від однотактних до двотактних, напівмостових і мостових. Крім цього, в блоках живлення застосовувалися різні комбінації вищезгаданих структур. Наприклад, використовувалися методи стабілізації (регулювання) як вхідних напруг шляхом установки стабілізатора перед вузлом перетворення енергії, так

і регуляторів, що встановилися після перетворюючої ланки.

Крім цього класу пристроїв, можна виділити засоби електроживлення, що працюють від мережі змінного струму без використання силового (мережевого) трансформатора "без трансформаторні" ДВЕ [120].

Основним принципом створення імпульсних високовольтних джерел є принцип накопичення електромагнітної енергії в ємнісному (конденсатори з малою індуктивністю і формуючі лінії) або індуктивному накопичувачі з подальшою передачею енергії до навантаження.

Принцип з використанням індуктивного накопичувача використовується при отриманні високовольтних імпульсів для потужної імпульсної техніки. Щільність енергії, що запасається в індуктивних накопичувачах, на два порядки вища, ніж у ємнісних, а, отже, вартість таких накопичувачів менша. Імпульсна напруга при обриві струму може бути на виході значно вища, ніж напруга на попередній стадії формування імпульсу.

Існують різні пристрої для одержання високої напруги в електротехнологіях згідно принципів накопичення електромагнітної енергії. При розгляді пристроїв, приведено їх основні відмінні або характерні ознаки, а також наведено дані що до вихідних напруг, струмів, частот проходження імпульсів, які носять узагальнений характер. Оскільки форма вихідного сигналу пристроїв для одержання високої напруги індивідуальна для кожного пристрою і є основним параметром пристроїв, то осцилограми вихідних сигналів мають узагальнений вигляд.

Імпульсне джерело напруги запропоноване В. К. Аркадьєвим і Е. Марксом складається з системи резистивно-ємнісних ланцюжків і комутуючих (іскрових або напівпровідникових) елементів, а його схема зображена на рис. 2.3. Принцип підвищення (множення) напруги полягає в паралельному заряді накопичувальних елементів (C_1) через зарядні резистори (R_a , R_2) від джерела напруги (E) і з послідовним з'єднанням в розрядний ланцюг за допомогою комутуючих елементів (VS_1) при формуванні імпульсу напруги. При цьому вихідна напруга додається (множиться) і залежить від кількості

накопичувальних елементів. Напруга $U = n \cdot U_1$ (U_1 - напруга заряду конденсатора ступені) на виході джерела може досягати значень мегавольтного діапазону при цьому струм становить до одиниць кілоампер, а частота проходження імпульсів до 10 Гц [121, 122].

Типова форма напруги на виході даного джерела імпульсних напруг показана на рис. 2.4 [123].

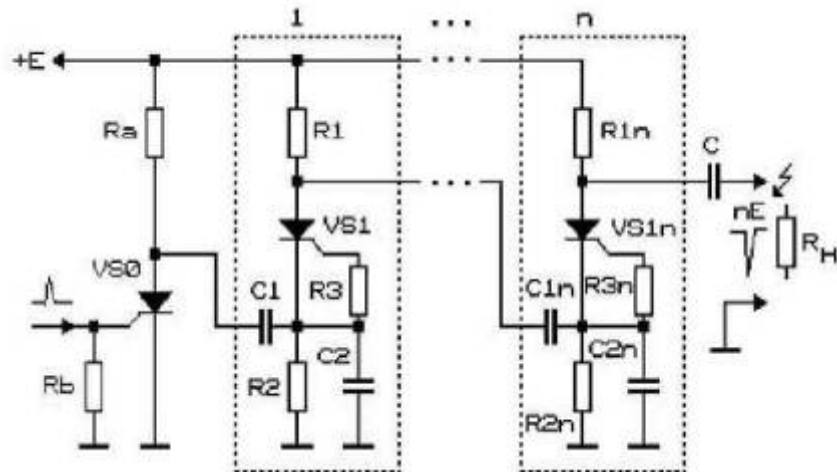


Рис. 2.3. Схема імпульсного джерела напруги Аркадьєва-Маркса на напівпровідникових елементах

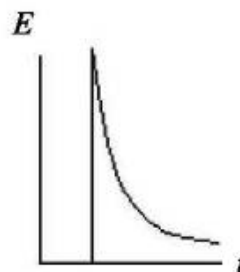


Рис. 2.4. Форма напруги на виході імпульсного джерела напруги Аркадьєва-Маркса на напівпровідникових елементах

Пристрій для одержання високої напруги на конденсаторах зі змінною величиною ємності ($C_i > C_{i+1}$) складається з системи послідовно включених конденсаторів різної ємності, які розділені діодами VD (рис. 2.5). При заряді накопичувальних конденсаторів C від джерела змінної напруги U_1 , відбувається передача енергії по послідовному ланцюжку і тим самим поступове підвищення вихідної напруги. Вихідна напруга залежить від відношення мак-

симальної C_{MAX} величини ємності конденсатора до мінімальної C_{MIN} [122]

$$U_2 = U_1 \frac{C_{max}}{C_{min}}. \quad (2.65)$$

Форма вихідної напруги представлена на рис. 2.6. Граничне значення напруги для даної схем становить 100 кВ, струм 10^{-3} А.

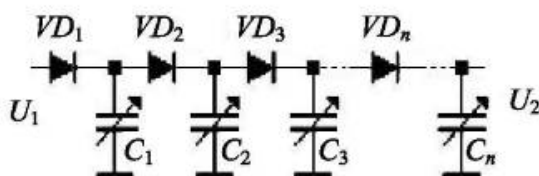


Рис. 2.5. Схема джерела високої напруги на конденсаторах зі змінною величиною ємності

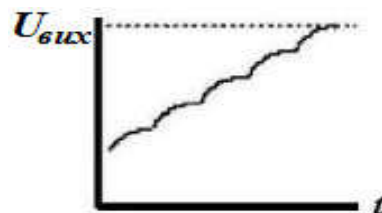


Рис. 2.6. Форма вихідної напруги джерела на конденсаторах зі змінною величиною ємності

Якщо в даній схемі паралельно конденсатору підключити комутатор FV1 (рис. 2.7), то при перевищенні на конденсаторі напруги пробоем комутатора, відбувається передача енергії до навантаження R_H . Подається нова порція енергії від джерела E і процес повторюється. Частота проходження таких імпульсів 0,1 Гц. Форма вихідної напруги представлена на рис. 2.8.

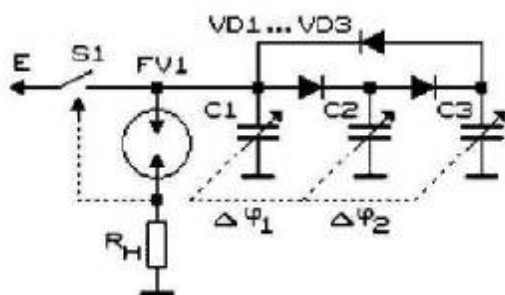


Рис. 2.7. Схема високовольтного джерела напруги на конденсаторах з змінною величиною ємності з розрядником

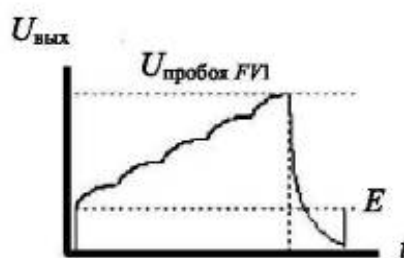


Рис. 2.8. Форма вихідної напруги високовольтного джерела напруги на конденсаторах зі змінною величиною ємності та розрядником

2.3 Математичні основи моделювання обробки зернового матеріалу у хмарі електризованого аерозолю

Аналіз розвитку рільництва показує, що одним з визначальних факторів стабілізації його ефективності залишається висока технологічна дисципліна. При цьому, недосконалість технологій і технічних засобів хімічного захисту рослин від шкідників і хвороб, а також недотримання інших агротехнічних і технологічних вимог приводять до надлишкового вмісту пестицидів у ґрунті, забруднення водойм і ґрунтових вод, гнобленню життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, знищенню корисної мікрофлори [15].

У свою чергу метою інкрустації насіння є захист молодих сходів рослини від бактеріальних збудників, грибних і вірусних захворювань, забезпечення стартовою дозою мікро- і макроелементів для подальшого розвитку й урожайності [3]. У контексті сказаного вище слід розглянути симбіоз використання сучасних препаратів стимулювання й захисту насінного матеріалу й електротехнологій. Потрібні нові технології й устаткування, які були б побудовані по раціональних принципах і вигідно відрізнялись від існуючого, що дозволило б забезпечити рівномірність хімічної обробки й знизити витрату препаратів.

У цих умовах зростає актуальність двох проблем: вибір принципових схем засобів хімічного захисту рослин [14, 15]; створення екологічно безпечного обприскувача, здатного значно знизити забруднення біосфери. Останню проблему нами пропонується вирішувати за рахунок інкрустації насіння зернових у полі електризованого аерозолю.

Основою проектування таких електротехнічних комплексів є результати математичного моделювання їх функціонування та взаємодії з об'єктом [124]. В якості такої оцінки необхідно використовувати моделі двостороннього впливу, оскільки вони найбільш повно дозволять оцінити ступінь пристосованості обраної технології електротехнологічного комплексу та зернового матеріалу до виконання поставлених задач. У даний час набирають по-

пулярності моделі побудовані на основі динаміки середніх [125, 126].

У контексті обробки зернового матеріалу у полі електризованого аерозолю, при побудові моделей цього типу, можна вважати, що відповідно до закону великих чисел, численність необробленого зернового матеріалу у кожний момент часу є близькою до свого середнього значення (математичне очікування), що дає змогу відмовитись від вивчення подробиць, пов'язаних із випадковим станом окремо взятої зернини або краплини аерозолю, та розглядати процес обробки зернового матеріалу як детермінований.

До переваг моделей цього типу відноситься їх простота [124]. Але, не враховуючи стохастичний характер технологічного процесу (ТП), такі моделі можуть призвести до суттєвих похибок.

Інший тип моделей подібних ТП представляє собою статистичні моделі, побудовані на основі метода статистичних випробувань Монте-Карло [127]. Вони дозволяють описати ТП, а також його стан у заданий момент часу з будь-яким ступенем точності та повноти. Однак, через високі вимоги до обчислювальної потужності, що призводить до великих часових витрат при розрахунках, вони не можуть бути використані при розв'язанні ряду техніко-технологічних задач (а саме, на початкових етапах проектування нових технологій).

Одним із можливих способів побудови ймовірнісних моделей зазначеного ТП, є використання теорії так званих марківських процесів [124, 128]. Моделі цього типу суттєво простіші статистичних моделей. При обробці зерна аерозолем, процес носить стохастичний характер і вони дозволяють описати його та визначити основні показники з більш високим ступенем достовірності, ніж моделі динаміки середніх.

Розглянемо ТП з огляду на дві складові (зерно, аерозоль). Припустимо, що перша сторона (x) на початку ТП має x_0 необробленого зерна. Друга сторона (y) на початку технологічного процесу матиме y_0 часток аерозолю. Можливі наступні варіанти реалізації ТП. У першому з них, усі елементи сторони x починають роботу, тобто зерно подається у робочий простір аерозольної

обробки зерна, після чого подаються частинки аерозолі у. У другому випадку обидві сторони подаються у робочу камеру одночасно. Третій випадок полягає у тому, що аерозоль у вже знаходиться у робочій камері, а зерно починає подаватись на обробку. У подальшому прийнято, що елементи сторін подаються у робочу камеру одночасно.

В усіх випадках вважаємо, що краплини аерозолі переважно «атакують» необроблене зерно, що можливо лише у випадку електрично зарядженого зерна та часток аерозолі [14].

Також вважаємо, що ймовірність P_x потрапляння зерна на частинку аерозолі сторони у та ймовірність P_y потрапляння частинки аерозолі на необроблене зерно x протягом технологічного процесу залишаються незмінними, але не обов'язково рівними одна одній [124]. ТП зупиняється, коли зерно буде оброблене, або закінчиться робочий розчин аерозолі.

Пропонований до розгляду технологічний процес можна представити марківським процесом, стан якого відображають двовірні точки

$$\{(p:q)/p=0; 1; \dots x_0; q=0; 1; \dots y_0\}. \quad (2.66)$$

Якщо $p=0$ або $q=0$, то такий стан є стійким. Найважливішою характеристикою цього процесу є матриця стану системи [129]

$$A(t) = \begin{pmatrix} F_{00}(t) & F_{01}(t) & \dots & F_{0l}(t) & \dots & F_{0y_0}(t) \\ F_{10}(t) & F_{11}(t) & \dots & F_{1l}(t) & \dots & F_{1y_0}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{k0}(t) & F_{k1}(t) & \dots & F_{kl}(t) & \dots & F_{ky_0}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{x_0 0}(t) & F_{x_0 1}(t) & \dots & F_{x_0 l}(t) & \dots & F_{x_0 y_0}(t) \end{pmatrix}, \quad (2.67)$$

де $F_{ij}(t)$ – ймовірність того, що у момент часу t залишилось i необроблених зерен сторони x та j часток аерозолі сторони y . На початку ТП ($t_0=0$) $F_{x_0 y_0}(0)=1$; $F_{ij}(0)=0$ при $i+j < x_0+y_0$.

Стан $(0:0)$ є станом даної системи тільки у випадку, коли існує момент часу ТП, в який сторони x та y одночасно подають свої елементи у робочу зону. Якщо зерно та аерозоль подаються по чергово, то стан $(0:0)$ не є станом

системи, яка розглядається, тобто $F_{00}(t) \equiv 0$ для будь-якого моменту часу ТП.

У першому та третьому випадках одна із сторін, яка попередньо знаходиться у робочій зоні, може перейти із стану $(k:l)$ тільки у стан $(k:i)$ у першому випадку, та $(k:j)$ – у третьому випадку (у подальшому розглядаємо третій випадок, коли аерозоль наявний у робочій зоні до подачі зерна), де

$$i = \begin{cases} l-k; l-k+1; \dots l & \text{при } k < l \\ 0; 1; \dots l & \text{при } k \geq l. \end{cases} \quad (2.68)$$

У випадку використання електризованого аерозолю, можна зазначити, що покриття відбувається рівномірно по всіх необроблених зернах. Використовуючи схему Бернуллі [124], отримаємо, що ймовірності переходів системи зі стану $(k:l)$ при подачі аерозолю x обчислюється наступним чином:

а) якщо $l=l$, то

$$\begin{aligned} P(k:l \rightarrow k:0) &= 1 - (1 - P_x)^k \\ P(k:l \rightarrow k:1) &= (1 - P_x)^k; \end{aligned} \quad (2.69)$$

б) якщо $k < l$ то

$$\begin{aligned} P(k:l \rightarrow k:0) &= 0 \\ &\dots \dots \dots \\ P(k:l \rightarrow k:(l-k-1)) &= 0; \\ P(k:l \rightarrow k:(l-k)) &= P_x^k \\ &\dots \dots \dots \\ P(k:l \rightarrow k:i) &= C_k^{k-l+i} P_x^{l-i} (1 - P_x)^{k-l+1} \\ &\dots \dots \dots \\ P(k:l \rightarrow k:(l-1)) &= k P_x (1 - P_x)^{k-1} \\ P(k:l \rightarrow k:l) &= (1 - P_x)^k \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\text{де } C_i^j = \frac{i!}{j!(i-j)!};$$

в) якщо $k=l-r$, де r - ціле число, вважаємо, що по кожній одиниці зерна сторон x попадає r часток аерозолю сторони y , отримаємо:

$$\begin{aligned}
P(k:l \rightarrow k:0) &= P_{xr}^l \\
P(k:l \rightarrow k:1) &= lP_{xr}^{l-1}(1-P_{xr}) \\
&\dots\dots\dots \\
P(k:l \rightarrow k:i) &= C_l^i P_{xr}^{l-i}(1-P_{xr})^i \\
&\dots\dots\dots \\
P(k:l \rightarrow k:(l-1)) &= lP_{xr}(1-P_{xr})^{l-1} \\
P(k:l \rightarrow k:l) &= (1-P_{xr})^l,
\end{aligned} \tag{2.71}$$

де $P_{xr} = 1 - (1 - P_x)^r$.

Якщо $k=r \cdot l + s$, де r, s - цілі числа, вважаємо, що по кожній з s часток аерозолі у попадає $r+l$ штук зерна сторони x , а $l-s$ часток аерозолі у попадає по r зернівок потоку зерна x . Тоді маємо наступне:

г) при $2s < l$

$$\begin{aligned}
P(k:l \rightarrow k:i) &= \\
&= \begin{cases} \sum_{j=0}^i C_s^j C_{l-s}^{i-j} P_{x(r+1)}^{s-j} (1-P_{x(r+1)})^j \times P_{xr}^{l-i-s+j} (1-P_{xr})^{i-j} & \text{нпу } 0 \leq i \leq s \\ \sum_{j=0}^s C_s^j C_{l-s}^{i-j} P_{x(r+1)}^{s-j} (1-P_{x(r+1)})^j \times P_{xr}^{l-i-s+j} (1-P_{xr})^{i-j} & \text{нпу } s < i \leq l-s \\ \sum_{j=0}^{l-i} C_{l-s}^j C_s^{l-i-j} P_{x(r+1)}^{l-i-j} (1-P_{x(r+1)})^{i-l+s+j} \times P_{xr}^j (1-P_{xr})^{l-s-j} & \text{нпу } l-s < i \leq l \end{cases} \tag{2.72}
\end{aligned}$$

де $P_{x(r+1)} = 1 - (1 - P_x)^{r+1}$;

д) при $2s = l$

$$\begin{aligned}
P(k:l \rightarrow k:i) &= \\
&= \begin{cases} \sum_{j=0}^i C_s^j C_s^{i-j} P_{x(r+1)}^{s-j} (1-P_{x(r+1)})^j \times P_{xr}^{s-i+j} (1-P_{xr})^{i-j} & \text{нпу } 0 \leq i \leq s \\ \sum_{j=0}^{l-i} C_{l-s}^j C_s^{l-i-j} P_{x(r+1)}^j (1-P_{x(r+1)})^{s-j} \times P_{xr}^{l-i-j} (1-P_{xr})^{i-s+j} & \text{нпу } s < i \leq l \end{cases} \tag{2.73}
\end{aligned}$$

е) при $2s > l$

$$\begin{aligned}
P(k:l \rightarrow k:i) = & \\
= & \begin{cases} \sum_{j=0}^i C_s^j C_{l-s}^{i-j} P_{x(r+1)}^{s-j} (1 - P_{x(r+1)})^j \times P_{xr}^{l-i-s+j} (1 - P_{xr})^{i-j} & \text{при } 0 \leq i \leq l-s \\ \sum_{j=0}^{l-s} C_{l-s}^j C_s^{l-i-j} P_{x(r+1)}^{l-i-j} (1 - P_{x(r+1)})^{i-l+s+j} \times P_{xr}^j (1 - P_{xr})^{l-s-j} & \text{при } l-s < i < s \\ \sum_{j=0}^{l-i} C_{l-s}^j C_s^{l-i-j} P_{x(r+1)}^{l-i-j} (1 - P_{x(r+1)})^{i-l+s+j} \times P_{xr}^j (1 - P_{xr})^{l-s-j} & \text{при } s \leq i \leq l \end{cases} \quad (2.74)
\end{aligned}$$

де P_x – ймовірність потрапляння аерозолю сторони y на зерно сторони x .

Ймовірності стану системи після подачі зерна на обробку матимуть наступні значення:

а) якщо $k=1; 2 \dots x_0, l=1; 2 \dots y_0$, то

$$F_{kl}(t) = P(k;l) = \sum_{i=l}^{y_0} P_0(k:i) P^*(k:i \rightarrow k:l) - P_0(k:l) \sum_{j=0}^{l-1} P(k:l \rightarrow k:j); \quad (2.75)$$

де $P_0(i;j)$ - ймовірність того, що до подачі зерна на обробку система знаходилась у стані $(i;j)$;

б) якщо $k=1; 2 \dots x_0, l=0$, то

$$F_{k0}(t) = P(k;0) = P_0(k:0) + \sum_{i=1}^{y_0} P_0(k:i) P(k:i \rightarrow k:0); \quad (2.76)$$

Якщо $k=0$, тобто все зерно сторони x оброблене, то вона більше не може змінити стан сторони y , тому ймовірності станів $(0;j)$, де $j=0; 1; \dots y_0$ залишаються без змін.

Аналогічним чином визначаються ймовірності переходу з стану $(k:l)$ у стан $(i:l)$ при попередній подачі зерна у $(i=0; 1; \dots k)$, а також ймовірності стану системи після осадження аерозолю на зерно при їх механічному зіткненні.

У другому випадку, при одночасній подачі зерна та аерозолю у робочий простір, ймовірності переходу з стану $(k:l) P^*(k:l \rightarrow i;j)$ ($i \leq k; j \leq l$) обчислюються

наступним чином

$$P^*(k:l \rightarrow i:j) = P(k:l \rightarrow k:j)P(k:l \rightarrow i:l) \quad (2.77)$$

де $P(k:l \rightarrow k:j)$ - ймовірність переходу з стану $(k:l)$ у стан $(k:j)$ при подачі зерна x ,

$P(k:l \rightarrow i:l)$ - ймовірність переходу з стану $(k:l)$ у стан $(i:l)$ при подачі аерозолю.

Вирази для обчислення ймовірностей стану системи після одночасної подачі елементів сторін мають наступний вигляд:

а) якщо $k=1; 2 \dots x_0, l=1; 2 \dots y_0$, то

$$F_{kl}(t) = P(k;l) = \sum_{i=k}^{x_0} \sum_{j=l}^{y_0} P_0(i:j)P^*(i:j \rightarrow k:l) - P_0(k:l) \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^l P^*(k:l \rightarrow i:j); \quad (2.78)$$

б) якщо $k=0, l=1; 2 \dots y_0$, то

$$F_{0l}(t) = P(0;l) = P_0(0:l) + \sum_{i=1}^{x_0} \sum_{j=l}^{y_0} P_0(i:j)P^*(i:j \rightarrow 0:l); \quad (2.79)$$

в) якщо $k=1; 2 \dots x_0, l=0$, то

$$F_{k0}(t) = P(k;0) = P_0(k:0) + \sum_{i=k}^{x_0} \sum_{j=1}^{y_0} P_0(i:j)P^*(i:j \rightarrow k:0); \quad (2.80)$$

г) якщо $k=0, l=0$, то

$$F_{00}(t) = P(0;0) = P_0(0:0) + \sum_{i=1}^{x_0} \sum_{j=1}^{y_0} P_0(i:j)P^*(i:j \rightarrow 0:0). \quad (2.81)$$

Математичне очікування M_x відносно кількості необробленого зерна можна визначити наступним чином

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^{x_0} iF_{i0}(\infty)}{x_0}, \quad (2.82)$$

а математичне очікування M_y відносно кількості аерозольних крапель, які не потрапили на зерно

$$M_y = \frac{\sum_{j=1}^{y_0} jF_{0j}(\infty)}{y_0}. \quad (2.83)$$

Залежності (2.69)-(2.83) можуть бути покладені в основу алгоритму опи-

су ТП за допомогою дискретної марківської моделі. Макет результатів, які будуть отримані за цим алгоритмом наведено у табл. 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1

Ймовірності повної обробки

$P_x \backslash P_y$	0,1		0,9
0,1			
....			
0,9			

Таблиця 2.2

Математичні очікування відносно кількості збережених елементів зерна по завершенню ТП

$P_x \backslash P_y$	0,1	...	0,9
0,1	M_{x1} M_{x2} M_{x3}		
....			
0,9			

Оцінка результатів розрахунків. Дискретні марківські моделі ТП двосторонньої взаємодії дозволяють врахувати ряд факторів, розглядання яких неможливо при описі ТП моделями, які побудовані на основі безперервних випадкових процесів, що ґрунтуються на положеннях статистичної фізики. До таких факторів відноситься, перш за все, можливість одночасного обробітку двох і більш елементів різних сторін.

З'являється відмінна від «0» ймовірність $F_{00}(\infty)$ повної обробки зерново-

го матеріалу або повного використання аерозолі (стан (0:0)), причому ця ймовірність може мати суттєве значення. Такі результати можна отримати за формою табл. 2.1 ймовірностей $F_{00}(\infty)$ повної обробки при значеннях ймовірностей P_x та P_y для нерівного співвідношення сторін у випадку, коли вони подаються у робочий простір одночасно.

Ймовірність F_{00} може приймати великі значення ($F_{00}(\infty) > 0,2$) при дослідженні обробки в умовах нестачі компонентів P_x та P_y ($P_x > 0,4$ або $P_y > 0,4$). Із збільшенням початкової чисельності компонентів сторін ймовірність $F_{00}(\infty)$ зменшується та стає статистично незначущою при дослідженні ТП.

Запропонована модель дозволяє урахувати вплив на результат ТП попередньої подачі у робочий простір однієї з сторін, що може бути побаченим у табл. 2.2 для ТП з рівним за поверхнею обробки при різних значеннях ймовірностей P_x та P_y . Табл. 2.2 можна скласти наступним чином. У верхній строчці кожної клітинки таблиці – значення M_x при попередній подачі зерна, у середній строчці – значення M_x при одночасній подачі сторін, у нижній строчці – значення M_x при попередній подачі аерозолі.

Висновки

1) На основі дискретних марківських процесів запропонована модель двостороннього аналізу технологічного процесу обробки зернових аерозолями хімічних розчинів.

2) Стає можливим обґрунтування попередньої подачі компонентів сторін на початку технологічного процесу, для формалізації перехідних процесів.

3) Модель дозволяє промодельовати варіант повної обробки зернового матеріалу або використання аерозольної суміші.

4) Пропонований алгоритм дозволяє урахувати зміну ймовірностей P_x та P_y у процесі реалізації ТП, а також обмежити тривалість ТП.

Наступна задача полягає в узгодженні моделі з фізичними процесами, які відбивають розповсюдження аерозолю та осадження його на зерні у різних варіантах обробки (нейтральний та електризований аерозоль і зерно). Це дозволить обґрунтувати режими роботи електротехнічного комплексу та системи керування ним, а також надасть уявлення про перехідні процеси на його початку та закінченні. Крім того стає можливим визначення режимів роботи при коливанні технологічних параметрів (подача зерна, параметри зерна, подача аерозолю та його параметри) та їх вплив на якість технологічного процесу.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ АЕРОЗОЛЬНОЇ ОБРОБКИ

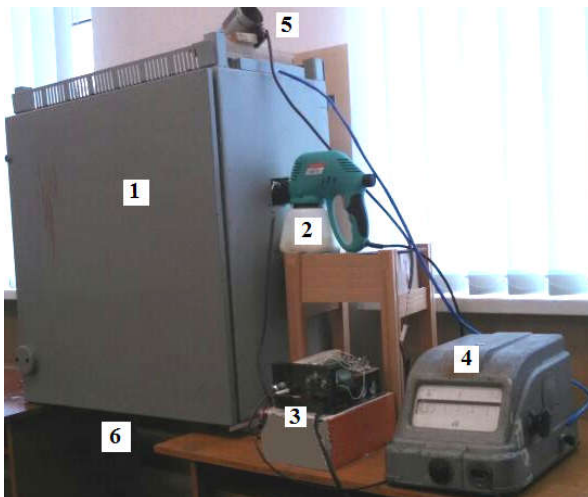
НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ

3.1 Методика експерименту

Відомі методики контролю якості нанесення робочого розчину на поверхню насіння, за допомогою лабораторних дослідів. Вони включають послідовність хімічних дослідів, виконаних у заданій кількості матеріалу, який відібрано за певними правилами, з метою мінімізації похибки вимірювань. Відомі також методики із використанням спеціалізованого обладнання [130, 131, 132]. Крім того необхідно зазначити, що кожна діюча речовина робочого розчину має стандартизовану методику визначення [133]. Такі способи є тривалими у часі, вимагають спеціальної лабораторії, кваліфікованого персоналу та мають вагомий вплив людського фактору. Крім того, контроль здійснюється після завершення технологічного процесу, що унеможлиблює корегування параметрів технологічного процесу.

Відповідно до виконаних досліджень запропоновано ЕТК для протруювання насіннєвого матеріалу з використанням електроіонних технологій [13, 20]. Запропоновано лабораторний стенд для реалізації запропонованої технології (рис. 3.1). Стенд дозволяє дослідити роботу ЕТК комплексу, який здійснює обробку зарядженого насіннєвого матеріалу у хмарі електроаерозолі.

Для удосконалення оцінки якості обробки насіння нами запропоновано використовувати люмінесцентний маркер, збудником якого є ультрафіолетове опромінення, пристрій візуального контролю та розроблене програмне забезпечення для визначення параметрів якості протруювання насіння [17] (рис. 3.1). При застосуванні комп'ютерної техніки можливо використання апаратного способу оцінки насіннєвого матеріалу з мінімізацією впливу людського фактору.



а)

- 1 – робоча камера;
- 2 – аерозольний генератор з електродом індукційної зарядки ;
- 3 – множник напруги;
- 4 – кіловольтметр;
- 5 – електрод зарядки насіння;
- 6 – вихідний отвір.



б)



Рис. 3.1. Лабораторний стенд (а) обробки насіння пшениці у полі електризованого аерозолю та отримане зображення (б)

Вхідними даними є фотографія насіння під час обробки, або після неї, при однакових умовах зовнішнього освітлення. Результат зберігається у файлі графічного формату без зміни його змісту при повторному відкритті. Визначається частота відтінків кольорів (при розбитті кожного пікселя за RGB-складовими). Отримані частоти використовують як інформаційний показник.

Проведення дослідів було проведено у ПП «АСКОН» (с.м.т. Якимівка, Запорізька обл.). Проби насінневого матеріалу були поділені на групи за величиною заряду аерозолю робочого розчину, який подавав з однаковою витратою. Подача насінневого матеріалу дорівнювала 0,1 кг/с. Концентрація маркеру – 40 мл/л (робоча рідина – вода). Подача робочого розчину – 6 л/год. Напруга заряду аерозолю – 0 – 10 кВ.

Зерно насипом опромінювали ультрафіолетовою лампою і фотографували у темному приміщенні (розсіяне освітлення на рівні проби – 2 лк) фотоапара-

том з однаковими налаштуваннями. Результат зберігали у файлі графічного формату BMP [134], як рисунок з 24-х розрядним кольором, з якого визначали частоту відтінків кольорів RGB-моделі. Для надання висновків використовували данні частот відтінків кольорів. Для автоматизації експериментальних даних було удосконалено відповідне програмне забезпечення (рис.3.2) [135]. Зовнішньою оболонкою для створення програми служив Borland Delphi 6.0. При розробці програми використовувався Pascal Object.

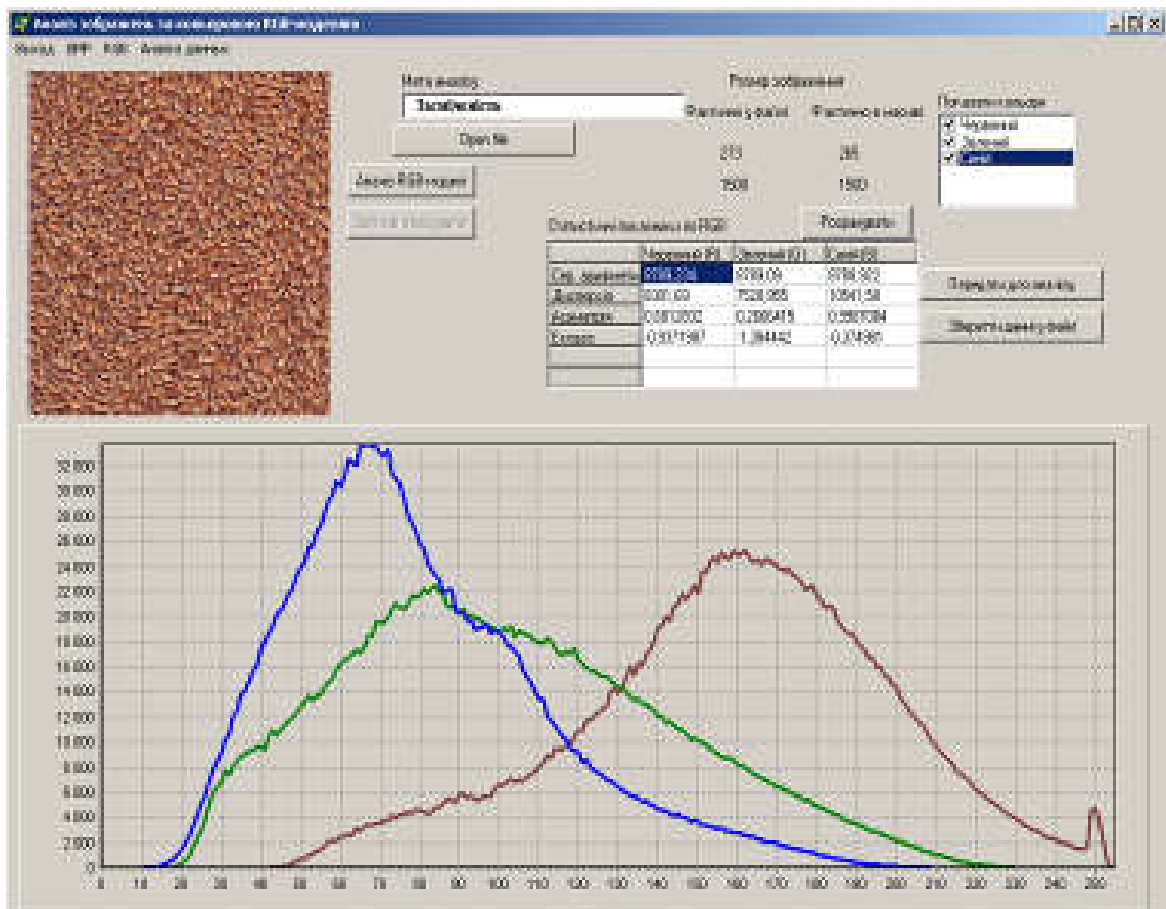


Рис. 3.2. Вікно діалогу з користувачем.

Основними задачами в процесі програмної реалізації є: одержання згортки знімка (параметри кольорового зображення); отримання графіків дискретного ряду розподілу відтінків кожного кольору; експортування отриманих даних у формі зручної для аналізу (файли програмного пакета Microsoft Excel).

3.2 Обґрунтування розміру сканованого зображення

Основна задача полягає у тому, щоб на основі даних про розподіл відтінків основних кольорів RGB-моделі, котрі отримані із зображень зернового насипу, зробити достатньо надійні висновки про режим роботи оприскувача, які б повною мірою характеризували загальну сукупність.

Теоретичне вирішення цього питання перш за все ґрунтується на загальній теоремі «великих чисел» [136].

Згідно неї, із збільшенням кількості досліджень (у нашому випадку кількість зерен, які фотографуються) різниця між частотою та ймовірністю події буде відрізнятися від дійсності статистично незначуще. Відповідно до мети досліджень, цей закон можна використати для того, щоб визначити розмір зображення або необхідну кількість зерен, достатню для достовірного представлення дослідної партії.

За допомогою критерію Стюдента було доведено, що при роботі з зображенням 750×750 px середні значення частот відтінків відрізняються статистично незначуще. Тому, керуючись теорією великих чисел, за якою, для ймовірності події $P=0,95$ та припустимої помилки $\varepsilon=0,05$, рекомендована кількість сканованих зерен дорівнюватиме 384 [135, 136]. Найближчою до такої кількості зерен містить зображення 1000×1000 px (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Середня кількість зерен у зображеннях

Розмір, px	400×400	800×800	1000×1000	1500×1500	2000×2000
Кількість зерен, шт	39	192	312	673	1128

3.3 Достовірність експериментальних даних

Подальша обробка експериментальних даних показала, що при фотографуванні зерна з однієї партії, розрахункове значення критерію Колмогорова

не перевищує критичного значення.

З графічного представлення емпіричних даних (рис. 3.3) можна побачити, що характер зв'язку є складним. Крім того, важко виявити кореляційний зв'язок між графікою та умовами обробки. Отримані розподіли можна характеризувати як за статистичними показниками, які характеризують весь розподіл (табл. 3.2), так і за окремими ділянками.

Аналіз статистичних показників розподілів (табл. 3.2) не дозволяє відокремити основний колір та відзначити його як основний інформативний показник. У зв'язку з цим, було прийняте рішення проаналізувати кожний відтінок та за допомогою коефіцієнту лінійної кореляції прийняти рішення про інформативність кожного з них (рис. 3.3). В результаті розрахунків червоний колір не мав відтінків, які мають коефіцієнт кореляції більше $|0,8|$. В свою чергу, зелений та синій кольори, мають достатньо велику кількість ділянок відтінків коефіцієнт кореляції, яких більше $|0,9|$. Таким чином для подальшого аналізу доцільно використовувати відтінки синього кольору у діапазоні від 10 до 150 (рис. 3.4).

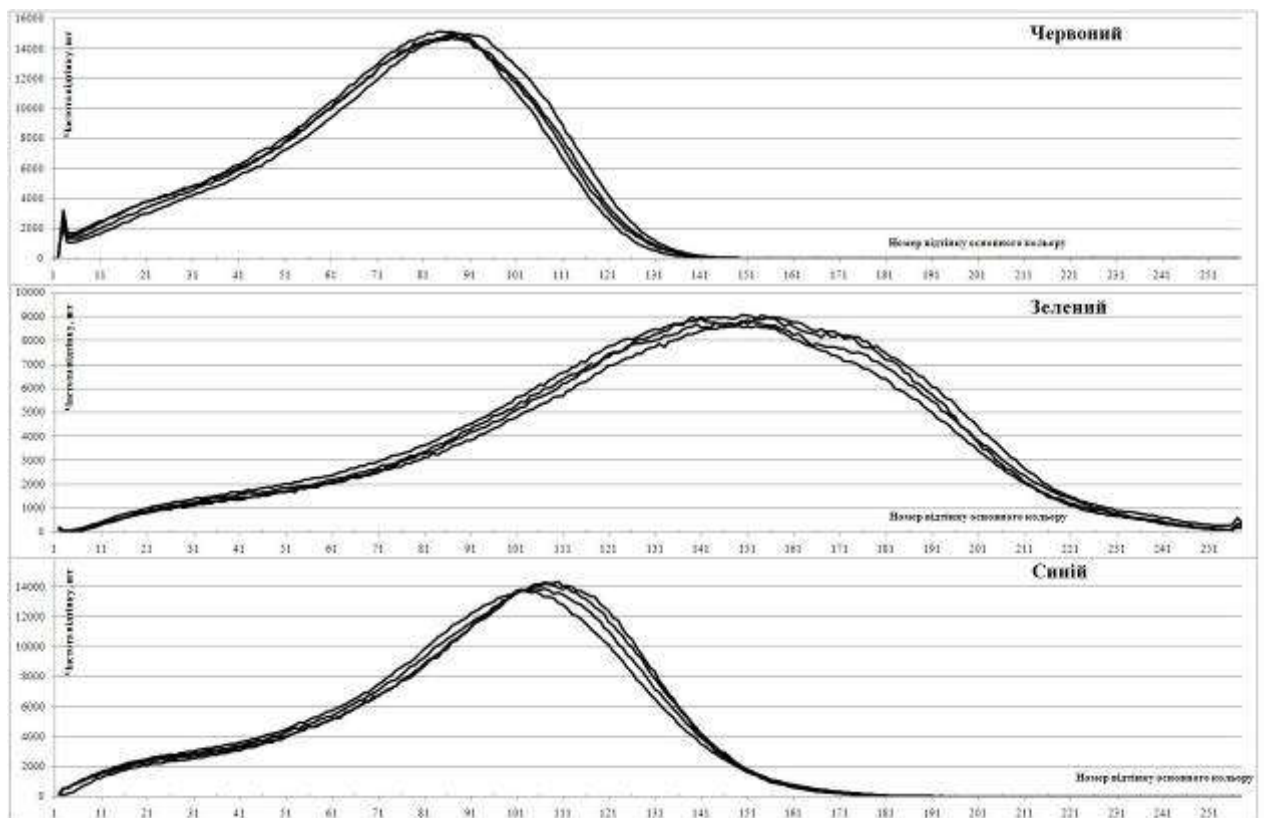


Рис. 3.3. Розподіл відтінків основних кольорів фотографій насінневого

матеріалу в ультрафіолетовому опроміненні, при обробці аерозолі напругою 4, 6, 8 та 9,2 кВ.

З візуального аналізу експериментальних даних можна припустити наявність параболічної залежності між розподілами відтінків синього кольору. Враховуючи, що відтінки 70 та 130 мають максимальний приріст по частоті, то даний діапазон буде проаналізовано за допомогою регресійного аналізу. Апроксимуємо експериментальні дані параболічною функцією [137]:

$$y_{x2} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2, \quad (3.1)$$

Таблиця 3.2

Статистична оцінка розподілів відтінків

Напруга, кВ	0	2	4	6	8	9,2	Коефіцієнт лінійної кореляції
Показник							
Червоний							
Середнє арифметичне	3914	3914	3914	3914	3914	3914	-
Дисперсія	5038	5080	4977	5010	5037	4961	-0,5618
Асиметрія	1,01	1,08	0,96	1,00	1,02	0,97	-0,41163
Ексцес	-0,41	-0,26	-0,56	-0,47	-0,42	-0,51	-0,44296
Зелений							
Середнє арифметичне	3914	3914	3914	3914	3914	3914	-
Дисперсія	2997	2987	2991	2988	2989	3101	0,562292
Асиметрія	0,36	0,37	0,36	0,32	0,37	0,38	0,085649
Ексцес	-1,39	-1,40	-1,34	-1,40	-1,38	-1,39	0,059062
Синій							
Середнє арифметичне	3929	3914	3914	3914	3914	3929	-
Дисперсія	4561	4490	4474	4511	4543	4619	0,44526
Асиметрія	1,00	1,02	0,96	0,96	1,00	1,01	-0,00196
Ексцес	-0,34	-0,30	-0,40	-0,42	-0,33	-0,32	-0,03541

Коефіцієнти рівняння регресії визначаємо за методом найменших квадратів, для чого використовуємо систему нормованих рівнянь [137]:

$$\begin{cases} a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i \end{cases} \quad (3.2)$$

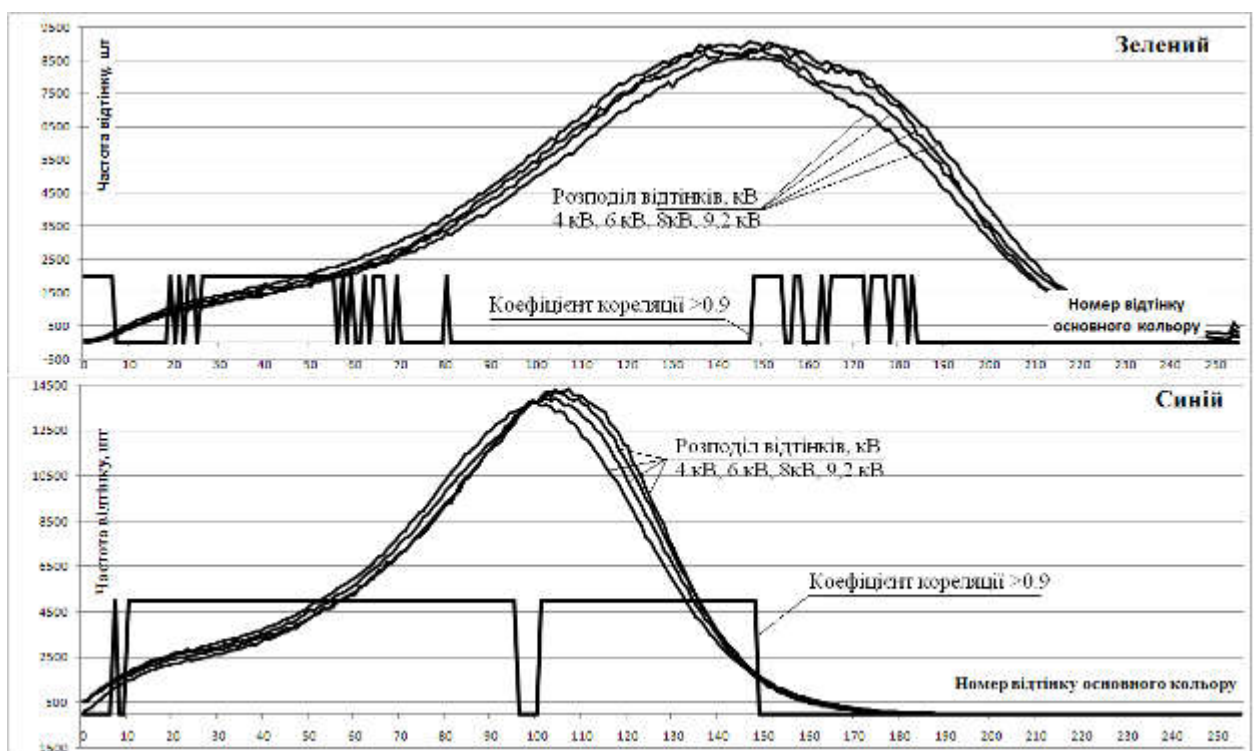


Рис. 3.4. Інформативність відтінків основних кольорів з рис. 3.3.

Для аналізу використовуються середньоарифметичні значення відтінків за 7 пробами кожного дослід (табл. Ж.1.). Проби не мають статистично значущих помилок за кожним відтінком, що визначалось за стандартною методикою по критерію Стюдента.

Для практичного використання необхідно визначити: котрий з параметрів рівнянь регресії має найбільший коефіцієнт кореляції, який буде відповідати лінійній залежності між якістю протруювання та отриманим коефіцієн-

том рівняння регресії. Необхідність лінійної кореляції обумовлена простотою отримання коефіцієнтів – розрахунок коефіцієнтів лінійної моделі потребує менше апаратних ресурсів, ніж розрахунок коефіцієнтів нелінійної моделі.

Коефіцієнти лінійної кореляції:

$$r_{xy} = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sigma_x \cdot \sigma_y}; \quad (3.3)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n};$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n y}{n}.$$

У якості інформаційного показника використовуємо координати вершини параболи

$$\left(-\frac{a_1}{2a_2}; -\frac{4a_2 \cdot a_0 - a_1^2}{4a_2} \right). \quad (3.4)$$

Аналізуючи дані, отримані при вирішенні рівнянь регресії (табл. 3.3), які складені для різної напруги зарядження аерозолі та зерна, можна стверджувати про наявність стабільного тісного зв'язку між величиною заряду аерозолі та наплення робочого розчину на насіння, оскільки його значення наближені до 1. Для отримання більш достовірної інформації про стан зв'язку доцільно використовувати координати вершини параболи лінійних рівнянь регресії, оскільки коефіцієнти даних рівнянь мають значення майже 1 (0,987; 0,997).

Розроблена методика в перше дозволяє впровадити апаратний спосіб контролю режимів роботи оприскувачів як при заряджанні аерозолі робочого розчину, так і без заряду.

Таблиця 3.3

Значення коефіцієнтів рівнянь регресії та коефіцієнту лінійної кореляції

Напруга, кВ Відтінок	4	6	8	9,2	коефіцієнту лінійної кореляції
a2	-8	-8	-8	-8	0,94
a1	458	480	507	510	0,987
a0	6617	5869	5154	5014	-0,989
вершина x	29	31	33	34	0,997
вершина y	13300	13404	13544	13681	0,987

3.4 Аналіз впливу параметрів обробки на якість обробки

Для вивчення впливу процесу передпосівної обробки зерна пшениці виконаємо багатофакторний експеримент за класичний планом. Для цього обираємо інтервал I_i варіювання факторів

$$I_i = \frac{(x_{iB} - x_{iH})}{2}, \quad (3.5)$$

де I_i – інтервал варіювання i -го фактору;

x_{iB} , x_{iH} – відповідно верхнє та нижнє значення i -го фактору.

Значення факторів x_i у центрі області експерименту (область припустимих значень факторів x_i) – основний рівень (x_{i0}).

Для зручності запису плану експерименту і обробки його результатів використовують кодовані значення факторів

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{I_i}, \quad (3.6)$$

де X_i – позначення кодованого i -го фактору.

Вибір рівняння моделі у плануванні експерименту – неформалізований

етап, який базується на інтуїції дослідника. Але правильний вибір моделі повинен підтверджуватись експериментально.

Найбільш розповсюджені такі моделі (k – кількість факторів):

- лінійна:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_k \cdot X_k, \quad (3.7)$$

- нелінійна, яка враховує взаємодію факторів:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_k \cdot X_k + \beta_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + \dots + \beta_{k-1} \cdot \beta_k \cdot X_{k-1} \cdot X_k, \quad (3.8)$$

- нелінійна, яка враховує взаємодію факторів більш високого порядку:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \cdot X_i + \sum_{i,j=1}^k \beta_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} \cdot X_i^2. \quad (3.9)$$

У зв'язку з тим, що на об'єкт впливають багато факторів, які практично неможливо враховувати, визначити точне значення коефіцієнтів $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ моделі також неможливо. Тому визначають їх оцінки через коефіцієнти $b_0, b_1, \dots, b_k$. З цією метою будують план експерименту у вигляді таблиці-матриці, при якому реалізуються всі можливі варіанти рівнів факторів, кількість яких при варіюванні на двох рівнях визначається за співвідношенням: $N=2^k+1$.

Як видно, матриця при двох факторах буде містити 4 строки і кількість стовбців відповідно до обраної моделі (3.7-3.9). В останніх стовпчиках записуються результати дослідів, які відповідають певному сполученню факторів. Причому кількість паралельних дослідів визначається із заданої точності вимірювань. Для визначення їх кількості використовується критерій Стюдента за таким алгоритмом:

1. Визначають середнє квадратичне відхилення середнього значення відклику за результатами двох-трьох дослідів:

$$S_{y_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3.10)$$

де y_i – поточне значення відклику;

$\bar{y}$ – середнє арифметичне значення відкликів;

n – кількість вимірювань.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}. \quad (3.11)$$

2. Визначають розрахункове значення критерію Стюдента:

$$t(\alpha, f)_p = \varepsilon_{\bar{y}} \cdot \frac{\sqrt{n}}{S_{y_i}} = \frac{\Delta \cdot \bar{y}}{100\%} \cdot \frac{\sqrt{n}}{S_{y_i}}, \quad (3.12)$$

де $\varepsilon_{\bar{y}}$ - абсолютна довірча помилка для середнього результату;

Δ - відносна довірча похибка.

3. Порівнюють із теоретичним значенням критерію Стюдента:

$$t(\alpha, f)_p > t(\alpha, f)_t, \quad (3.13)$$

де f – ступінь вільності. У даному випадку $f=n-1$.

При подальшій роботі увагу приділено на послідовність реалізації дослідів. За принципом рандомізації вона була випадковою.

Для моделі за формулою 3.8 складаємо матрицю БФЕ. Це досягається за рахунок вводу фіктивної змінної $X_0=+1$ та врахування нелінійності типу «взаємодія факторів» $X_3=X_1 \cdot X_2$ (табл. 3.4).

Для такої матриці характерні властивості ортогональності, нормування, симетрії, рототабельності, що дозволяє застосувати метод найменших квадратів для розрахунку оцінок b_i . У загальному випадку

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N y_u \cdot x_{iu}}{N}, \quad (3.14)$$

де y_u – значення відклику в u -й строчці матриці (якщо виконується декілька паралельних дослідів, то використовується построкове середнє значення відклику);

x_{iu} – рівень відповідної кодованої змінної («+1» або «-1») для u -й строчці;

N – кількість варіантів сполучень факторів (кількість строк).

Таблиця 3.4

Загальний вид матриці БФЕ для $k=3$

№ дос- ліду, u	Кодовані рівні змінних								Відклик, y_u
	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_4=X_1 \cdot X_2$	$X_5=X_1 \cdot X_3$	$X_6=X_2 \cdot X_3$	$X_7=X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	y_1
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	y_3
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	y_4
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y_5
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	y_6
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y_7
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_8

Слід підкреслити, що існує визначена послідовність обробки результатів БФЕ для побудови моделі. Причому, якщо на одному етапі необхідні умови не виконуються, то на наступний етап не переходять – уточнюють сам експеримент.

Послідовність обробки результатів експерименту.

1. Перевірка однорідності построккових дисперсій по критерію Кохрена (при умові, якщо кількість паралельних дослідів у всіх строках матриці

однакове). Виконується з метою переконання у відсутності системних помилок у статистичних даних.

$$G_p = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}, \quad (3.15)$$

де $S_{u \max}^2$ - найбільше значення построккової дисперсії.

Розрахункове значення критерію Кохрена G_p порівнюється із теоретичним G_T , котре визначається виходячи із значення довірчої ймовірності α та числа ступенів вільності $f_1=n-1$ і $f_2=N$.

Якщо $G_p < G_T$, то построккові дисперсії однорідні.

2. Перевірка однорідності значень відклику по строкам. На цьому етапі, використовуючи критерій Стюдента, з результатів експерименту виключають грубі похибки:

$$t_p = \frac{|y_u^* - \bar{y}_u|}{S_u}, \quad (3.16)$$

де y_u^* – найменше або найбільше значення відклику в u -й строчці;

$\bar{y}_u$ – середнє значення відклику в u -й строчці, розраховане без урахування y_u^* ;

S_u – середнє квадратичне відхилення в u -й строчці, розраховане без урахування y_u^* .

$$S_u = \sqrt{\frac{1}{n_u - 1} \sum_{j=1}^{n_u} (y_{uj} - \bar{y}_u)^2}, \quad (3.17)$$

де $n_u=n-1$ – кількість дослідів без одного, в якому $y_u^* = y_{uj}$.

Розрахункове значення критерію Стюдента t_p порівнюється з табличним $t(\alpha, f)_T$ (α - довірча ймовірність, $f= n_u-1$ – число ступенів вільності). Якщо

умова $t_p > t_t$ виконується, то, з прийнятою α , можна стверджувати, що відклик y_u^* є грубою похибкою і повинен бути виключений з подальшої обробки.

3. Визначають дисперсію відтворюваності. Оскільки кількість паралельних дослідів у всіх строках плану однакова, то дисперсія відтворюваності визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (3.18)$$

4. Перевірка, як відрізняються середні значення відклику. З цією метою використовується критерій Стюдента, розрахункове значення якого:

$$t_p = \frac{\bar{y}_{u \max} - \bar{y}_{u \min}}{S_y \sqrt{\frac{1}{n_{\max}} + \frac{1}{n_{\min}}}}, \quad (3.19)$$

де $\bar{y}_{u \max}$, $\bar{y}_{u \min}$ - найбільше та найменше середнє значення відклику;

$n_{\max}$, $n_{\min}$ – кількість паралельних дослідів у строках, які відповідають відповідним значенням середніх значень відклику.

Розрахункове значення критерію t_p порівнюється із теоретичним t_t , котре визначається виходячи із значення довірчої ймовірності α та числа ступенів вільності $f_1 = n_{\max} + n_{\min}$.

Якщо $t_p > t_t$, то середні значення відрізняються статистично значимо.

5. Розрахунок оцінок за формулою 3.14.

6. Визначення статистичної значущості оцінок коефіцієнтів рівнянь регресії. У цьому випадку також використовується критерій Стюдента, розрахункове значення якого визначається за формулою:

$$t_p = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}, \quad (3.20)$$

де S_{b_i} – похибка оцінки b_i :

$$S_{bi} = \frac{S_y}{\sqrt{N \cdot n}}, \quad (3.21)$$

$$t_p = \frac{|b_i| \cdot \sqrt{N \cdot n}}{S_y}. \quad (3.22)$$

Для прийнятого значення довірчої ймовірності α та числа ступенів вільності $f=N \cdot (n-1)$ знаходять значення критерію Стюдента.

Якщо $t_p > t_t$, то відповідна оцінка b_i є статистично значущою.

7. Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера.

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \quad (3.23)$$

де $S_{ад}^2$ - дисперсія адекватності

$$S_{ад}^2 = \frac{n}{N-1} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2, \quad (3.24)$$

де l – кількість значущих оцінок в моделі;

$\tilde{y}_u$ - розрахункове значення відклику в u -й строчці.

У відповідності до прийнятого значення довірчої ймовірності α та числа ступенів вільності $f_y=N \cdot (n-1)$ та $f_{ад}=N-1$) знаходять теоретичне значення критерію Фішера.

Якщо $F_p < F_t$, то модель адекватна експериментальним даним.

За результатами БФЕ побудуємо модель роботи протруювача. В якості факторів прийняті: x_1 – напруга заряду аерозолі та зерна, кВ; x_2 – концентрація маркеру, мл/л; x_3 – подача зернового матеріалу, кг/с. У якості відклику y_u представлено номер відтинку, який відповідає координаті вершини апроксимуючої параболи на вісі абсцис. Фактори варіюються на двох рівнях: $x_{1в}=9,2$ кВ; $x_{1н}=7,6$ кВ; $x_{2в}=80$ мл/л; $x_{2н}=40$ мл/л; $x_{3в}=0,2$ кг/с; $x_{3н}=0,1$ кг/с.

Кодування факторів.

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{x_{1\text{в}} - x_{1\text{н}}}{2} = \frac{9,2 - 7,6}{2} = 0,8, \\ I_2 &= \frac{x_{2\text{в}} - x_{2\text{н}}}{2} = \frac{80 - 40}{2} = 20, \\ I_3 &= \frac{x_{3\text{в}} - x_{3\text{н}}}{2} = \frac{0,2 - 0,1}{2} = 0,05. \end{aligned} \quad (3.25)$$

Базовий рівень: $x_{10}=x_{1\text{в}}-I_1=9,2-0,8=8,4$ кВ, $x_{20}=x_{2\text{в}}-I_2=80-20=60$ мл/л;
 $x_{30}=x_{3\text{в}}-I_3=0,2-0,05=0,15$ кг/с.

Значення рівнів кодування:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{x_{1\text{в}} - x_{10}}{I_1} = \frac{9,2 - 8,4}{0,8} = +1; & X_1 &= \frac{x_{1\text{н}} - x_{10}}{I_1} = \frac{7,6 - 8,4}{0,8} = -1; \\ X_2 &= \frac{x_{2\text{в}} - x_{20}}{I_2} = \frac{80 - 60}{20} = +1; & X_2 &= \frac{x_{2\text{н}} - x_{20}}{I_2} = \frac{40 - 60}{20} = -1; \\ X_3 &= \frac{x_{3\text{в}} - x_{30}}{I_3} = \frac{0,2 - 0,15}{0,05} = +1; & X_3 &= \frac{x_{3\text{н}} - x_{30}}{I_3} = \frac{0,1 - 0,15}{0,05} = -1. \end{aligned} \quad (3.26)$$

Оскільки $k=2$, то кількість варіантів (строк) матриці БФЕ $N=2^3=8$.

Матриця БФЕ та результати експериментів представлені у табл. 3.5.

За даними першого та третього дослідів визначимо мінімальну кількість n паралельних дослідів, з тим щоб відносна довірча похибка не перевищувала $\Delta=20\%$.

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{101+109}{2} = 105; \\ S_{yi} &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{(101-105)^2 + (109-105)^2}{2-1}} = 5,65; \\ t(\alpha, f)_p &= \frac{20 \cdot 105}{100\%} \cdot \frac{\sqrt{n}}{5,65} = 3,71 \cdot \sqrt{n}. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Для $n=3$ розрахункове значення критерію $t(\alpha, f)_p = 3,71 \cdot \sqrt{3} = 6,44$, а теоретичне дорівнює $t(0,95, 3-1)_T = 4,30$. Отже $t(\alpha, f)_p > t(\alpha, f)_T$. Прий-

маємо мінімальну кількість паралельних дослідів $n=3$.

Таблиця 3.5

Матриця БФЕ по результатам досліджень обробки зерна електроаерозолем
розчину маркеру

№, u	Кодовані рівні змінних								Відклики дослідів				$\bar{y}_u$	$\tilde{y}_u$
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}	y_{u4}		
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	101	106	107	109	105,75	105,76
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	98	99	93	98	97	96,37
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	106	105	109	110	107,5	107,487
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	101	102	104	103	102,5	103,12
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	109	106	105	104	106	105,987
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	104	102	106	100	103	103,62
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	105	110	109	107	107,7	107,712
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	109	110	113	112	111	110,37

Примітка; $X_4=X_1 \cdot X_2$; $X_5=X_1 \cdot X_3$; $X_6=X_2 \cdot X_3$; $X_7=X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$.

Відповідно до плану експерименту (табл. 3.5), модель об'єкту будемо шукати у вигляді рівняння регресії:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \beta_4 \cdot X_4 + \beta_5 \cdot X_5 + \beta_6 \cdot X_6 + \beta_7 \cdot X_7. \quad (3.29)$$

Для цього обробимо результати експерименту у відповідності до раніше наведеної методики.

1. Перевірка однорідності построккових дисперсій.

Визначимо построккові дисперсії:

$$S_{u1}^2 = \frac{1}{4-1} [(101-105,75)^2 + (106-105,75)^2 + (107-105,75)^2 + (109-105,75)^2] = 11,58.$$

Аналогічним чином розраховуємо:

$$S_{u2}^2 = 7,33, S_{u3}^2 = 5,67, S_{u4}^2 = 1,67, S_{u5}^2 = 4,67, S_{u6}^2 = 6,67, S_{u7}^2 = 4,92, S_{u8}^2 = 3,3.$$

Розрахуємо теоретичне значення критерію Кохрена G_p :

$$G_p = \frac{11,58}{11,58 + 7,33 + 5,67 + 1,67 + 4,67 + 6,67 + 4,92 + 3,3} = 0,253.$$

За таблицею стандартних значень $G(0,95;4-1;8)_T=0,438$

Оскільки $G_p < G_T$, то можна зробити висновок, що построкові дисперсії однорідні.

2. Виключення грубих похибок:

Для першого номеру дослідів: $y_{u1\min}^* = 101, y_{u1\max}^* = 109$.

Відповідні значення середніх арифметичних:

$$\bar{y}_{u1\min} = \frac{106 + 107 + 109}{2} = 107,3, \quad \bar{y}_{u1\max} = \frac{101 + 106 + 107}{2} = 104,7.$$

Відповідні значення середніх квадратичних відхилень:

$$S_{u1\min} = \sqrt{\frac{1}{3-1} [(106-107,3)^2 + (107-107,3)^2 + (109-107,3)^2]} = 1,527;$$

$$S_{u1\max} = \sqrt{\frac{1}{3-1} [(101-104,3)^2 + (106-104,3)^2 + (107-104,3)^2]} = 3,214.$$

Визначення розрахункового значення критерію Стюдента:

$$t_{p1\min} = \frac{|101-107,3|}{1,527} = 4,12, \quad t_{p2\max} = \frac{|109-104,7|}{3,214} = 1,34.$$

Згідно табличних значень критерію Стюдента $t(0,95;3-1)_T=4,3$, тобто

$$t_{p1\min} < t_T, \quad t_{p1\max} < t_T.$$

Отже, перший дослід не містить даних із грубими похибками. Аналогічним чином доводимо, що результати експерименту грубих похибок також не містять.

3. Визначення дисперсії відтворюваності.

$$S_y^2 = \frac{11,58 + 7,33 + 5,67 + 1,67 + 4,67 + 6,67 + 4,92 + 3,3}{8} = 5,726,$$

$$S_y = \sqrt{5,726} = 2,393.$$

4. Перевірка статистичної значущості середніх значень відкликів

$$t_p = \frac{111-97}{2,393 \cdot \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}}} = 8,274.$$

Згідно табличних значень критерію Стюдента $t(0,95; 4+4)_T = 2,31$.
Оскільки $t_p > t_T$, то середні значення відрізняються статистично значимо.

5. Розрахунок оцінок коефіцієнтів рівнянь регресії:

$$\beta_0 = \frac{105,75 + 97 + 107,5 + 102,5 + 106 + 103 + 107,7 + 111}{8} = 105,0563,$$

$$\beta_1 = \frac{-105,75 - 97 - 107,5 - 102,5 + 106 + 103 + 107,7 + 111}{8} = 1,86875.$$

Аналогічним чином визначаємо інші коефіцієнти:

$$\beta_2 = 2,11875, \quad \beta_3 = -1,68125, \quad \beta_4 = 0,30625,$$

$$\beta_5 = 1,75625, \quad \beta_6 = 1,25625, \quad \beta_7 = 0,31875.$$

6. Визначення статистичної значущості оцінок:

$$t_{p0} = \frac{|105,0563| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 248,3; \quad t_{p1} = \frac{|1,86875| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 4,42;$$

$$t_{p2} = \frac{|2,11875| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 5; \quad t_{p3} = \frac{|-1,681| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 3,97;$$

$$t_{p4} = \frac{|0,306| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 0,723; \quad t_{p5} = \frac{|1,756| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 4,15;$$

$$t_{p6} = \frac{|1,256| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 2,96; \quad t_{p7} = \frac{|0,319| \cdot \sqrt{8 \cdot 4}}{2,393} = 0,754.$$

Згідно табличних значень критерію Стюдента $t(0,95; 8 \cdot (4-1))_T = 2,06$.

Виходячи з умови $t_p > t_T$, оцінки β_4 та β_7 є статистично незначущими

Отже, рівняння регресії (3.29) у кодованих факторах із урахуванням їх статистичної значущості залишається

$$\tilde{y} = 105,0563 + 1,86875 \cdot X_1 + 2,11875 \cdot X_2 - 1,68125 \cdot X_3 + 1,75625 \cdot X_5 + 1,25625 \cdot X_6. \quad (3.30)$$

За отриманою моделлю розраховуються теоретичні значення відклику, які наведені у таблиці вхідних даних.

7. Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера.

Визначення дисперсії адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{4}{8-6} [(105,75 - 105,76)^2 + (97 - 96,37)^2 + (107,5 - 107,48)^2 + (102,5 - 103,12)^2 + (106 - 105,99)^2 + (103 - 103,62)^2 + (107,7 - 107,71)^2 + (111 - 110,37)^2] = 3,126$$

Обчислення теоретичного значення критерію Фішера

$$F_p = \frac{3,126}{5,726} = 0,546.$$

У відповідності до прийнятого значення довірчої ймовірності α та числа ступенів вільності $f_y = N \cdot (n-1)$ та $f_{ад} = N-1$) визначається теоретичне значення критерію:

$$F(0,95; 8 \cdot (4-1); 8-1)_T = 2,42.$$

Оскільки $F_p < F_T$, то модель адекватна об'єкту.

Необхідно нагадати, що модель обчислювалась у кодованих змінних. Тому необхідно перейти до фізичних факторів. У нашому випадку:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{x_1 - x_{1_0}}{I_1} = \frac{x_1 - 8,4}{0,8} = 1,25x_1 - 10,5; \\ X_2 &= \frac{x_1 - x_{2_0}}{I_2} = \frac{x_2 - 60}{20} = 0,05x_2 - 3; \\ X_3 &= \frac{x_3 - x_{3_0}}{I_3} = \frac{x_3 - 0,15}{0,05} = 20x_3 - 3. \end{aligned} \quad (3.31)$$

Рівняння регресії у фізичних факторах із урахуванням їх взаємодії

$$y = 150,7501 - 4,25 \cdot x_1 - 0,0825 \cdot x_2 - 477,813 \cdot x_3 + 43,90625 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,25625 \cdot x_2 \cdot x_3 . \quad (3.32)$$

Побудований графік функції за трьома змінними (рис. 3.5) вказує на складний нелінійний зв'язок між параметрами, що обумовлено взаємодією між електричними зарядами часток різної форми.

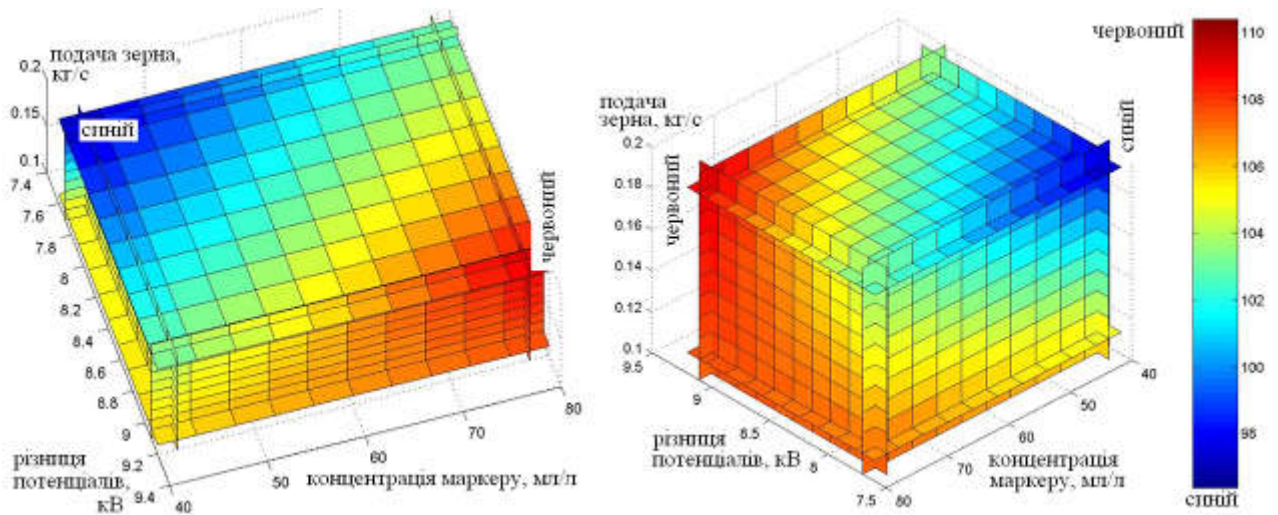


Рис. 3.5. Залежність вершини параболу відтінку синього кольору від x_1 , x_2 та x_3

Експериментально доведено, що у діапазоні подачі насіння 0,1...0,2 кг/с та зміни напруги заряду аерозолі та насіння від 7,5 кВ до 9,5 кВ, доцільно використовувати концентрацію маркеру до 70 мл/л.

Сталий режим роботи технологічного процесу обробки електризованого насіння зернових у хмарі електризованого аерозолі та стійку роботу системи керування можливо забезпечити при загальній різниці потенціалів 7-8 кВ, що забезпечить найменшу чутливість системи при коливанні продуктивності подачі насіння.

Висновки

- Аналізуючи дані, отримані при вирішенні рівнянь регресії, які складені для різної напруги зарядження аерозолі та зерна, можна стверджувати про наявність стабільного жорсткого зв'язку між величиною заряду аерозолі та наплення робочого розчину на насіння, оскільки його значення наближені до 1. Для отримання більш достовірної інформації про стан зв'язку доцільно використовувати координати вершини параболи лінійного рівняння регресії, оскільки коефіцієнти даних рівнянь мають значення майже 1 (0,987; 0,997).

- Розроблена методика в перше дозволяє впровадити апаратний спосіб контролю режимів роботи оприскувачів як при заряджанні аерозолі робочого розчину, так і без заряду.

- При проведенні лабораторних досліджень процесу у діапазоні продуктивності насіння 0,1...0,2 кг/с та зміни напруги заряду аерозолі та насіння від 7,5 кВ до 9,5 кВ, доцільно використовувати концентрацію маркеру до 70 мл/л протруювача, що дозволило досягти максимального ефекту візуалізації рівномірності покриття насіння зернових аерозолем.

- Сталий режим роботи технологічного процесу обробки електризованого насіння зернових у хмарі електризованого аерозолі та стійку роботу системи керування можливо забезпечити при загальній різниці потенціалів 7-8 кВ, що буде найменш чутливим при коливанні продуктивності подачі насіння.

РОЗДІЛ 4

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ АЕРОЗОЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

4.1 Електротехнологічний комплекс передпосівної обробки зернових з використанням електроаерозолів

Для реалізації пропонованого ЕТК та впровадження у виробництво необхідно розв'язати наступні задачі:

1. визначити перспективну ресурсоощадну технологічну схему передпосівного обприскувача зернового матеріалу;
2. запропонувати базовий варіант, який поєднає у собі принципи модернізації та трансформації технічного вигляду з урахуванням: екологічної безпеки; застосування та експлуатація агрегату у потоці; зниження витрат та забезпечення рівномірності покриття насіння розчином.

Недосконалість технологій і технічних засобів хімічного захисту рослин від шкідників і хвороб, а також недотримання інших агротехнічних і технологічних вимог догляду за посівами, призводять до надмірного вмісту пестицидів у ґрунті, до забруднення водоймищ і ґрунтових вод, пригнічення життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, знищення корисної мікрофлори, зниження ефективності виробничого процесу та протруювання [81, 107].

Захист рослин від хвороб і шкідливих організмів - обов'язкова ланка в технології вирощування сільськогосподарських культур, яке особливо важливо в умовах інтенсивного сільськогосподарського виробництва. Захисні заходи можна здійснювати різними методами: агротехнічним, фізико-механічними, біологічним, хімічним та ін. [138]

Серед усіх, основним методом внесення засобів хімічного захисту рослин залишаються наземне обприскування, за допомогою якого вноситься до 76% всіх використовуваних у сільськогосподарському виробництві препара-

тів [131]. Ефективність хімічної обробки залежить від терміну обробки, її якості і вибору препарату, але надмірне використання хімічних препаратів може призвести до забруднення навколишнього середовища та рослинної продукції [20].

Ефективність застосування електропідзарядки крапель у задачах сільськогосподарського виробництва розглядається у роботах Бородіна І. Ф., Лекомцева П. Л., Уралова Ш. Н. [107, 139]. У цьому випадку утворюють факел розпилю краплі розчину, який штучно заряджається в сильному електричному полі, тобто часткам примусово надається електричний заряд певного знаку. Подальше осадження аерозолі відбувається за участю електричних сил, які за своєю величиною можуть бути порівняні, або перевершувати сили гравітації і аеро- гідродинамічного тиску повітряного середовища.

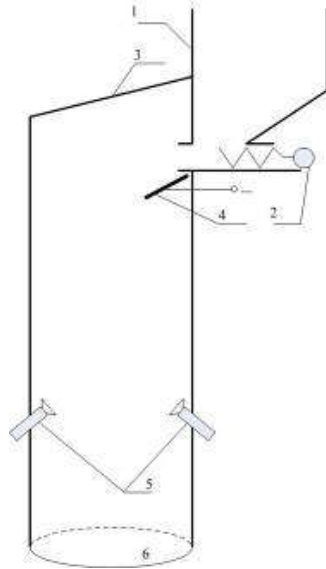
На сучасному етапі розвитку технічні засоби для обробки рослин пестицидами удосконалюються за наступними напрямками [82, 139]:

- зниження норм витрати робочої рідини при підвищенні якості розпилення;
- впровадження електротехнологій;
- впровадження комп'ютерного контролю стабільності заданого режиму обприскування з постійною цифровою індикацією на табло.

Аналіз розробок нових способів і технологій захисту рослин і досвіду використання в різних умовах існуючих вітчизняних і зарубіжних обприскувачів показує, що основним критерієм при їх створенні є, не скільки зниження норм витрати робочої рідини, скільки зниження втрат при обприскуванні і вплив на рівень забруднення навколишнього середовища хімічними речовинами [20]. Тому одним з шляхів підвищення якості обприскування та приведення його у відповідність до вимог екологічної безпеки є застосування сильних електричних полів для електризації.

За результатами досліджень попередніх розділів був запропонований ЕТК (рис. 4.1). Для реалізації даної технології можливо використовувати нове технологічне обладнання, або модернізувати існуюче, наприклад на базі барабанного відцентрового сепаратора БЦС (рис. 4.2). Також можливе його

впровадження на технологій на платформі ЗАВ (рис. 4.3).



1 - бункер насіння; 2 - дозатор; 3 - камера протруювання насіння з діелектричного матеріалу; 4 - розподільник потоку; 5 - розпилювачі; 6 - вихідний отвір.

Рис. 4.1. ЕТК передпосівної обробки насіння зернових у хмарі електризованого аерозолю



1 – робоча камера; 2 – підготовка електроаерозолю; 3 – подача зерна; 4 - вихідний відсік.

Рис. 4.2. Модернізований БЦС для протруювання насіння зерна пшениці у хмарі електризованого аерозолю

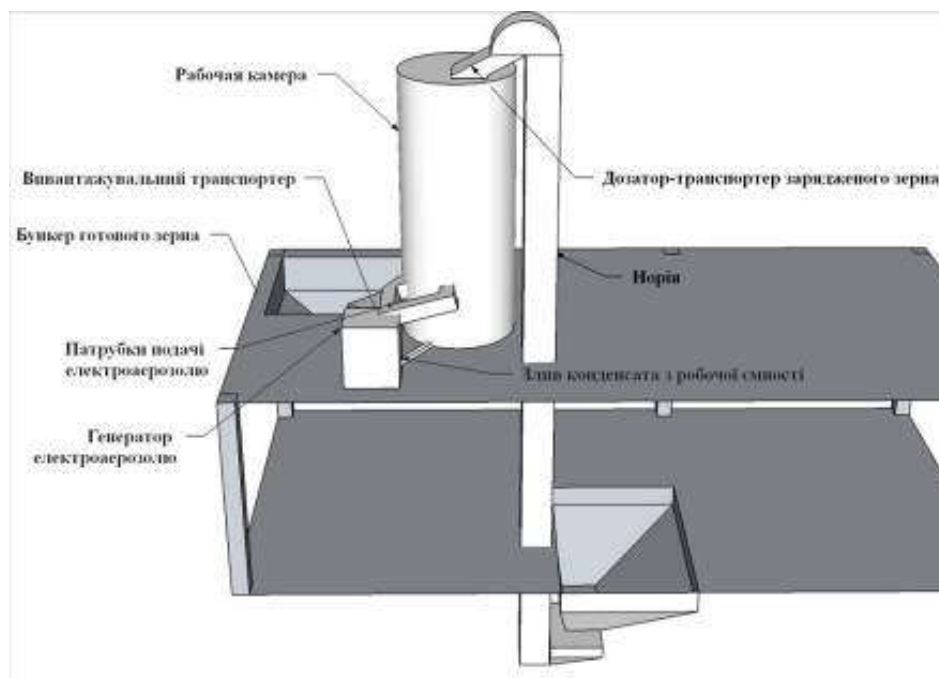


Рис. 4.3. Технологічна лінія впровадження ЕТК

Пропоноване технологічне обладнання складається з бункеру для насіння 1, дозатора 2, за допомогою якого у камеру протруювання, виконану з діелектричного матеріалу, подається насіння 3 по розподільнику потоку 4. На розподільник подається протилежний потенціал відносно потенціалу електрично зарядженого аерозолі робочого розчину, котрий подається за допомогою розпилювачів 5, спрямованих виходом назустріч потоку насіння, з можливістю регулювання довжини факелу, причому зерно у камеру без примусового прискорення, а обробляється під час вільного падіння у камері протруювання 3 з виходом через вивантажуючий отвір 6. При потраплянні насіння, яке заряджається при падінні з розподільника потоку 4, у хмару електрично зарядженого протилежним знаком аерозолі, відбувається його інтенсивне покриття робочим розчином, що залежить від довжини робочої камери 3 та різниці потенціалів між розподільником потоку 4 та розпилювачами 5 та концентрацією аерозольної хмари.

Вирішені задачі обґрунтування критерію оцінки якості роботи протруйника, а також експериментального дослідження та виробничого випробування запропонованого ЕТК. Лабораторний стенд складається з робочої камери, оприскувача з пристроєм заряду аерозолі, помножувач напруги та кіловольтампера.

Проведені дослідження дають уявлення про механізм зарядки часток аерозолі без урахування процесу їх формування та дозволяє визначити основні режими роботи проектного устаткування.

4.2 Електротехнологічний комплекс передпосівної обробки насіння зернових на основі електроаерозольних технологій

Згідно прийнятої технології передпосівної обробки насіння зернових у полі електроаерозолі, складена функціональна схема автоматизації запропонованої технологічної лінії. У відповідності до ДСТУ Б А.2.4.-16:2008, передбачено систему графічних та літерних позначень за функціональним

ознакам (рис. 4.1). Розроблена схема дозволяє ідентифікувати та контролювати основні режими роботи технологічних машин та етапи технологічного процесу, забезпечити певну послідовність включення силових елементів згідно стану датчиків, котрі приведені у таблиці 4.1, які надають вичерпну інформацію про поточний стан технологічного комплексу.

Прилади, засоби автоматизації, електричні пристрої та елементи обчислювальної техніки на функціональних схемах автоматизації показані у відповідності до ДСТУ Б А.2.4.-16:2008 та галузевим нормативним документам. Технологічне обладнання та комунікації, як правило, мають спрощене зображення, без наведення окремих другорядних технологічних апаратів та трубопроводів допоміжного призначення. Схема повинна давати чітке уявлення про принцип дії та взаємодію технологічного обладнання із засобами автоматизації.

Таблиця 4.1

Параметри технологічного процесу, які підлягають контролю, реєстрації або регулюванню.

№	Найменування пристрою	Контрольований параметр	Літерне позначення	Параметр, фізична величина	тип сигналу	Технічні засоби,
1	Норія	Завантаження приводу верхнього барабану	EE	I, А	Bool	Теплове реле
		Завантаження приводу заслінки норії	EE	I, А	Bool	Теплове реле
		швидкість обертання барабанів	SE	s, рад/с	Integer	Тахогенератор
		витратомір	FE	F, кг/с	Real	Витратомір
		положення заслінки	GE	L, мм	Bool	Шляховий вимикач
		якісні показники вхідного матеріалу	QE	гранулометричний склад, засміченість, вологість, культура	String	Лабораторні дослідження
2	транспортно-зарядник	Завантаження приводу	EE	I, А	Bool	Теплове реле
		Заряд зерна	EE	U, кВ	Integer	Вольтметр
3	Робоча камера	Наявність аерозолів та потоку зерна	RE	E, лк	Integer	люксметр
4	Ємність з робо-	Наявність розчину (верхній, нижній)	LE	L, мм	Bool	Датчик рівня

№	Найменування пристрою	Контрольований параметр	Літерне позначення	Параметр, фізична величина	тип сигналу	Технічні засоби,
	чим розчином	рівень)				рідини
5	Генератор аерозолю	Завантаження приводу розпилювача	EE	I, А	Bool	Теплове реле
		швидкість обертання диску розпилювача	SE	s, рад/с	Integer	Тахогенератор
		положення заслінки регулятора подачі аерозолю	GE	L, мм	Real	Датчик положення
		Робота камери генерації аерозолю	PE	P, Па	Real	Датчик тиску
6	Зарядник аерозолю	Струм споживання генератора високої напруги	EE	I, А	Real	Амперметр
		Заряд зерна	EE	U, кВ	Integer	Вольтметр
7	Вивантажувальний транспортер	Завантаження приводу транспортера	EE	I, А	Bool	Теплове реле
		Вологість обробленого насіння	ME	ψ, %	Integer	Датчик вологості зерна або лабораторні
8	Ємність для осаду робочого розчину	Наявність розчину (верхній рівень)	LE	L, мм	Bool	Датчик рівня рідини

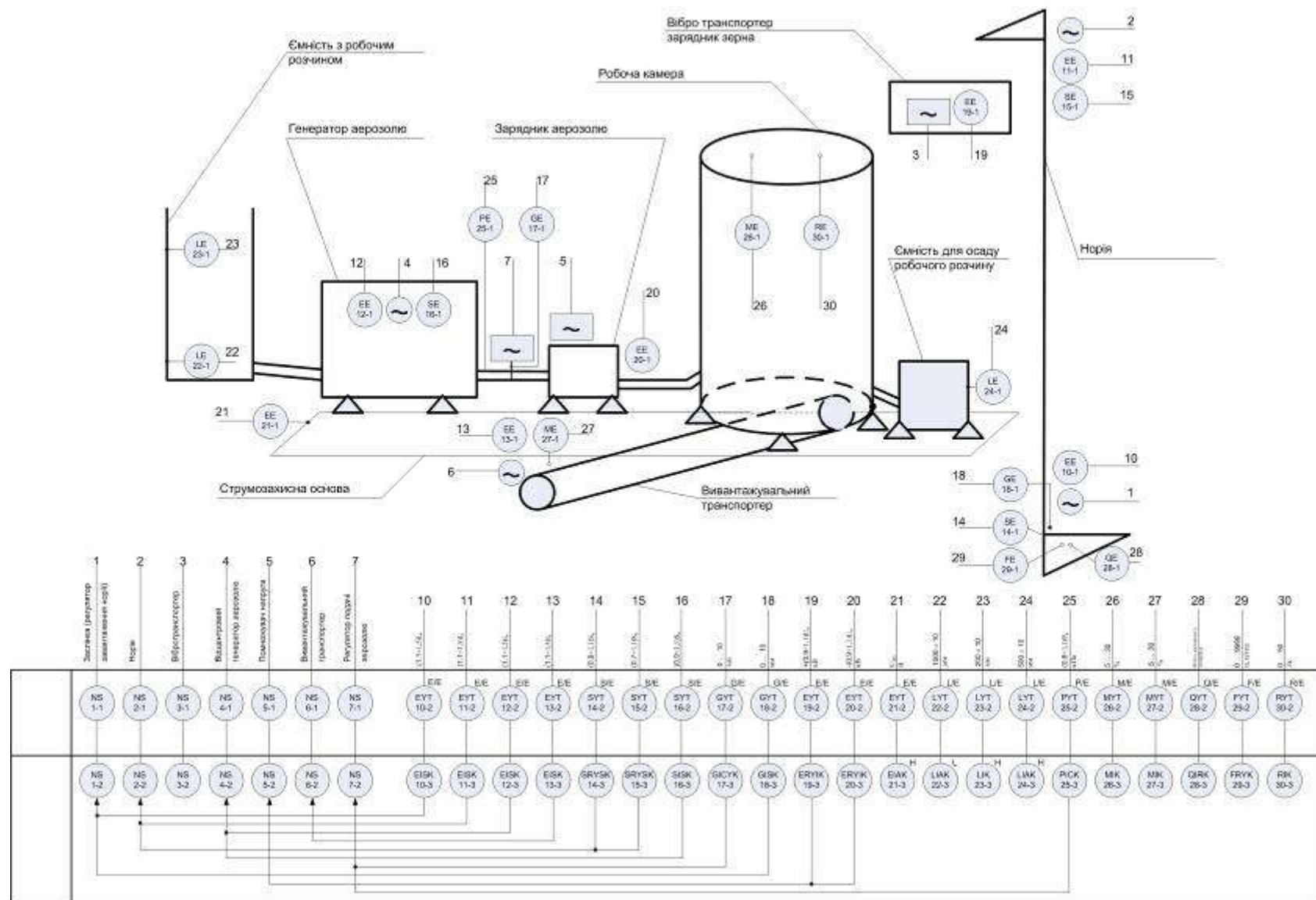


Рис. 4.1. Схема автоматизації ЕТК функціональна

Реалізацію АСК пропонується виконати на базі контролерів серії ES-ForthLogic, компанії ПП "Електросвіт" [4] (табл. 4.2). Інжинірингові рішення підприємства дозволяються реалізувати автоматичні системи керування на базі модульних рішень, які включають не тільки компоненти релейної автоматики та програмовані логічні комплекси, а ще й лінійки типових датчиків фізичних величин з уніфікованим сигналом, можливість поєднання із засобами автоматизації інших виробників та типовими системами з GSM/GPRS-контролерами для вирішення завдань диспетчеризації, моніторингу та керування.

Таблиця 4.2

Технічні засоби автоматизації.

Параметр контролю, функції	Тип обладнання
Датчик тиску повітря	ПД100-ДИ.1,0.1
Датчик положення: клапан / заслінка	ME8111 / ME8108
Вологість	ES-DH-1M
Датчик опромінення	ФР-7Е
Програмний логічний комплекс	ES-ForthLogic
Електромагнітне реле	РЕ-4РР
Блок живлення	БЖ-І
Модуль розширення дискретний	ES-DIO-1M
Модуль розширення аналоговий	ES-AI-1M / ES-PT-1M

4.3 Розрахунок джерела високовольтної напруги

При виконанні експериментальних досліджень, було використано зерно сорту Подолянка. Приймаємо, що форма насіння зерна пшениці наближена до форми еліпсоїда, а морфо метричні ознаки відповідають особливостям сорту. Враховуючі стандартний розмір зерна по сорту (рис. 4.2), його площа визначається як

$$S \approx 4 \cdot \pi \cdot \left[\frac{a^p \cdot b^p + a^p \cdot c^p + b^p \cdot c^p}{3} \right]^{1/p} \quad (4.1)$$

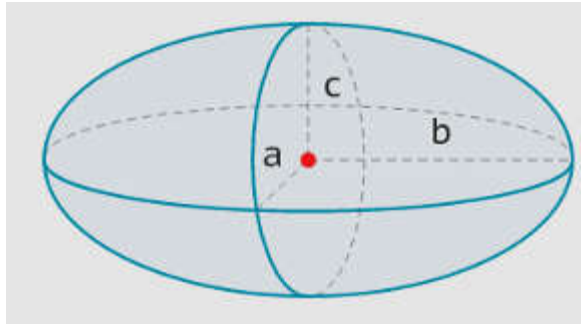


Рис. 4.2. Умовна форма зерна пшениці ($2a=2,8$ мм ; $2b=6,4$ мм; $2c=2,65$ мм; коефіцієнт форми $p=1,6075$).

Підставимо відповідні значення у вираз 4.1 і отримаємо, що умовна площа поверхні зерна пшениці дорівнює $S=45,86 \text{ мм}^2=45,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;

При середній вазі 1000 зерен сорту Подолянка 45г, можна прийняти, що умовна кількість зерен у 1 т $22,2 \cdot 10^6$ шт. Приймаємо, що площа поверхні 1 т насіння зерна дорівнює $1019,1 \text{ м}^2$. Враховуючи класифікацію аерозолі, за діаметром його часток можна розрахувати площу поверхні одиниці об'єму (табл. 4.3). Приймаємо аерозольний генератор з розміром часток 10-20 мкм. Отже для забезпечення продуктивності 5 т/год необхідно мати витрату розчину близько 0,075 л/хв. Таку витрату забезпечують певні марки пульверизаторів. Розрахунок джерела високовольтної напруги виконаємо для пульверизатора Bosch PFS 1000, який має витрату робочого розчину 150 мл/хв та робочий тиск 2,5 атм (252,5 кПа). Обраний пульверизатор має розмір дюзи 1,0 - 1,4 мм, а отриманий розмір часток аерозолі – $10 \cdot 10^{-6} \dots 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Заряд крапель рідини обумовлений здатністю їх заряджатися, що визначається постійної часу (2.9), з урахуванням того, що діелектрична проникність та питомий опір робочого розчину дорівнюватиме проникності води – 81 та 50 Ом·м відповідно

$$\tau = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 50 = 35,8 \cdot 10^{-9} \text{ с}$$

Порівняння розміру крапель та витрати робочого розчину
для обробки 1 т насіння зернових

Діаметр краплі аерозолю 10^{-6} м,	Площа перетину краплі, 10^{-12}	Кількість крапель, 10^9 шт/л	Площа поверхні 1 л розчину, м^2	Теоретична кількість розчину для обробки 1 т умовного зерна, л
1	0,785	1909860	1177	0,866
5	19,62	15278,8	235,32	4,33
10	78,5	1910	117,7	8,66
20	314	239	59	18,72
50	1962	15,3	23,56	43,25
100	7850	1,91	11,77	86,6

Перевіримо умову процесу утворення крапель та час заряджання аерозолю (2.10), для чого визначимо час утворення крапель (2.11), при цьому при індукційному заряджанні часток (рис. 2.1) відстань від зрізу форсунки до точки утворення крапель приймаємо $l_c = 0,03$ м, а швидкість струменю визначимо за формулою

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot p_p}, \quad (4.2)$$

де p_p – робочий тиск пульверизатора (253312 Па), Па.

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 253312} = 2229 \text{ м/с},$$

$$t_{kn} = \frac{0,03}{2229} = 0,1346 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

Отже умова (2.11) $\tau < t_{kn}$ виконується.

Визначимо напруженість поля на поверхні струменю для коаксіального електрода (2.12), при цьому відповідно до конструктивних особливостей обраного пульверизатора радіус струменю відповідає дюзі пульверизатора

$r_j=0,5 \cdot 10^{-3}$ м, а радіус електрода $r_0=0,01$ м

$$E_j = \frac{8000}{0,5 \cdot 10^{-3} \ln \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}}} = 5,34 \cdot 10^6 \text{ В/м}$$

Визначимо щільність поверхневого заряду на струмені (2.13)

$$\delta_j = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5,34 \cdot 10^6 = 47,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$$

Отримані значення дають можливість визначити величину конвективного струму (2.14), враховуючи, що витрата рідини $Q=150\text{мл/хв.}=2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$

$$i_0 = \frac{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}}{0,5^2 \cdot 10^{-2,3} \ln \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}}} = 472 \cdot 10^{-9} \text{ А.}$$

При швидкості повітря більшій за швидкість витікання рідини, остання розривається у вигляді циліндричної плівки і дробиться на краплі. В цьому випадку при $S_0 = 0,3 \dots 0,6$ мм конвективний струм розпилення дорівнюватиме (2.15)

$$i_0 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2,3} \ln \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}}} = 295,4 \cdot 10^{-9} \text{ А.}$$

Для розрахунку джерела живлення обираємо більший конвективний струм отриманий за формулами 2.14 та 2.15. Отже приймаємо $i_0=0,47$ мкА.

Ефективність зарядки часток слід визначати порівнянням отриманого ними заряду з максимально можливим, при якому можна спостерігати гідралічну нестабільність краплини (2.16), при цьому коефіцієнт поверхневого натягування робочого розчину $\delta=72,86 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$.

$$q_{\max} = 8\pi (10 \cdot 10^{-6})^{3/2} \sqrt{5,34 \cdot 10^6 \cdot 72,86 \cdot 10^{-3}} = 49,574 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$$

Визначимо фактичний заряд краплини за формулою (2.17)

$$q_a = \frac{2\pi^3}{3} 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5,34 \cdot 10^6 \cdot 0,5^2 \cdot 10^{-3,2} = 27,6 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}$$

У зв'язку з тим, що заряд частинки q_a менше q_{MAX} , то частинка подрібнюється на більш дрібні не буде, що уникає зниження заряду краплин за рахунок їх подрібнення.

В якості схеми електричної принципової помножувача напруги обираємо на основі конденсаторів (рис. 2.5., рис. 4.3), оскільки усі конденсатори, окрім C_1 , заряджаються до подвоєної напруги U_1 ($U_c=2U_1$), а C_1 заряджається тільки до U_1 , що дозволяє знизити вартість помножувача напруги. Недоліком даної схеми є послідовне з'єднання елементів, що ускладнює ремонт блоку високовольтного живлення.

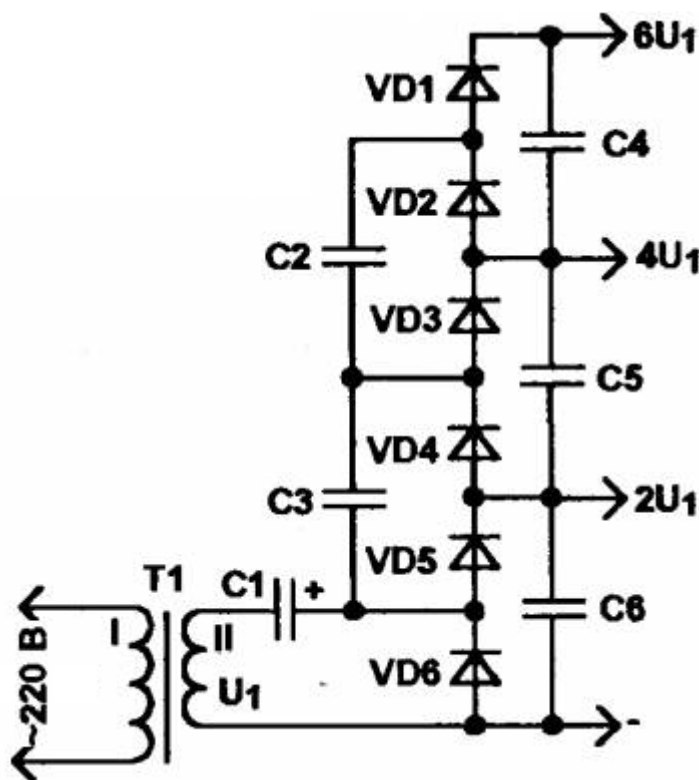


Рис. 4.3. Схема електрична принципова множника напруги

Таким чином, робоча напруга конденсаторів і діодів є достатньо низькою. Максимальний струм, що протікає через діоди визначається так [123]

$$I_{\max}=2,1 \cdot I_H, \quad (4.2)$$

де I_H – струм навантаження, А (прийнятий конвективний струм за формулою 2.14 дорівнює $i_0=315$ мкА)

$$I_{\max}=2,1 \cdot 0,47=0,987 \text{ мкА}.$$

В залежності від необхідної вихідної напруги $U_{\text{вих}}=0,83 \cdot U_0$ визначається кількість каскадів N за наближеною формулою $N=0,85 \cdot U_0/U_1$ де U_1 – напруга живлення, яка подається на множник напруги.

$$N=0,85 \cdot 4/0,15 = 23. \quad (4.3)$$

Необхідна ємність конденсаторів за представленою схемою визначається за наближеною формулою [123]

$$C=2,85 \cdot N \cdot I_H / (K_{\text{п}} \cdot U_0), \text{ мкФ}, \quad (4.4)$$

де N – кратність множення напруги;

$I_{\max}$ – максимальний струм навантаження, мА;

$K_{\text{п}}$ – припустимий коефіцієнт пульсації вихідної напруги, % (створювати постійну опорну напругу не потрібно, приймаємо 1);

U_0 – вихідна напруга, В.

$$C=2,85 \cdot 23 \cdot 0,987 \cdot 10^{-3} / (1 \cdot 4 \cdot 10^3) = 16,17 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ} = 16,17 \text{ пФ}.$$

Ємність конденсатора C_1 необхідно збільшити у 4 рази порівняно з розрахунковими значеннями [123]

$$C_1=4 \cdot C=4 \cdot 16,17 \approx 65 \text{ пФ}.$$

Для забезпечення працездатності схеми можна використовувати керамічні, слюдяні або на основі полістирена (табл. 4.4).

Характеристики конденсаторів

Параметр конденсатора	Тип конденсатора		
	Слюдяні	Керамічні	На основі полістирена
Діапазон зміни ємності	від 2,2 пФ до 10 нФ	від 2,2 пФ до 10 нФ	від 10 пФ до 10 нФ
Точність (можливий розкид значень ємності конденсатора), %	± 1	± 10 та ± 20	$\pm 2,5$
Максимальна робоча напруга конденсатора, В	350	250	160
Стабільність конденсатора	Відмінна	Достатня	Добра
Температура оточуючого середовища, °С	від -40 до +85	від -40 до +85	від -40 до +70

Найбільш придатні до використання є слюдяні конденсатори

С1 : К10-17 20 пФ;

С: К10-17 75 пФ.

Діоди обираються за умови подвійного перевищення зворотної напруги. Рекомендовано КД226Г (КД 411), або аналогічні за зворотною напругою, але меншим струмом.

Для зарядки зерна можливо обрати аналогічні показники конденсаторів та діодів, потужність, яка необхідна для створення поверхневого заряду, якого буде достатньо для зміни траєкторії руху насіння, значна менша, потужність заряду аерозолі. Для обладнання продуктивністю 400кг/год, напругою 20-30кВ, конвективний струм коливається від 0,1мА до 1 мА.

Можливо також придбати блок живлення, який задовольняє технологічним умовам передпосівної обробки (Додаток Д). Обраний блок живлення повинен мати потужність не менше 1 ВАр.

4.4 Дослідження стійкості і якості роботи автоматизованого електротехнологічного комплексу аерозольної обробки зерна

Для дослідження роботи запропонованого пристрою необхідно скласти структурні схеми, отримати відповідні математичні моделі, аналіз яких дозволить визначити рівень працездатності системи.

Відповідно до цього на рис. 4.4 представлена структурно-функціональна схема електротехнологічного комплексу аерозольної обробки зерна, яка відображає склад елементів, напрямок дії сигналів, а також функціональне призначення елементів.

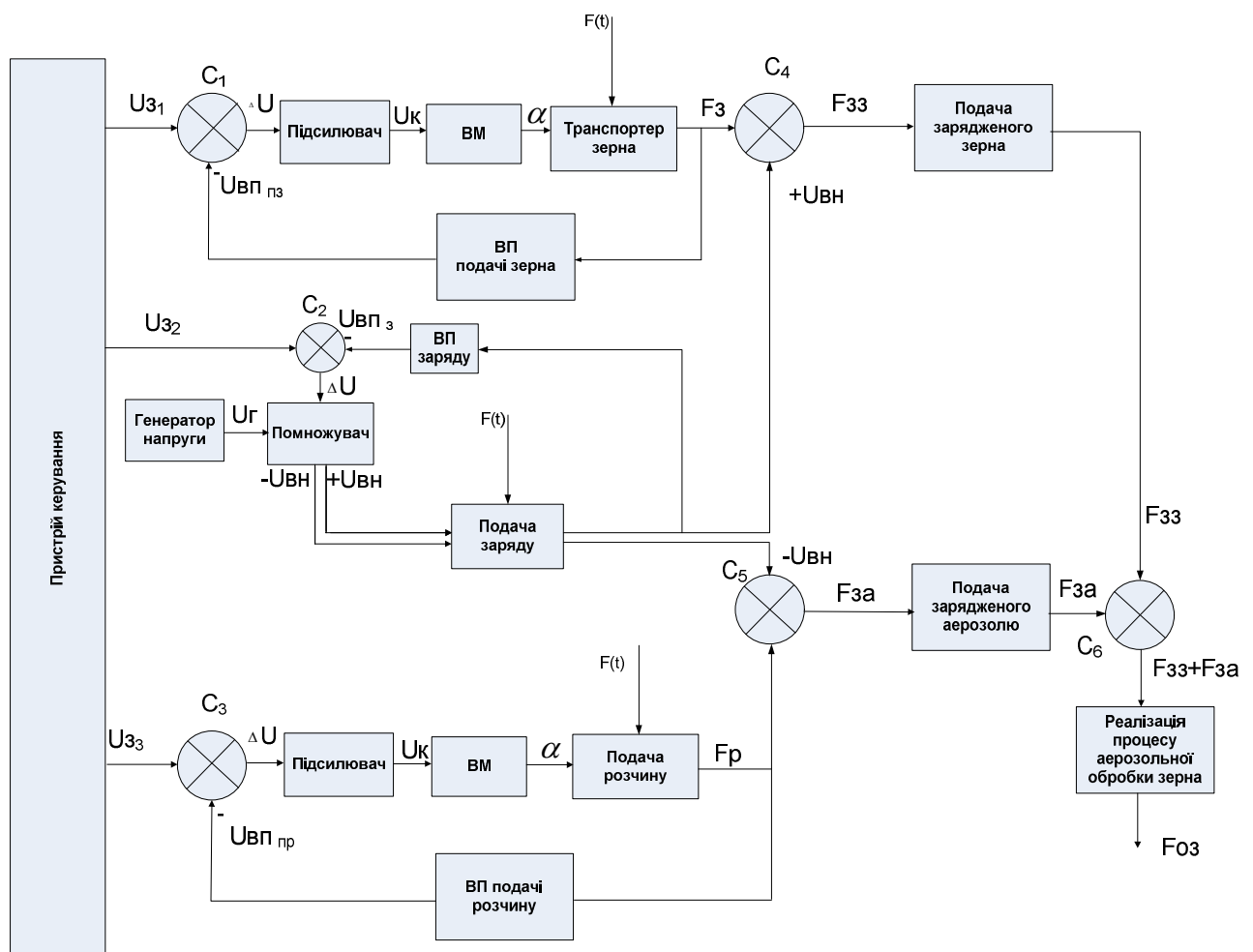


Рис. 4.4. Структурно-функціональна схема електротехнологічного комплексу аерозольної обробки зерна

Схема містить три контури управління, перший з яких відображає формування керованого потоку зерна з подальшою його зарядкою високою напругою. Для даного контуру передбачений контроль витрати зерна. Другий контур керування реалізує формування високої напруги різних знаків для зарядки відповідно зерна і аерозолі. Цей контур містить генератор, помножувач напруги з контролем її величини датчиком напруги в колі зворотного зв'язку. Третій контур відображає формування потоку рідини з подальшим утворенням аерозолі та її заряджанням високою напругою зі знаком, протилежним знаку заряду зерна.

З метою дослідження статичних та динамічних властивостей системи розроблена структурно-алгоритмічна схема, представлена на рис. 4.5.

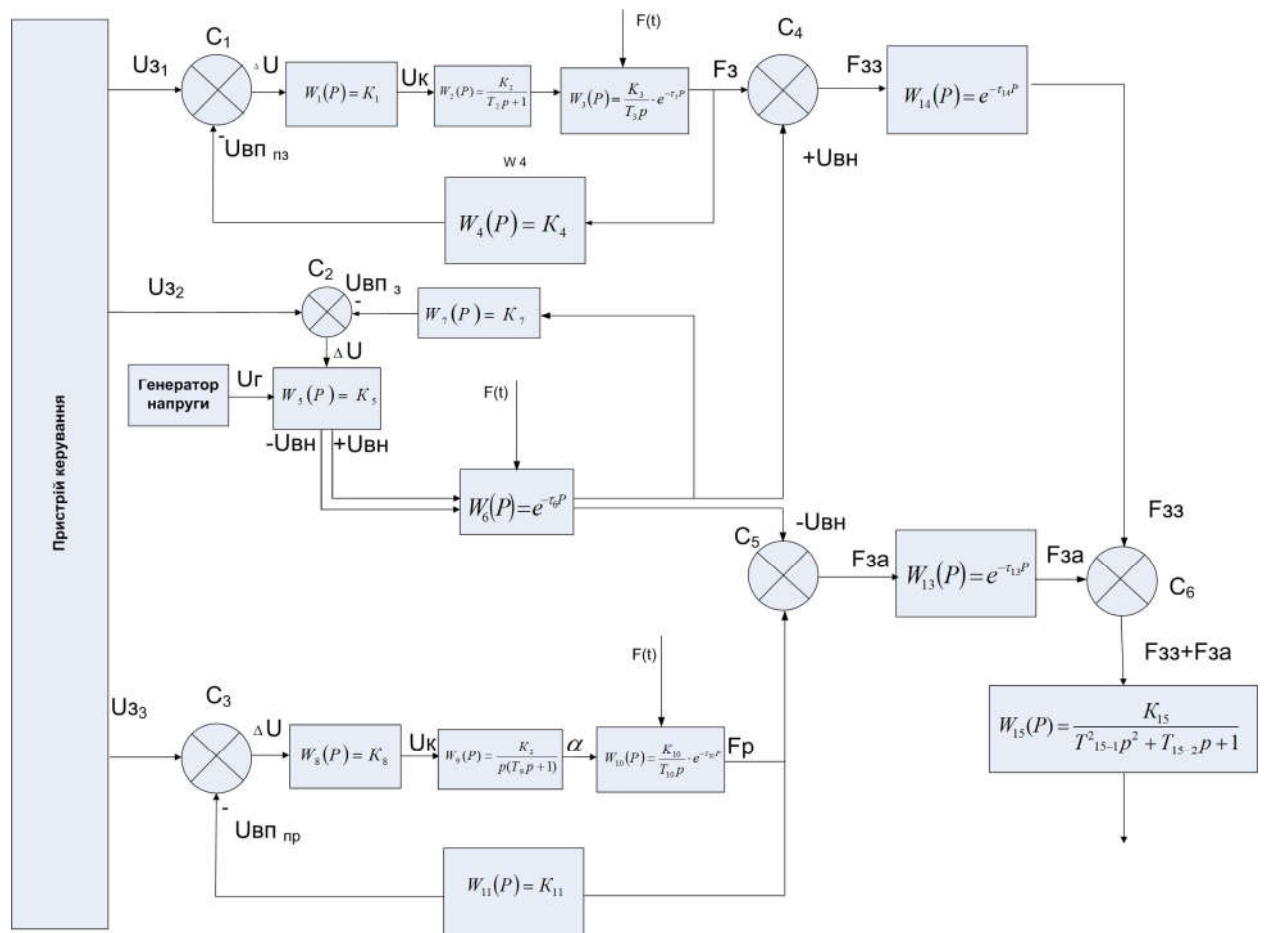


Рис. 4.5. Структурно-алгоритмічна схема електротехнологічного комплексу аерозольної обробки зерна

Тут передавальними функціями $W_1(P)$ - $W_4(P)$ позначений контур

управління потоком зерна з установкою в контурі зворотного зв'язку витратоміра ($W_4(P)$). Контур управління отриманням високої напруги реалізується ланками $W_5(P)$ - $W_7(P)$ з контролем величини напруги за допомогою датчика з функцією передачі $W_7(P)$.

Контур формування потоку рідини з подальшим утворенням аерозолі, відображений передавальними функціями $W_8(P)$ - $W_{11}(P)$.

Позначивши дані контури відповідно $W_{e1}(P)$ - $W_{e3}(P)$, а також використовуючи основні правила перетворення структурно-алгоритмічних схем, отримаємо:

$$W_{e1}(P) = \frac{W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P)}{1 + W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot W_4(P)} ; \quad (4.5)$$

$$W_{e2}(P) = \frac{W_5(P) \cdot W_6(P)}{1 + W_5(P) \cdot W_6(P) \cdot W_7(P)} ; \quad (4.6)$$

$$W_{e3}(P) = \frac{W_8(P) \cdot W_9(P) \cdot W_{10}(P) \cdot W_{12}(P)}{1 + W_8(P) \cdot W_9(P) \cdot W_{10}(P) \cdot W_{11}(P)} ; \quad (4.7)$$

Зарядка зерна високою напругою позитивної полярності здійснюється при надходженні його в робочу камеру (суматор C_4 , ланка $W_{14}(P)$). Процес зарядки аерозолі відповідно відображений суматором C_5 і ланкою $W_{13}(P)$. Тоді представлені контури можна описати наступним чином

- контур подачі зарядженого зерна

$$W_{зар.зер.}(P) = [W_{e1}(P) + W_{e2}(P)] \cdot W_{14}(P), \quad (4.4)$$

- контур подачі зарядженого аерозолі

$$W_{зар.аер.}(P) = [W_{e3}(P) + W_{e2}(P)] \cdot W_{13}(P), \quad (4.5)$$

- контур аерозольної обробки зерна

$$W_{аер.обр.зер.}(P) = [W_{зар.зер.}(P) + W_{зар.аер.}(P)] \cdot W_{15}(P). \quad (4.6)$$

Загальний вигляд і розрахунок параметрів передавальних функцій представлений в табл. 4.5.

Апроксимація елементів системи керування

Елемент системи	Передатна функція	Розрахунок параметрів
Підсилювач 1, 8	$W_1(P) = K_1$	$K_1 = \frac{U_{\text{mid}}}{\Delta U} = \frac{127}{0.2} = 635$
2. Виконавчий механізм 2, 9	$W_2(P) = \frac{K_2}{p(T_2 p + 1)}$	$K_2 = \frac{\alpha}{U_{\text{mid}}} = \frac{70}{127} = 0,55 \frac{\text{град}}{B}$ $T_2 = 0,015 \text{ с}$
3. Подача зерна	$W_3(P) = \frac{K_3}{T_3 p} \cdot e^{-\tau_3 p}$ або $W_3(P) = \frac{K_3}{T_3 p} \cdot \frac{1}{1 + \tau_3 p}$	$K_3 = \frac{F_3}{\alpha} = \frac{1,4}{70} = 0,02 \frac{T/\text{год}}{\text{град}}$ $T_3 = 0,1 \text{ с}, \tau_3 = 2 \text{ с}$
4. ВП подачі зерна	$W_4(P) = K_4$	$K_4 = \frac{U_{\text{пл.з.}}}{F_3} = \frac{0,4}{1,4} = 0,29 \frac{B}{\text{м/год}}$
5. Помножувач	$W_5(P) = K_5$	$K_{5_{\text{зар.з}}} = \frac{U_{\text{вис.напр.}}}{\Delta U} = \frac{\pm 5000}{0,4} = \pm 12500$
6. Подача заряду	$W_6(P) = e^{-\tau_6 P}, W_6(P) = \frac{1}{1 + \tau_6 p}$	$\tau_6 = 0,01 \text{ с}$
7 ВП подачі заряду	$W_7(P) = K_7$	$K_7 = \frac{U_{\text{пл.зар.}}}{U_{\text{виснапр}}} = \frac{0,8}{5000} = 0,00016$
10. Подача розчину	$W_{10}(P) = \frac{K_{10}}{T_{10} p} \cdot e^{-\tau_{10} p}$ Через ряд Паде $W_{10}(P) = \frac{K_{10}}{T_3 p} \cdot \frac{\tau_{10}^2 p^2 - 0,5 \tau_{10} p + 12}{\tau_{10}^2 p^2 + 0,5 \tau_{10} p + 12}$	$K_{10} = \frac{F_p}{\alpha} = \frac{0,006}{70} = 0,00009 \frac{T/\text{год}}{\text{град}}$ $T_{10} = 0,3 \text{ с}, \tau_{10} = 2 \text{ с}$
11. Форсунка	$W_{11}(P) = \frac{K_{12}}{T_{11} p + 1}$	$K_{11} = \frac{F_p}{F_p} = \frac{0,006}{0,006} = 1; T_{11} = 0,2 \text{ с},$
12. Подача зарядженого аерозолю	$W_{12}(P) = e^{-\tau_{12} P}, W_{12}(P) = \frac{1}{1 + \tau_{12} p}$	$\tau_{12} = 1 \text{ с}$
13. Подача зарядженого зерна	$W_{13}(P) = e^{-\tau_{13} P};$ або $W_{13}(P) = \frac{1}{1 + \tau_{13} p}$	$\tau_{13} = 1 \text{ с}$
14. Реалізація процесу аерозольної обробки зерна	$W_{14}(P) = \frac{K_{14}}{T_{14-1}^2 p^2 + T_{14-2} p + 1}$	$K_{14} = \frac{(F_3 + F_{pp}) - 0,2 \cdot F_p}{F_3 + F_p} =$ $= \frac{(1,4 + 0,006) - 0,2 \cdot 0,006}{1,4 + 0,006} = 0,99$ $T_{14-1} = 2 \text{ с}, T_{14-2} = 1 \text{ с},$

За отриманою структурно-функціональною схемою розроблена імітаційна модель (рис. 4.6), яка дозволяє отримати перехідні характеристики системи керування ЕТК (рис. 4.7) [140]

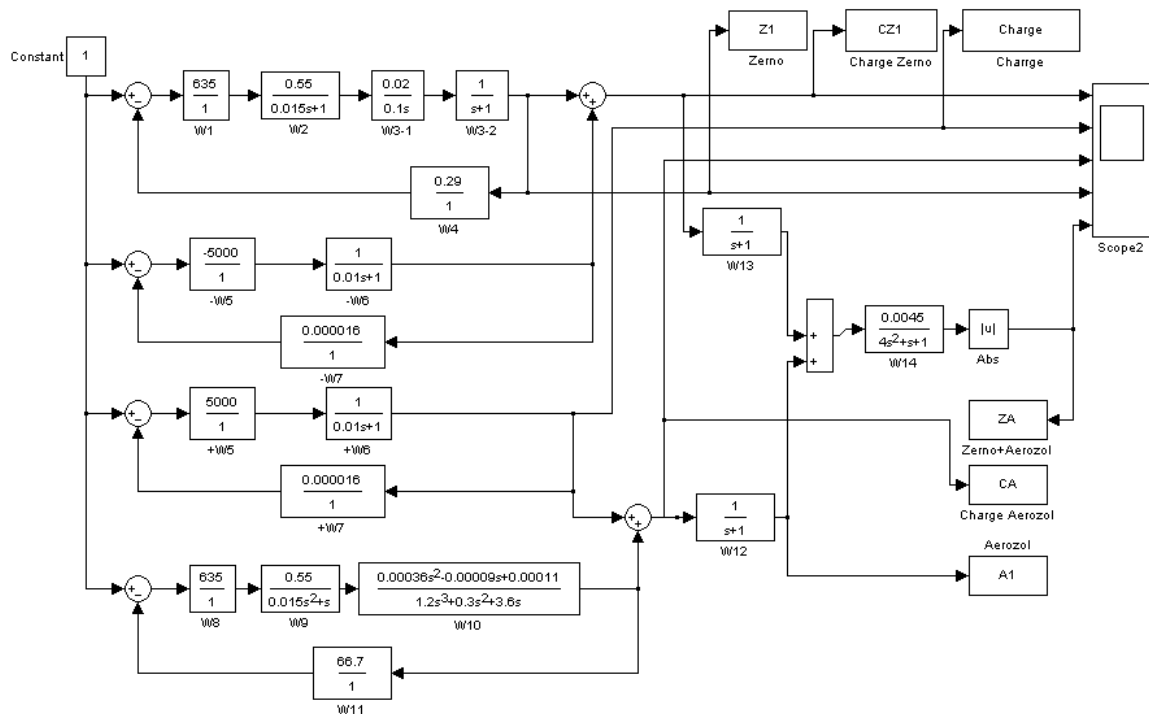


Рис. 4.6. Імітаційна модель дослідження системи керування електротехнічним комплексом

За імітаційною моделлю можна отримати перехідні процеси контурів (рис. 4.7): заряд аерозолу, заряд насіння пшениці, взаємодія зарядженого зерна пшениці та електризованого аерозолу. Час регулювання склав $T_{\text{рег}}=42$ с. По перехідним характеристикам одержимо такі показники: час досягнення першого максимуму $T_{\text{max1}}=8$ с, час досягнення другого максимуму $T_{\text{max2}}=15$ с, декремент затухання $\Delta=0,57$.

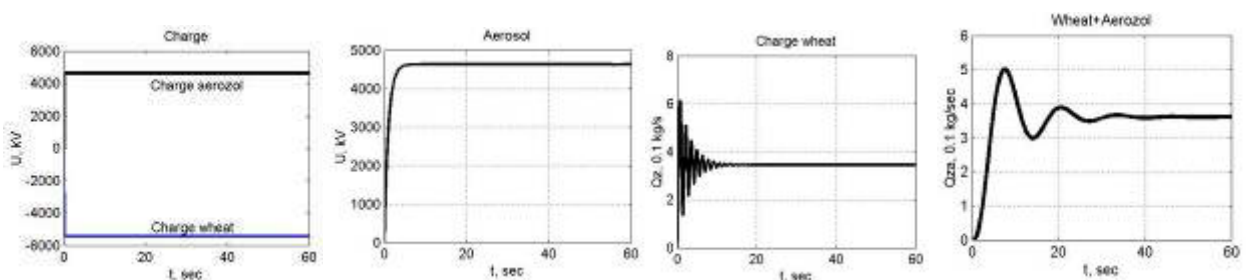


Рис. 4.7. Перехідні процеси системи керування на етапах передпосівної обробки насіння

Висновки.

Обрані технічні засоби автоматизації потенційно забезпечують керованість ТП передпосівної обробки насіння пшениці у полі електризованого аерозолі хімічного розчину.

Запропоновано технологічну схему ЕТК передпосівного обробітку насіння зернових, за умови їх мінімального пошкодження. Впровадження пропонуваної технології можливо на новому технологічному обладнанні та модернізованих комплексах ЗАВ.

Складена схема автоматизації функціональна, яка дозволяє ідентифікувати та контролювати основні режими роботи технологічних машин та етапи технологічного процесу, забезпечити певну послідовність включення силових елементів згідно стану датчиків.

Обрані технічні засоби автоматизації забезпечують стійкий режим роботи системи керування в широкому діапазоні коливань вхідних контрольованих параметрів. Якість керування технологічним процесом визначається такими показниками: час регулювання $T_{\text{рег}} = 42$ с, час досягнення першого та другого максимуму $T_{\text{max1}} = 8$ с та $T_{\text{max2}} = 15$ с відповідно, а декремент затухання $\Delta = 0,57$, що заходиться у межах, допустимих для даного класу систем.

Розроблена імітаційна модель дозволяє оцінити вплив зовнішніх та внутрішніх факторів збурення у різних режимах роботи ЕТК.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛІВ ПРИ ОБРОБЦІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ

Економічний ефект досягається за рахунок підвищення якості протруювання насіннєвого матеріалу [25, 141]. Аналіз посівних властивостей насіннєвого матеріалу при різних режимах обробки у лабораторних умовах не виявив статистично значущої їх зміни у лабораторних умовах.

Практичні випробування були проведені на 3 ділянках ПП «АСКОН» загальною площею 160 га (60 га, 50 га, 50 га), які розташовані у Якимівському районі Запорізької області (Додаток Б). Відповідно до сівообігу вказані ділянки були призначені для вирощування озимої пшениці, їх загальна характеристика представлена у (табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

Характеристика земельних ділянок

№ ділянки	Площа ділянки, га	Сорт	Попередник
1	60	«Подільська»	Яровий ячмінь
2	50	«Подільська»	Яровий ячмінь
3	50	«Подільська»	Яровий ячмінь

Земельні ділянки мали однакову технологію обробки ґрунту дискуванням та однакове внесення добрив.

У серпні перед висівом зернової культури була здійснена роздільна передпосівна обробка насіння. Насіння дослідних ділянок обробляли у модернізованому блоці аерозольної обробки з підзарядкою крапель і зерна та без неї, насіння контрольної ділянки обприскували у камерному протруйнику із перемішуванням. Для протруювання використано Рестлер-Тріо з витратою 2,5 л/т [53].

Сортові ознаки сорту пшениці «Подільська»: середня 53 ц/га; максима-

льна 103 ц/га. Норма висіву 4,5-5,5 10^6 зерен на га, або 0,23 т/га. Вага 1000 зерен 43,8-45,7 г [142, 143].

З 10 вересня по 20 вересня 2015 на дослідних і контрольних ділянках було здійснено висів зернової культури з нормою висіву 2,3ц/га. Після сходів в якості підкормки була внесена аміачна селітра (0,15 т/га). Агрохімічну обробку здійснювали двократно. Дослідні та контрольні польові ділянки мали максимальну подібну в агрономічному складі ґрунту, а також ідентичні умови при проведенні основних агротехнічних заходів з відмінностями у передпосівній обробці посівного матеріалу.

По ходу виконання експерименту на дослідних і контрольних ділянках була визначена польова схожість та фактична врожайність зернової культури, а також дана оцінка економічної ефективності передпосівної обробки насіння у хмарі електризованого аерозолі. Польова схожість та фактична врожайність зернової культури дослідних ділянок наведені у порівнянні із даними контрольної ділянки (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Урожайність озимої пшениці

№ ділянки	Вид обробки	Середня врожайність контрольної ділянки, ц/га	Фактична врожайність дослідної ділянки, ц/га	Фактична врожайність по відношенню до контролю	
				ц/га	%
1	Аерозоль	50,0	55,0	5,0	110,0
2	Електроаерозоль	53,0	60,0	8,0	115,4

№ ділянки	Польова схожість контрольної ділянки, %	Польова схожість дослідної ділянки, %	Польова схожість по відношенню до контролю	
			+/- %	%
1	95,0	96,5	1,5	101,6
2	95,0	97,2	2,2	102,3

Враховуючи, що використання технології аерозольної обробки насіння не викликає додаткових виробничих витрат, економічний ефект визначимо як різницю вартості отриманого додаткового врожаю та вартості препарату, у перерахунку на 1 га.

Оскільки середня врожайність у контролі з елеткроаерозольною обробкою склала 52 ц/га, то у розрахунку економічного ефекту за контроль приймаємо дане значення. Економічний ефект ($Y_{\text{досл}}$, грн./га) використання електроаерозольної технології

$$Y_{\text{досл}} = P_{\text{пш}} \cdot (V_{\text{досл}} - V_{\text{контроль}}) - Q_{\text{пр}} \cdot V_{\text{сів}}, \quad (5.1)$$

де $V_{\text{досл}}$ – врожайність дослідної ділянки, т/га;

$V_{\text{контроль}}$ – врожайність контрольної ділянки, т/га;

$V_{\text{сів}}$ – норма висіву, т/га;

$P_{\text{пш}}$ – вартість фуражного зерна при його продажу на елеватор (2 500 грн./т);

$Q_{\text{пр}}$ – вартість обробки насіння з урахуванням вартості протруювача насіння, грн./т;

Рентабельність по продукту (T , отриманий чистий дохід на 1 грн. витрат), характеризує відношення економічного ефекту до витрат на препарат у кожному варіанті

$$T_{\text{досл}} = \frac{Y_{\text{досл}}}{Q_{\text{пр}} \cdot V_{\text{сів}}}, \quad (5.2)$$

де $Y_{\text{досл}}$ – економічний ефект за варіантом ділянки, т/га;

$V_{\text{сів}}$ – норма висіву, т/га;

$Q_{\text{пр}}$ – вартість обробки насіння з урахуванням вартості протруювача насіння, грн./т.

Вартість препарату Рестлер Тріо коливається у межах 500-660 грн./л. Для розрахунку економічних показників приймаємо вартість 500 грн./л, оскільки підприємство закуповує велику партію. При порції обробки 2,5л/т вартість препарату для протруювання складе 1250 грн/т. Приймаємо загальні ви-

трати на протруювання 1 т насіннєвого зерна у розмірі 10% від вартості протруювача у базовому варіанті, та у проектованому без зарядки аерозолі додатково приймаємо 5%, 10% - із зарядкою аерозолі та зерна

Економічний ефект визначимо за формулою 5.1;

$$Y_{\text{досл1}} = 2500 \cdot (5,5 - 5) - 1,15 \cdot 1250 \cdot 0,23 = 919,4 \text{ грн / га},$$

$$Y_{\text{досл2}} = 2500 \cdot (6,0 - 5,3) - 1,2 \cdot 1250 \cdot 0,23 = 1405 \text{ грн / га}.$$

Рентабельність визначаємо за формулою 5.2

$$T_{\text{досл1}} = \frac{919,4}{1450 \cdot 0,23} = 2,78,$$

$$T_{\text{досл2}} = \frac{1405}{1500 \cdot 0,23} = 4,07.$$

За результатом проведеного дослідження можна зробити висновок, що передпосівна обробка насіння у полі електроаерозолі насіння зерна пшениці мало суттєвий вплив на підвищення врожайності, при цьому:

- польова схожість склала 97,2%, що на 2,2% вище за показники контрольної ділянки, або склало 102,3% відносно контролю;
- фактична врожайність пшениці «Подільська» у досліді склала 60 ц/га, що на 8 ц/га вище за врожайність контрольної ділянки, або склало 113,2% відносно контролю.

Виконаний розрахунок економічного ефекту доводить, що передпосівна обробка насіння зерна пшениці з використанням електротехнологій дозволяє окупили витрати на її впровадження за перший сільськогосподарський рік та отримати додатковий прибуток у розмірі 70,25 тис.грн.

Висновки

Економічний ефект досягається за рахунок підвищення якості протруювання насіннєвого матеріалу. Аналіз посівних властивостей насіннєвого матеріалу при різних режимах обробки у лабораторних умовах не виявив статистично значущої їх зміни у лабораторних умовах.

За результатом проведеного дослідження можна зробити висновок, що передпосівна обробка насіння у полі електроаерозолі насіння зерна пшениці мало суттєвий вплив на підвищення врожайності, при цьому:

- польова схожість склала 97,2%, що на 2,2% вище за показники контрольної ділянки, або склало 102,3% відносно контролю;
- фактична врожайність пшениці «Подільська» у досліді склала 60 ц/га, що на 8 ц/га вище за врожайність контрольної ділянки, або склало 113,2% відносно контролю.

Висновки

В дисертаційній роботі наведено вирішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення врожайності зернових за рахунок покращення якості передпосівної обробки насіння із застосуванням нових принципів аерозольного протруювання.

Основні теоретичні та експериментальні результати полягають в наступному:

1. За результатами досліджень традиційних систем протруювання насіння встановлено, що притаманна більшості з них неякісна передпосівна обробка насіння зернових наряду з їх травмуванням, призводить до втрат майже 20% врожаю. До того ж обробка робочими розчинами пошкодженого насіння зернових додатково знижує врожайність на 5-7 %. Зазначене потребує нового підходу до формування стратегій розробки електротехнологічних комплексів як складових операційної технології післязбиральної обробки зерна та насіння, котрі, з урахуванням наведеного, забезпечили б максимальну ефективність виробництва.

2. Запропонований електротехнологічний комплекс дозволяє мінімізувати пошкодження насіннєвого матеріалу зернових, а також реалізувати технології взаємодії заряджених протилежними зарядами насіння зернових та протруювачів у вигляді аерозолів, використання яких дозволяє мінімізувати витрату препарату, підвищити рівномірність його розподілу на насінні.

3. На основі математичного апарату марківських мереж розроблені теоретичні положення, які описують процес взаємодії електроаерозольних часток та зарядженого зернового матеріалу, при вільному падінні останнього у насиченому аерозолем робочому просторі камери протруювання, що дозволяє виконати моделювання повної обробки зернового матеріалу при економії витрат протруювача до 30 % у порівнянні з традиційними технологіями.

4. При проведенні лабораторних досліджень процесу у діапазоні продуктивності насіння 0,1...0,2 кг/с та зміни напруги заряду аерозолію та насін-

ня від 7,5 кВ до 9,5 кВ, доцільно використовувати концентрацію маркеру до 70 мл/л протруювача, що дозволило досягти максимального ефекту візуалізації рівномірності покриття насіння зернових аерозолем.

5. Сталий режим роботи технологічного процесу обробки електризованого насіння зернових у хмарі електризованого аерозолю та стійку роботу системи керування можливо забезпечити при різниці потенціалів 7 – 8 кВ, що забезпечує найменшу чутливість при коливанні подачі насіння.

6. Обрані технічні засоби автоматизації забезпечують стійкий режим роботи системи керування в широкому діапазоні коливань вхідних контрольованих параметрів. Якість керування технологічним процесом визначається такими показниками: час регулювання $T_{\text{рег}} = 42$ с, час досягнення першого та другого максимуму $T_{\text{max1}} = 8$ с та $T_{\text{max2}} = 15$ с відповідно, а декремент затухання $\Delta = 0,57$, що заходиться у межах, допустимих для даного класу систем.

7. Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації є обґрунтованими і достовірними, що базуються на відповідному теоретичному аналізі, коректній постановці й розв'язанні задач, узгодженням розрахункових значень з експериментальними даними і раніше відомими з публікацій результатами, широкою апробацією основних положень і результатів на представницьких наукових конференціях, впровадженням результатів досліджень у виробництво та навчальний процес.

Література

1. Сергій К. Комплексне застосування протруйників – надійний захист озимих зернових / Кнечунас Сергій // Зерно. – 2016. - №7 (124). – С. 166-167
2. Судденко В. В. Посівні якості насіння й врожайність пшениці м'якої ярої залежно від передпосівної обробки протруйниками та добривами/ В. В. Судденко // Хранение и переработка зерна. – 2014. – Вип. №12 (189). – С. 25-27
3. Ковбель А.І. Обробка насіння – потужний фундамент майбутнього врожаю / А.І. Ковбель, В.Й. Побережник // Агроном. – 2016. - №3. – С. 50-51
4. Пахомов А. И. Есть альтернатива химическому протравливанию? / А.И. Пахомов // Хранение и переработка зерна. – 2016. В. №1. – С. 48-50
5. Харченко А.Г. «Химеры» микромира угрожают продовольственной безопасности страны/ А.Г. Харченко// <http://www.bioinvest.com.ua>
6. Сергій Кнечунас Авіцена – вдалий старт на шляху до якісного та ви-ского врожаю / Кнечунас Сергій // Агроном. – 2016. - №3. – С. 82-84
7. Фридрих Мерц обработка посевного материала – беспроигрышные инвестиции / Мерц Фридрих // Агроном. – 2015. - №3. – С. 40-42
8. Пахомов А. И. Комбинированная технология обеззараживания зерна / А.И. Пахомов // Хранение и переработка зерна. – 2016. Вып. №2. – С. 27-29
9. Кирпа М.Я. Якість та особливості підготовки насіння до сівби для отримання врожаю 2015 / М.Я. Кирпа // Хранение и переработка зерна. – 2016. – Вип. №2 (191). – С. 25-27
10. Горбань Р. Вдале протруювання – просте рішення розкриття потенціалу культури / Р. Горбань // Агрном. – 2013. - №1. – С. 102-103
11. Патент № 102525 Україна. Спосіб передпосівної підготовки насіння зернових / Діордієв В. Т., Новіков Г. В., Кашкарьов А.О.//МПК6 А01G 7/04, / Заявник та власник патенту ТДАТУ. - № u201500192; заявл. 12.01.2015; зареєстровано 10.11.2015, бюл. № 21/2015.

12. Діордієв В. Т. Обробка насіння зернового матеріалу у хмарі зарядженого аерозолі / В. Т. Діордієв, Г. В. Новіков // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування». – Київ: НУБіП, 2016 - С. 23-25.

13. Новіков Г.В. Електротехнологічний комплекс передпосівної аерозольної обробки насіння зернових / Г.В. Новіков // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції пам'яті І.І. Мартиненка «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України». – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – С. 107.

14. Новіков Г.В. Обґрунтування конструкції електротехнічного комплексу передпосівної обробки зернових з використанням електроаерозолів / Г.В. Новіков, В. Т. Діордієв // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 165 – С. 89-90.

15. Новіков Г. В. Анализ устройств предпосевной обработки зерновых / Г. В. Новіков // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [електронний ресурс]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2014. - Вип. 4, Т. 2. – С. 186-196.

16. Новіков Г.В. Електротехнологічний комплекс передпосівної аерозольної обробки насіння зернових / Г.В. Новіков // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції пам'яті І.І. Мартиненка «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України». – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – С. 107.

17. Новіков Г.В. Апаратний спосіб оцінки впливу електричного поля на обробку насіння зернових аерозолем робочого розчину/ В. Т. Діордієв, Г. В. Новіков //Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 16, Т. 2 - С. 81-91.

18. Діордієв В.Т. Автоматизація електротехнологічного комплексу аерозольної обробки зерна/ В. Т. Діордієв, Г. В. Новіков // Енергетика та

комп'ютерно -інтегровані технології в АПК. - Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2016. - №2 (5). – С. 58-61.

19. Діордієв В. Т. Математичне моделювання електромагнітного фону у замкненому просторі стимуляторів зернового матеріалу / В. Т. Діордієв, Г. В. Новіков, А. О. Кашкарьов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2014. - Вип. 14, Т. 2. – С. 108-116.

20. Новиков Г.В. Электротехнологический комплекс предпосевной обработки зерна на основе электроаэрозолей/ Г.В. Новиков // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету . – Мелітополь: ТДАТУ,- 2015. – Вип. 15, Том. 2. – С. 281-289.

21. Новіков Г. В. Математичні основи моделювання обробки зернового матеріалу у хмарі електризованого аерозолю/ Г. В. Новіков, В. Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані техно-логії в АПК. - Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2016. - №1 (4). – С. 72-76 .

22. Крючкова Л.О. Хвороби озимої пшениці, які спричиняються некротрофними грибними патогенами, та методи їх діагностики: Автореф. дис... д-ра біол. наук: 06.01.11 / Л.О. Крючкова ; Нац. аграр. ун-т. — К., 2007. — 43 с.

23. Ключевич М.М. Агроекологічні основи системи захисту пшениці від септоріозу в умовах Полісся і Північного Лісостепу України: Автореф. канд. с.-г. наук. 06.01.11 / М.М. Ключевич ; Нац. аграр. ун-т. — К., 2004. — 22 с

24. Передпосівна обробка насіння зернових колосових культур та осіннє підживлення ріпаку від компанії UKRAVIT // Агроном. – 2016. - №3. – С. 68-69

25. Тришкин Д. С. и др. Справочник агронома по вопросам протравливания семян зерновых культур. Рекомендации для качественного протравливания / Под общей редакцией Тришкина Д. С. – М.: Bayer CropScience. – 44 с.

26. Герасько Т.В. Вплив антиоксидантів на фізіолого-біохімічні реакції рослин та продуктивність пшениці озимої: автореф. дис... канд. с.-г. наук:

03.00.12 / Т.В. Герасько ; Уман. держ. аграр. ун-т. — Умань, 2008. — 20 с.

27. Фадеев Л.В. Современный подход к передпосевной обработке семян / Л.В. Фадеев // Хранение и переработка семян. 2016. - №4 (201). – С. 38-45

28. Машины для хімічного захисту рослин. Посібник / За ред. Кравчука В.І., Войтюка Д.Г. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2010. – с. 184

29. Дрынча В.М. Передпосевная обработка семян. Протравливание и дражирование / В. М. Дрынча, Цыдендоржиев, Е.И. Кубеев // Хранение и переработка зерна [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://hipzmag.com/index.php>

30. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. Держспоживстандарт. Чинний від 01.01.2004. – С. 178

31. ДСТУ 3768:2010 «Пшениця. Технічні умови» Держспоживстандарт. Чинний від 31.03.2010. – С. 14

32. ДСП 8.8.1.2.001-98 Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві. Міністерство охорони здоров'я України. Державні санітарні правила. Чинний з 03.01.1998.

33. Закон України «Про пестициди і агрохімікати». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 14, ст.91

34. Кирпа Н.Я. Травмирование семян: причины и следствия / М.Я. Кирпа // Хранение и переработка зерна. – 2013. – Вип. №2 (167). – С. 29-31

35. Михайлов Є.В. Травмування насіння зернових культур в процесі післязбиральної обробки та шляхи його зменшення / Є.В. Михайлов, М.П. Кольцов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – Вип. 13, Т. 3. – С. 139-145

36. Герасимчук Ю. В. Перспективи використання електричного поля для зниження травмування насіння в процесах передпосівної підготовки / Ю. В. Герасимчук, В. Г. Сахневич // Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвід. темат. наук. зб. ННЦ «ІМЕСГ». – 2012. – Вип. 96. – С.

444-453.

37. Дерев'янка Д.А. Травмування та якість насіння на різних стадіях технологічних процесів / Д.А. Дерев'янка // Інженерія природокористування, 2014, №1(1), - С. 114-123.

38. ДСТУ EN 12761-2:2004 (EN 12761-2:2001) Сільськогосподарські та лісгосподарські машини. Обприскувачі-опилювачі для внесення засобів захисту рослин і рідинних добрив. Захист навколишнього середовища. Частина 2. Обприскувачі польових культур

39. ДСТУ EN 707:2005 (EN 707:1999, IDT) Сільськогосподарські машини. Цистерни для рідких органічних добрив. Вимоги безпеки. Чинний від 01.10.2007. – 18 с.

40. ДСТУ EN 12761-1:2004 (EN 12761-1:2001, IDT) Сільськогосподарські та лісгосподарські машини. Обприскувачі-опилювачі для внесення засобів захисту рослин і рідинних добрив. Захист навколишнього середовища. Частина 1. Загальні вимоги. – Чинний від 01.01.2006. – 8с

41. ДСТУ EN 12761-2:2004 (EN 12761-2:2001) Сільськогосподарські та лісгосподарські машини. Обприскувачі-опилювачі для внесення засобів захисту рослин і рідинних добрив. Захист навколишнього середовища. Частина 2. Обприскувачі польових культур. – Чинний від 01.01.2006. – 16 с.

42. ДСТУ EN 12761-3:2004 (EN 12761-3:2001, IDT) Сільськогосподарські та лісгосподарські машини. Обприскувачі-опилювачі для внесення засобів захисту рослин і рідинних добрив. Захист навколишнього середовища. Частина 3. Пневматичні обприскувачі для чагарників та плодових дерев. – Чинний від 01.01.2006. – 16 с.

43. Никитин Н.В. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве / Н. В. Никитин, Ю. Я. Спиридонов, В. Г. Шестаков. - М.: Печатный Город, 2010. – 200 стр.

44. Д. Шпаар и др. Зерновые культуры (Выращивание, уборка, доработка и использование)/ Под общей редакцией Д. Шпаара. – М.: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2008 – 656 с.

45. Цандур М.О. Агротехнологічні основи вирощування озимих зернових культур у південному Степу України: автореф. дис... д-ра с.-г. наук : 06.01.01 / Микола Олександрович Цандур ; Національний науковий центр "Інститут землеробства УААН". — К., 2009. — 39 с

46. Черна М.А. Анализ проблем предпосевной обработки семян на основе электромагнитных технологий / М.А. Черная, Н.Г. Косулина, О.Г. Аврунин // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко. — 2013. — Вып. 141. — С. 93-94

47. Черенков А. Д. Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина // Світлотехніка та електроенергетика. — 2005. — № 5. — С. 77 – 80.

48. Защита растений от болезней в теплицах [Текст] / Под ред. А. К. Ахатова. - М.: Т-во научных изданий КМК. - 2002. - 464 с.

49. Защита тепличных и оранжерейных растений от вредителей [Текст] / Под ред. С. С. Ижевского, А. К. Ахатова. - М. : Т-во научных изданий КМК, 1999.-399 с.

50. Зинченко, В. А. Химическая защита растений. Средства, технология и экологическая безопасность [Текст] / В. А. Зинченко. — М. : КолосС, 2005. - 232 с.

51. Круг Г. И. Овощеводство [Текст] / Г. И. Круг. - М.: Колос, 2000. — 520 с.

52. Дунский В. Ф. Пестицидные аэрозоли [Текст] / В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин, М. С. Соколов. - М.: Наука, 1982. - 288 с.

53. Рестлер Тріо [електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://ukravit.com.ua/catalog/ukravit/protruiniki/restler-tr-o/>

54. Защита растений от болезней в теплицах [Текст] / Под. ред. А. К. Ахатова. - М.: Т-во научных изданий КМК, 2002. - 464 с.

55. Behrens, R. Influence of pre- and post-treatment relative humidity on the phytotoxicity of 2,4-D / R. Behrens/ In: Proc. of the North-Central Weed Control

Conference. St. Paul: Univ. Minnesota. - 1973. - vol. 28. - p. 65-66.

56. Behrens, R. Influence of various components on the effectiveness of 2,4,5-Tsperms / R. Behrens // Weeds. - 1957. - vol. 5. - N 3.- p. 183-196.

57. Санин В. А. Итоги исследований по наземному ультрамалообъемному опрыскиванию [Текст] / В. А. Санин, С. П. Старостин // в кн. аэрозоли в защите растений / ВАСХНИЛ. - М.: Колос, 1982. - С. 3.

58. Оптимизация применения инсектицидов [Текст] / А. А. Ковальский, К. П. Куценогий, В. М. Сахаров, В. И. Макаров // в кн. аэрозоли в защите растений / ВАСХНИЛ. - М.: Колос, 1982. - С. 96.

59. Hadaway A. B. Studies on the deposition of oil drops / A. B. Hadaway, F. Barlow // Ann. appl. Biol. - 1965. - v 55.

60. Maas, W. Y. ULV-application and formulation techniques/ W. Y. Maas. -Amsterdam. - 1971. - 164 p.

61. Войтенко, А. Н. Опыт трехлетнего применения ультрамалообъемного опрыскивания в многолетних плодовых насаждениях [Текст] : в кн. аэрозоли в защите растений / А. Н. Войтенко, В. А. Гродский // ВАСХ-НИЛ. - М.: Колос, 1982. - С. 26.

62. Макаров, В. И. Остатки инсектицидов в растительности и почве после обработки высокодисперсными инсектицидными аэрозолями [Текст] / В. И. Макаров, В. М. Сахаров, К. П. Куценогий // Bull of Envir. Contamin. Toxic. - 1977. - vol. 17. -№ 6.

63. Лысов, А. К. Совершенствование механизации опрыскивания растений [Текст] / А. К. Лысов // Защита и карантин растений. - 2003 - № 9. -С. 38-39.

64. Арцимович, Л. А. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях [Текст] / Л. А. Арцимович, С. Ю. Лукьянов. - М. : Наука, 1978.-224 с.

65. Обприскувач GMD-6014 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sadko.ua/opryskivatel-gmd-6014>

66. Дондоков Д. Д. Исследование процесса электрической зарядки аэ-

розоля / Д. Д. Дондоков, Л. И. Эрдынеева // Вестник бурятской государственной сельскохозяйственной академии. - № 2. – 2011. – С. 43-46.

67. Kim C. Development of a response surface model of an electrostatic spray system and its contributing parameters /C. Kim, Y. Hang //Transactions of the ASABE/ Amer. soc. of agriculture and boil engineering . – St. Joseph (Mich.), 2007. – Vol. 50, № 2. – P. 583-590.

68. Безкровный, Н. Ф. Электроаэрозольный метод внекорневой подкормки растений в теплицах [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук / Н. Ф. Безкровный. - М., 1985. - 24 с.

69. Бородин, И. Ф. Электроаэрозольная химическая защита растений [Текст] / И. Ф. Бородин, П. Л. Лекомцев [и др.] // Вестник РАСХН. - № 5.- 2005.-С. 81-82.

70. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозоли в сельском хозяйстве [Текст] / П. Л. Лекомцев // Вестник Ижевской ГСХА. - 2004. - № 3. - С. 10.

71. Лекомцев, П. Л. Использование заряженных аэрозолей в теплицах [Текст] / П. Л. Лекомцев, О. В. Пархомец // Проблемы развития энергеттики в условиях производственных преобразований : научные труды по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию ФЭАСХ и кафедры ЭТСП. - т. 1. - Ижевск : Изд-во ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2003. - С. 74-76.

72. Оськин С. В. Электротехнологии в сельском хозяйстве: учебник для студентов вузов / С. В. Оськин. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 501 с.

73. Палій А.П. Аерозольна дезінфекція в промисловому свинарстві Данії / А.П. Палій // Вісник сумського національного аграрного університету Серія «Ветеринарна медицина». 2009. - Випуск 6 (25). – С. 100-102

74. Герасимчук Ю. В. Визначення силової дії електричного поля на зернові частинки в робочій зоні електродних систем електротехнологічних установок / Ю. В. Герасимчук, В. Г. Сахневич, Ю. М. Берлінець //Механізація і електрифікація сільського господарства. - 2013. - Вип. 97(2). - С. 156-163.

75. Спеціалізована база Даних «Винаходи (Корисні моделі) України»

[Електронний ресурс] / Український інститут промислової власності - Режим доступу: base.ukrpatent.org/searchINV

76. Тримбач С. П. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для протруювання насіння с.-г. культур [Електронний ресурс] / С. П. Тримбач, О. М. Вечера // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. - 2011. - Вип. 41(1). - С. 406-413. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2011_41\(1\)__67](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2011_41(1)__67)

77. Тимошенко С. П. Протруювання насіння — стан, проблеми і досягнення [Електронний ресурс] / С. П. Тимошенко, О. М. Вечера // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2010. - Вип. 94. - С. 196-206. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mesg_2010_94_23

78. Смелік В.А. Передпосівна обробка насіння нанесенням штучних оболонок / В.А. Смелік, Є.І. Кубеев, В.М. Дринча. - СПбГАУ, 2011. - 272 с.

79. Пошук корисних моделей, зареєстрованих в РФ [Електронний ресурс] - Режим доступу: poleznayamodel.ru

80. FPO. IP research & communities [Електронний ресурс] - Режим доступу: www.freepatentsonline.com/

81. Тимошенко С. П. Протруювання насіння – стан, проблеми і досягнення / С. П. Тимошенко, О. М. Вечера // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Випуск 94. – 2010. – С. 196-206

82. Тримбач С. П. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для протруювання насіння с.-г. культур/ С. П. Тримбач С. П., О. М. Вечера // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2011. – Випуск 41. – 406-413

83. Вечера О.М. Класифікація машин та методів знезаражування насіння сільськогосподарських культур / О.М. Вечера // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. - 2010 — Вип. 144 частина 1. – С. 103-111

84. Стибель І.В. Процес, параметри і режими інкрустаційної обробки насіння зернобобових і зернових культур протруювачем з обертовим коніч-

ним робочим органом: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / І.В. Стель ; Львів. держ. аграр. ун-т. — Л., 2000. — 18 с.

85. Офіційна сторінка компанії Petkus [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.petkus.com>

86. Офіційна сторінка і каталог компанії bayer [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cropscience.bayer.us/products>

87. Аэрозоли – дисперсные системы: Монография / Чекман И.С., Сырская А.О., Андреева С.В., Макаров В.А. / - Х: «Цифрова друкарня №1», – 2013. – 100 с.

88. Дитякин, Ю. Ф. Распыливание жидкостей [Текст] / Ю. Ф. Дитякин [и др.] - М.: Машиностроение, 1977. - 207 с.

89. Пажи, Д. Г. Основы техники распыливания жидкостей [Текст] / Д. Г. Пажи, В. С. Галустов. - М.: Химия, 1984. - 254 с.

90. Добилас, Ю.-А. М. Универсальный электроаэрозольный аппарат [Текст] / Ю.-А. М. Добилас // Ветеринария. - 1990. - № 7. - С. 13-14.

91. Дунский В. Ф. Высокодисперсный аэрозольный генератор повышенной производительности [Текст] / В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1980. - № 11. - С. 32-33

92. Савушкин А. В. Методы и технические средства электроаэрозольной обработки воздушной среды, яиц и цыплят в инкубаторах [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук / А. В. Савушкин. - Киев, 1986. - 24 с.

93. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию: Пер. с англ. / П. Райст. – М.: Мир, 1987. – 280 с.

94. Багаев А.А. Электротехнология: Учебное пособие. Алт.гос.техн.ун-т им. И.И. Ползунова/ А.А. Багаев, А.И. Багаев, Л.В. Куликова. - Алт гос. аграрный ун-т. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 315 с.

95. Устройство для распыления растворов [Текст] : а. с. 844074 СССР : МКИ В 05 В 5/04 / Н. Ф. Безкровный, И. И. Мартыненко (СССР). -№ 2859254/23-05 ; заявл. 10.10.79 ; опубл. 07.07.81, Бюл. № 25.

96. Устройство для распыления растворов [Текст] : а. с. 1028374 СССР

: МКИ В 05 В 5/04 / В.Н. Шмигель, А.В. Савушкин (СССР). -№ 3387952/23-05 ; заявл. 27.01.82 ; опубл. 15.07.83, Бюл. № 26

97. Электрозарядный аэрозольный генератор [Текст] : а. с. 582844 СССР : МКИ В 05 В 5/04 / И.А. Буреев, Ю.Н. Батюк (СССР). - № 2343525/23 ; заявл. 26.03.76; опубл. 05.12.77, Бюл. № 45.

98. Электроаэрозольный распылитель [Текст] : а. с. 1018609 СССР : МКИ В 05 В 5/02 / В. Н. Шмигель, А. В. Савушкин, Г. Ф. Сингатуллин (СССР).-№ 3309075/30-15 ; заявл. 29.06.81; опубл. 23.05.83, Бюл. № 19

99. Астапов, С. В. Центробежный аэрозольный генератор [Текст] / С. В. Астапов, Г. З. Блюмин // Ветеринария. - 1986. - № 9. - С. 25-26.

100. Генератор для индукционной зарядки капель тумана ионами [Текст]: а. с. 117403 СССР : МКИ А 01 М 7(00) / В. Ф. Дунский, А. В. Китаев (СССР). -№ 592144/30 ; заявл. 14.02.58 ; опубл. 01.01.58.

101. Генератор монодисперсных аэрозолей [Текст] : а. с. 1214231 СССР : МКИ В 05 В 5/02 / О. Ю. Соколов, Н. В. Чуняев (СССР). -№ 3769268/23-05 ; заявл. 09.07.84 ; опубл. 28.02.86, Бюл. № 8

102. Распылитель жидкости [Текст]: а. с. 1098576 СССР : МКИ В 05 В 5/00 / В.Н. Шмигель, А. В. Савушкин (СССР). - № 3549556/23-05; заявл. 11.11.82; опубл. 23.06.84, Бюл. № 23.

103. Устройство для нанесения жидких материалов [Текст] : а. с. 336914 СССР: МКИ В 05 В 5/00 / М. Н. Лившиц, Ф. Т. Садовский (СССР). -№ 1223520/29-14; заявл. 28.02.68 ; опубл. 15.07.75, Бюл. № 26

104. Групповый ингалятор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tochmedpribor.ru>

105. Защита растений в теплицах [Текст] / Под ред. А. К. Ахатова. – М.: Т-во научных изданий КМК. – 2002. – 464 с.

106. Зинченко В. А. Химическая защита растений. Средства, технология и экологическая безопасность [Текст] / В. А. Зинченко. – М.: КолосС, 2005. – 232 с.

107. Лекомцев П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйс-

твенном производстве [Текст]: дис. ... доктора техн. наук : 05.20.02 / Лекомцев Петр Леонидович. – М., 2006. – 314 с.

108. Багаев А. А., Багаев А. И., Куликова Л. В. Электротехнология: Учебное пособие [Текст] / А. А. Багаев, А. И. Багаев, Л. В. Куликова. Алт.гос.техн.ун-т им. И.И. Ползунова, Алт. гос. аграрный ун-т. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 315 с.

109. Electrostatic powder coating and enamelling equipments [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.strong3000.com>

110. Raleigh L. On the equilibrium of liquid conducting masses charger with electricity / L. Raleigh // Pilosophical magazine. - Woll 14. – 1982. – p. 184-186.

111. Лебедев М.Н. Сила действующая на проводящий шарик, помещенный в поле плоского конденсатора [Текст] / М. Н. Лебедев, И. П. Скальская // ЖТФ. т. XXXII, вып. 3. – 1962. – С. 375-377.

112. Деревенко К. В. Теоретические основы зарядки в электрическом поле коронного заряда лакокрасочных покрытий для пищевой промышленности [Текст] / К. В. Деревенко // Известия вузов. Пищевая технология. – 2008. - № 5-6. – С. 92-95.

113. Zhengwei L., Qiang Y. Evaluation of various particle charging models for simulating particle dynamics in electrostatic precipitators / Long Zhengwei, Yao Qiang // Journal of Aerosol Science 41 (2010). - P. 702–718

114. Фукс Н. А. Механика аэрозолей [Текст] / Н. А. Фукс. – М.: Изд-во академии наук СССР, 1955. - 351 с.

115. Фукс Н. А. Успехи механики аэрозолей [Текст] / Н. А. Фукс. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. - 159 с.

116. Бураев, Т. К. Индукционная зарядка жидкости в электрическом поле цилиндрического конденсатора [Текст] / Т. К. Бураев, В. М. Сланов // Электричество.- 1980.-№\.-С. 53-55.

117. Китаев, А. В. О системе параметров для электроаэрозольного метода защиты растений [Текст] / А. В. Китаев // тр. МИИСП. - т. 9. - вып. 3. -Ч.1.- 1972.-С. 101-111.

118. Грин Х. Аэрозоли - пыли, дымы и туманы [Текст] / Х. Грин, В. Лейн. -Изд. 2-е, стер. - М.: «Химия», 1972. - 428 с.
119. Основы электрогазодинамики дисперсных систем [Текст] / И. П. Ве-рещагин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзабекян, М. М. Пашин. - М.: Энергия, 1974.-480 с.
120. Митрофанов А.В. Импульсные источники вторичного электропитания в бытовой радиоаппаратуре/ А.В. Митрофанов, А.И. Щеголлев. – М.: Радио и связь, 1985. – 72 с.
121. Петрович В. П. Силовые преобразователи электрической энергии : учебное пособие / В.П. Петрович, Н.А. Воронина, А.В. Глазачев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 240 с.
122. Джонс Морган Ламповые усилители / пер. с англ.; под общ. научной ред. к.т.н. доц. Иванюшкина Р. Ю. – М.: Издательский дом «ДМК#пресс», 2007. – 760 с.
123. Бородай, В.А. Практична схемотехніка в електроприводі [текст]: навчальний посібник / В.А. Бородай, Савченко С.Б., Р.О. Боровик – Д.: Державний ВНЗ „Національний гірничий університет”, 2012. – 177 с.
124. Дубограй И.В. Дискретная марковская модель двухстороннего боя многочисленных группировок / И.В. Дубограй, В.Ю. Чуев // Наука и образование [электронный ресурс]. – М: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – С. 109-120. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/617171.html>
125. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. М.: УРСС, 2006. 432 с.
126. Jaswal N.K. Military Operations Research: Quantitative Decision Making./ N.K. Jaswal // Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 388.
127. Соболев И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. М.: Наука, - 1968. – 64 с.
128. Навчальний посібник курсу “Процеси Маркова в актуарній математиці” / Упорядник: М.В.Карташов - К., Видавничо-поліграфічний центр 'Київський університет', 2008 - 56 с.

129. Приймак М. В. Моделі та методи дослідження систем масового обслуговування Марківського типу в умовах стохастичної періодичності та їхнє застосування в енергетиці / М.В. Приймак, О.В. Мацюк, О.В. Маєвський, С. Ю. Прошин // Технічна електродинаміка. – 2014. - №2. – С. 11-16.

130. Крук В.І. Тонкошарова хроматографія (ТШХ) як метод контролю якості протруювання пестицидами насіння та токсикації сходів ріпа-ку [Електронний ресурс] / І. В. Крук, О. Д. Чергіна // Збірник наукових праць [Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків]. - 2012. - Вип. 15. - С. 41-46. - Режим досту-пу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpcib_2012_15_11

131. Цымбал А.А., Яцков Р.П., Кочедыков Г.А., Козьмин А.А., Небавский В.А. Оценка качественных показателей опрыскивателя с электростатической подзарядкой капель. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №2, 2003. - с.44- 45.

132. Мельничук С. Д. Проблеми визначення вмісту залишків пестицидів у зерновій продукції та шляхи їх вирішення / С. Д. Мельничук, В.Й. Лоханська, Ю.С. Баранов, А.О. Білоус // Журнал Хроматографічного товариства. 2009. – т. IX. – № 1, 2. – С. 13-20.

133. Наказ «Про затвердження Переліку референс-методик відбору зразків та їх досліджень (випробувань), що повинні застосовуватись в арбітражних дослідженнях об'єктів санітарних заходів» Міністерство аграрної політики та продовольства України. №397 від 19.10.2015.

134. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений. Методы и алгоритмы. // Соросовский образовательный журнал. – 1996. - №3 – С. 110-121.

135. Діордієв В. Т. Математичний апарат для аналізу графічного зображення пшениці / В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов, Л. Г. Шляхова // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. - Вип. 8, том 5. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 119-124.

136. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Физматгиз, 1961. – 480 с.

137. Опря А. Т. Математична статистика / А. Т. Опря. - К.: Урожай,

1994€ – 208 с.

138. Соловьёва Н.М. Технологии и технические средства для защиты сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней. - М.: ФГНУ " Росинформаг- ротех", 2001.-60с.

139. Яцков Р.П. Технологический процесс и оборудование для опрыскивателей с электроподзарядкой капель : дис. ... кандидата тех. наук : 05.20.01 / Яцков Руслан Петрович – М.: ГНУ «ВСТИСП», – 2005. – 144 с.

140. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие / С. Г. Гермен-Галкин. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

141. Чайківський І.А. Інтенсифікація виробництва зерна на інноваційній основі в аграрних підприємствах / І.А. Чайківський // Сталий розвиток економіки. – 2012. - №6. – С. 100-104

142. Озима пшениця подолянка [електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://www.semagro.com.ua/info/ozima-pshenicja-podoljanka-333.html>

143. Каталог сортів та гібридів [електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://poisksorta.com/catalog/item290.html>

Додаток А

Документи з охорони інтелектуальної власності

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 102525

СПОСІБ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ПІДГОТОВКИ НАСІННЯ
ЗЕРНОВИХ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні
моделі **10.11.2015.**

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

Л.Г. Жарінова



(21) Номер заявки: u 2015 00192

(22) Дата подання заявки: 12.01.2015

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 10.11.2015(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 10.11.2015,
Бюл. № 21

(72) Винахідники:

Діордієв Володимир
Трифонович, UA,
Новіков Геннадій
Володимирович, UA,
Кашкарьов Антон
Олександрович, UA

(73) Власник:

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72310, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ПІДГОТОВКИ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб передпосівної підготовки насіння зернових, що включає опромінення насіння зернових електромагнітною енергією надвисокочастотного діапазону, біологічну активізацію насіння шляхом передачі біоелектричної енергії від випромінюючого об'єкта - потоку опроміненого насіння, до споживаючого - потоку неопроміненого насіння, змішування потоків та їх подальшу сумісну витримку, який відрізняється тим, що попередньо на насінні з потоку, який опромінюється, створюється захисна оболонка з добрив та біозахисних препаратів шляхом розпилення хімічно активного розчину, причому опромінення здійснюють одразу після нанесення захисного шару, а змішування потоків виконується без температурної стабілізації опроміненого насіння.

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 112265

СПОСІБ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 12.12.2016.

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України

А.А.Малин



(19) UA

(51) МПК

A01G 7/04 (2006.01)

A01C 1/08 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2016 05876

(22) Дата подання заявки: 31.05.2016

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 12.12.2016(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 12.12.2016,
Бюл. № 23

(72) Винахідники:

Діордієв Володимир
Трифонович, UA,
Новіков Геннадій
Володимир, UA,
Кашкарьов Антон
Олександрович, UA

(73) Власник:

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72310, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб передпосівної обробки насіння зернових, який полягає в обробці насіння зернових аерозолем хімічного розчину, що розпилюється у камері для протруєння з розподільником потоку насіння, який відрізняється тим, що насіння й аерозоль попередньо заряджають протилежними зарядами, потім гравітаційно сипким потоком насіння подають у камеру для протруєння, наповнену зарядженим аерозолем.

Додаток Б
Акти впровадження



ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з НР ТДАТУ

Проф. Надикто В.Т.
2016 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ДП «Гуляйпільський механічний завод» ВАТ «Мотор Січ»

М. Семенюта
2016 р.

АКТ

Про впровадження результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських та технологічних робіт

Ми, що підписалися нижче, представники Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ): Діордієв В.Т. – д.т.н., професор, завідувач кафедри електроенергетики і автоматизації, Новіков Г.В. – здобувач та представники ДП «Гуляйпільський механічний завод» ВАТ «Мотор Січ»: Гергец В.І. – головний інженер, Лютий П.Г. – головний механік склали цей акт про те, що результати науково-дослідної роботи за 2013-2016 р.р. «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи електротехнологічного комплексу аерозольної обробки насіння зернових» передані у вигляді наукового звіту ДП «Гуляйпільський механічний завод» ВАТ «Мотор Січ» з метою їх використання при розробці нових пристроїв для знезараження насіння.

Вид впроваджених результатів: проект технічного рішення щодо удосконаленої технологічної схеми та режимів роботи пристрою обробки заряджених високою напругою протилежної полярності насіння зернових за аерозоллю.

Форма впроваджених результатів:

Обґрунтування конструктивних параметрів та режимів роботи електротехнологічного комплексу аерозольної обробки насіння зернових.

Методика визначення критеріїв ефективності, які впливають на якість процесу знезараження насіння зернових.

Новизна науково-дослідницької роботи: за рахунок удосконалення технологічної схеми та оптимізації режимів функціонування запропонованого пристрою забезпечено якісне знезараження насіння зернових при його

обробці хімікатами у вигляді аерозолі, причому насіння та аерозоль заряджені різнополярною високою напругою.

Економічний ефект досягається за рахунок підвищення рівномірності знезараження насіннєвого матеріалу зернових, що призводить до поліпшення якості насіннєвого матеріалу в цілому.

Представники ТДАТУ: Представники ДП «Гуляйпільський механічний завод» ВАТ «Мотор Січ»:

Керівник НДР

В.Т. Діордієв

Головний інженер

В.І. Гергец

Злобувач

Г.В. Новіков

Головний механік

П.Г. Лютий



ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор ТДАУ

проф. Кюрчев В.М.

«11» грудня 2016 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

ПП "АСКОН"

Заступник директора

В. Д. Цап

«11» грудня 2016 р.

АКТ

упровадження результатів науково-дослідницьких,
дослідно-конструкторських та технологічних робіт

Ми, що підписалися нижче, представники ПП «АСКОН» (Запорізька обл., с.м.т. Якимівка): головний інженер Ковтуненко П. П., Шевченко О. В. головний бухгалтер та представники Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАУ) Діордієв В.Т. – професор, д.т.н., завідувач кафедри електроенергетики і автоматизації; Новіков Г.В. – інженер цим актом підтверджуємо те, що результати науково-дослідницької роботи ТДАУ «Обґрунтування параметрів та режимів роботи передпосівної обробки зерна у хмарі електроаерозолі» впроваджено у ПП «АСКОН».

Вид впроваджених результатів: проект технічного рішення технологічної схеми та експериментальний зразок електротехнологічного комплексу передпосівного протруювання насіння зернових у хмарі електроаерозолі.

Форма впроваджених результатів: технологія протруювання зернових, методика оцінки якості протруювання, проектна документація, експериментальний зразок комплексу.

Новизна результатів науково-дослідницької роботи: спрощена методика ідентифікації режиму роботи елементів ТК та стану технологічного процесу.

За результатом проведеного дослідження можна зробити висновок, що передпосівна обробка насіння у полі електроаерозолі насіння зерна пшениці мало суттєвий вплив на підвищення врожайності, при цьому:

- польова схожість пшениці «Подільянка» склала 97,2%, що на 2,2% вище за показники контрольної ділянки;
- фактична врожайність пшениці «Подільянка» у досліді склала 60 ц/га, що на 7 ц/га вище за врожайність контрольної ділянки, або склало 113,2% відносно контролю.

Виконаний розрахунок економічного ефекту доводить, що передпосівна обробка насіння зерна пшениці з використанням електротехнологій дозволяє окупити витрати на її впровадження за перший сільськогосподарський рік.

Представники ТДАУ

Керівник НДР:

В.Т. Діордієв

Інженер:

В. Новіков

Представники ПП «АСКОН»

Головний інженер

П. П. Ковтуненко

Головний бухгалтер

О. В. Шевченко

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Ректор ТДАТУ
 проф. Кюрчев В.М.
 «11» жовтня 2016 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 ПП «АСКОН»
 Заступник директора
 В. Д. Цап
 «11» жовтня 2016 р.

АКТ

Ми, що підписалися нижче, посада ПП «АСКОН» (Запорізька обл., с.м.т. Якимівка) головний інженер Ковтуненко П. П., Шевченко О. В. головний бухгалтер, завідувач кафедрою електроенергетики і автоматизації Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ) професор, д.т.н. Діордієв В.Т., та інженер Новіков Г.В. склали цей акт про те, що на базі ПП «АСКОН» були проведені експериментальні дослідження процесу передпосівної обробки насіння зернових з використанням електротехнологій.

Місцем проведення дослідів є 3 ділянки ПП «АСКОН» загальною площею 160 га (60 га, 50 га, 50 га), які розташовані у Якимівському районі Запорізької області. Відповідно до сівообігу вказані ділянки були призначені для вирощування озимої пшениці, їх загальна характеристика представлена у таблиці 1. Земельні ділянки мали однакову технологію обробітку ґрунту.

Таблиця 1 - Характеристика земельних ділянок

№ ділянки	Площа ділянки, га	Сорт	Попередник
1	60	«Подільська»	Яровий ячмінь
2	50	«Подільська»	Яровий ячмінь
3	50	«Подільська»	Яровий ячмінь

Перед висівом здійснена роздільна передпосівна обробка насіння. Насіння дослідних ділянок оброблювали у модернізованому блоці аерозольної обробки із зарядкою аерозолів і зерна, насіння контрольної ділянки обприскували у камерному протруйнику із перемішуванням. Для протруювання використано Рестлер-Тріо з витратою 2,5 л/т.

З 10 вересня по 20 вересня 2015 року на дослідних і контрольних ділянках було здійснено висів зернової культури з нормою висіву 2,3 ц/га. Агрохімічну обробку здійснювали двократно. Дослідні та контрольні польові ділянки мали максимальну подібність в агрономічному складі ґрунту, а також ідентичні умови при проведенні основних агротехнічних заходів. Польова схожість та фактична врожайність зернової культури дослідних ділянок наведені у порівнянні із даними контрольної ділянки (таблиця 2).

Таблиця 2 - Врожайність озимої пшениці

№	Вид обробки	Середня врожайність контрольної ділянки, ц/га	Фактична врожайність дослідної ділянки, ц/га	Польова схожість контрольної ділянки, %	Польова схожість дослідної ділянки, %
1	Аерозоль	50,0	55,0	95,0	96,5
2	Електроаерозоль	53,0	60,0	* 95,0	97,2

Представники ТДАТУ

Керівник НДР:

В.Т. Діордієв

Інженер:

Г.В. Новіков

Представники ПП «АСКОН»

Головний інженер

П. П. Ковтуненко

Головний бухгалтер

О. В. Шевченко

Додаток В

Устаткування для протруювання зернових

Протруювач порційної дії С 50¹ працюють по роторно-стаціонарному принципу дії (рис. В.1.). Спеціальне виконання ротора і статора забезпечують максимальне і рівномірне покриття насіння.

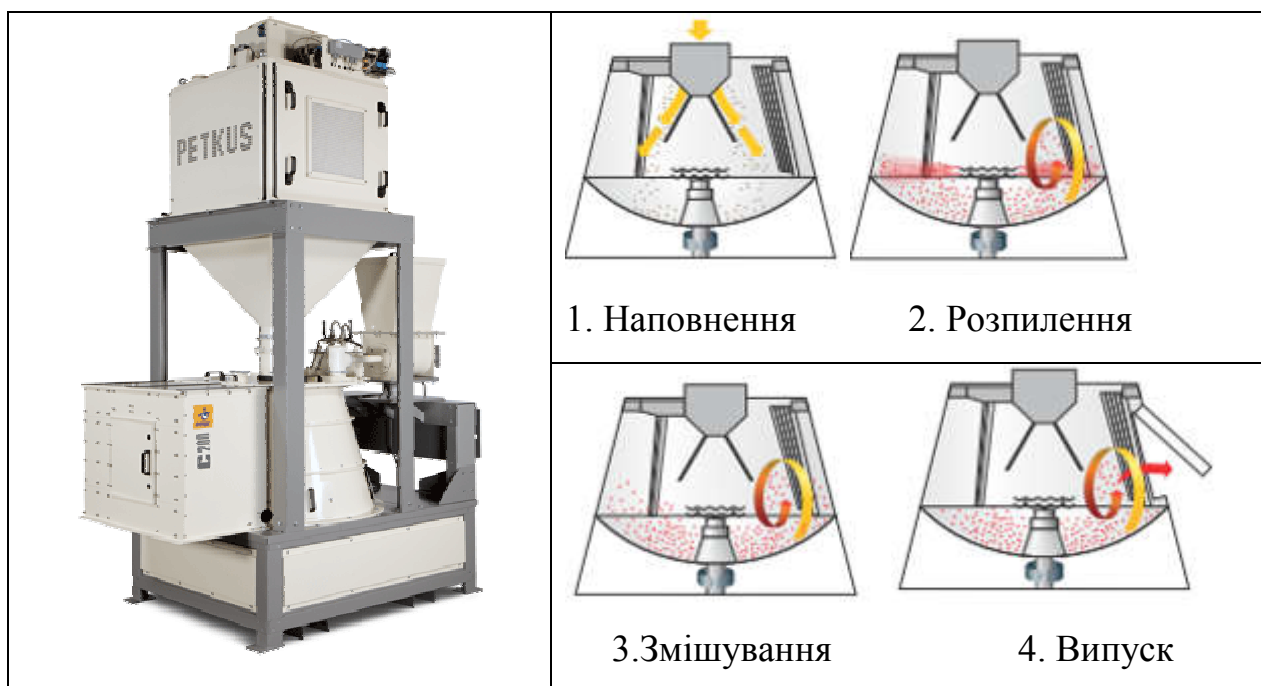


Рис. В.1. Зовнішній вид та принцип дії протруювача С-50

Протруювач насіння камерний стаціонарний ПСК-15¹ призначений для передпосівного протруювання насіння зернових, бобових та технічних культур водними розчинами пестицидів (рис. В.3.). Встановлюється у стаціонарній лінії очищення або протруювання насіння.

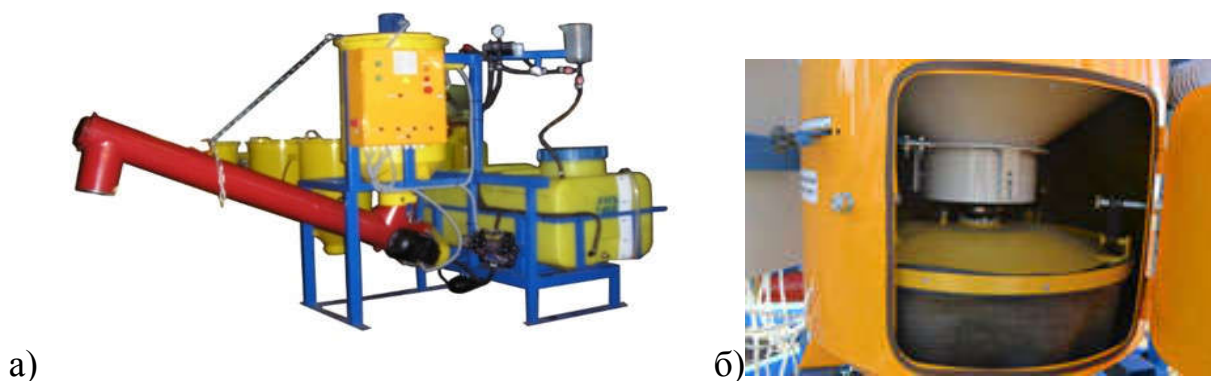


Рис. В.3. Зовнішній вигляд протруювача насіння камерного ПСК-15 (а) та камера протруювання (б)

¹ <http://www.petkus.com>

Компанія Беламе також випускає комплект КПС-20 (рис. В.4.), призначений для протруювання насіння зернових культур водними розчинами та суспензіями фунгіцидів з наступним зважуванням із заданою точністю, обліком та, за вимогою, фасуванням. Додатково протруювач може бути укомплектований перистальтичним насосом дозатором робочого розчину, що суттєво підвищує точність дозування однокомпонентного та багатокомпонентного розчинів, а також полегшує перемикання на інші види робочих розчинів.



Продуктивність , т/год.	10
Фасування зернових, кг	5-50
Споживана потужність, кВт	7,0
Габаритні розміри, мм	4500
	4000
	8000
Вага, кг	3500

Рис. В.4. Зовнішній вид та технічні характеристики КПС-20

Протруювач насіння ПНУ² (рис. В.3) забезпечує високоякісну обробку не розпиленними рідкими препаратами інерційно-фрикційним способом з мінімізацією травмування насіннєвого матеріалу (зернові, бобові, кукурудза, сояшник, рапс та інші культури). Має наступні переваги: безперервна дія, надійність, простота конструкції та обслуговування, самоочищення від залишків насіння та препаратів.

¹ <http://belama.com>

² http://www.opt-union.ru/i_store/item_1000258737



ПНУ – 4



ПНУ - 10 з візком



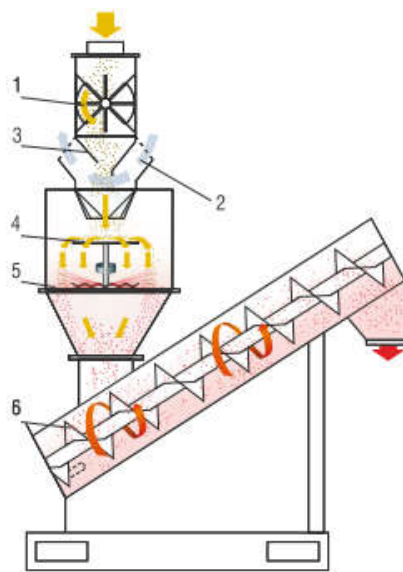
ПНУ - 10 без візка

Рис. В.5. Типовий ряд протруювачів насіння ПНУ

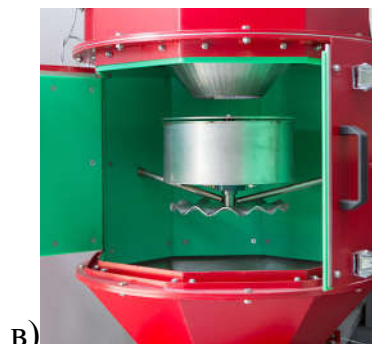
Протруювач насіння безперервної дії РЕТКУС¹ підходять для обробки усіх видів сировини, коли необхідна продуктивність до 25 т/год з одночасною високою ефективністю протруювання (рис. В.6.).



а)



б)



в)



г)

Рис. В.6. Протруювач насіння зернових безперервної дії Petkus (а), технологічна схема (б), робоча камера (в), змішувач (г): 1 - шлюзовий дозатор; 2 – боковий повітряний сепаратор; 3 – завантажувальна воронка; 4 – диск розподілу насіння; 5 – диск-розпилювач протруювача; 6 - змішувач.

¹ <http://www.petkus.com>

Безперервні протруювачі типу СТ 5-25 PETKUS ¹ - універсальні протруювачі для вологого протруювання насіння, які використовують рідкі та суспендовані протруювачі (рис. В.7.).

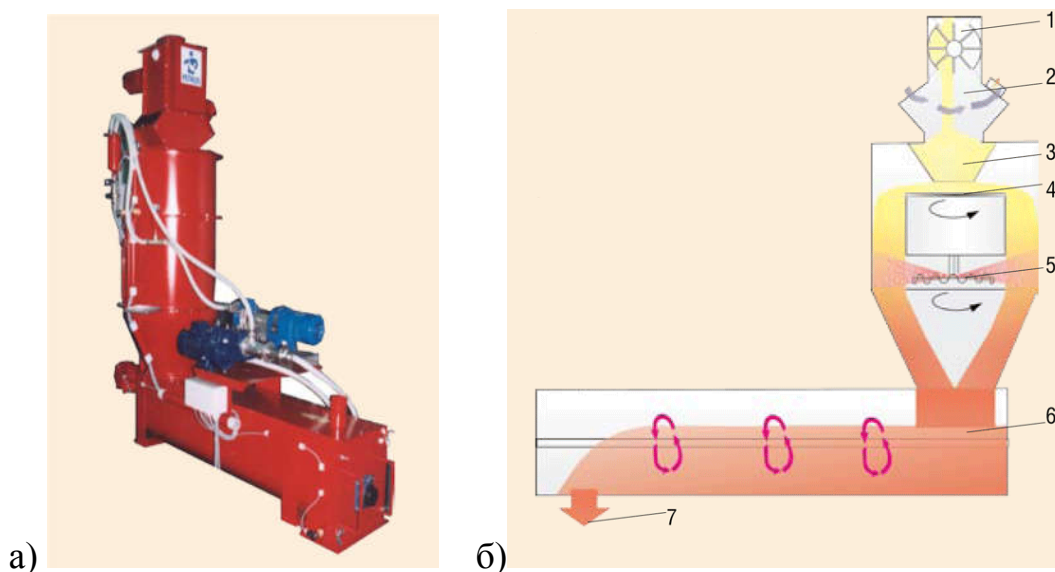


Рис. В.7. Зовнішній вигляд протруювача насіння зернових безперервної дії Petkus (а), технологічна схема (б): 1 - шлюзовий дозатор; 2 – завантажувальна воронка; 3 – диск розподілу насіння; 4 – диск-розпилювач протруювача; 5 – подача протруювача; 6 – змішувач; 7 – випускний отвір.

Стационарный барабанный протруювач інкрустатор насіння безперервної дії Клен ПСБ-10 ² призначений для знезараження та інкрустації насіння зернових, бобових та технічних культур препаратами і суспензіями на водній основі (рис. В.8).



Рис. В.8. Зовнішній вигляд стаціонарного барабанного протруювача ПСБ-10

¹ <http://ltvukraine.com.ua/protravlivateli>

² <http://klen-agro.ru>

Система поточного протруювача G3-1100 DS¹ розроблена для точного нанесення рідкого протруювача та інокулянта на різні типи насіння (рис. В.9). Аплікатор G3DS може наносити як 1 рідкий розчин, так і 2 по чергово, або ж обидва розчини в баковій суміші на насіння під час його виходу з аплікатора. Оптимальна швидкість потоку насіння 24-45 т/годину для одинарного аплікатора.



Рис. В.9. Зовнішній вигляд та технологічна схема G3-1100 DS

5BYX-5 протруювач насіння безперервної дії (рис. В.10) використовує роторний розпилювач робочого розчину². Це дозволяє здійснити регулювання співвідношення насіння і робочого розчину. Обладнання має високошвидкісний відцентровий диск розпилювання з нержавіючої сталі.



Продуктивність 5 т/год
 Габаритні розміри, м 2,5×1×2,4
 Габаритні розміри баку, м 0,54×0,05×0,86
 Мережа живлення 380В, 50Гц
 Встановлена потужність 3,18 кВт
 Дозування препаратів 1:25~1:120
 Однорідність покриття, % ≥ 98
 Відхилення дозування $\leq 0.1\%$
 Ступінь очищення $\geq 95\%$
 Надійність роботи $\geq 98\%$
 Метод покриття Роторний
 Транспортёр Норія

Рис. В.10. Зовнішній вигляд та технічна характеристика протруювача 5BYX

¹ <http://www.seedtreating.com>, <http://www.agritema.com>

² <http://www.microbial.co.za/products.php>

Протруювачі Agrosaw¹ мають ряд особливостей пов'язаних з компактністю та виконання робочих органів із нержавіючої сталі, що дозволяє подовжити термін експлуатації устаткування та спростити обслуговування (рис. В.11). Дозування насіння здійснюється ковшовою системою з попереднім зважуванням.



ST-2-RD



ST-4-RD

Продуктивність	2 т/год	Продуктивність	4 т/год / 2 т/год
Встановлена потужність	1 кВт	Встановлена потужність	2,7 кВт / 1,95 кВт

Рис. В.11. Протруювачі Agrosaw безперервної дії

Компанія Bayer² має широкий перелік технологічного обладнання безперервного принципу дії для протруювання насіння з широким номенклатурним рядом по потужності (рис. В.12). Устаткування забезпечує високу якість дозування насіннєвого матеріалу, робочих розчинів та суспензій.



Рис. В.12. Зовнішній вигляд протруювачів насіння компанії Bayer

¹ <http://www.agrosaw.co.in/seed-treater-model-st.html>

² <https://www.cropscience.bayer.us/products>

Протруювачі компанії Akyurek¹ безперервного принципу дії мають камерний обприскувач та гвинтовий змішувач (рис. В.13, рис. В.14, табл. В.7).



Рис. В.13. Зовнішній вигляд протруювачів насіння компанії Akyurek

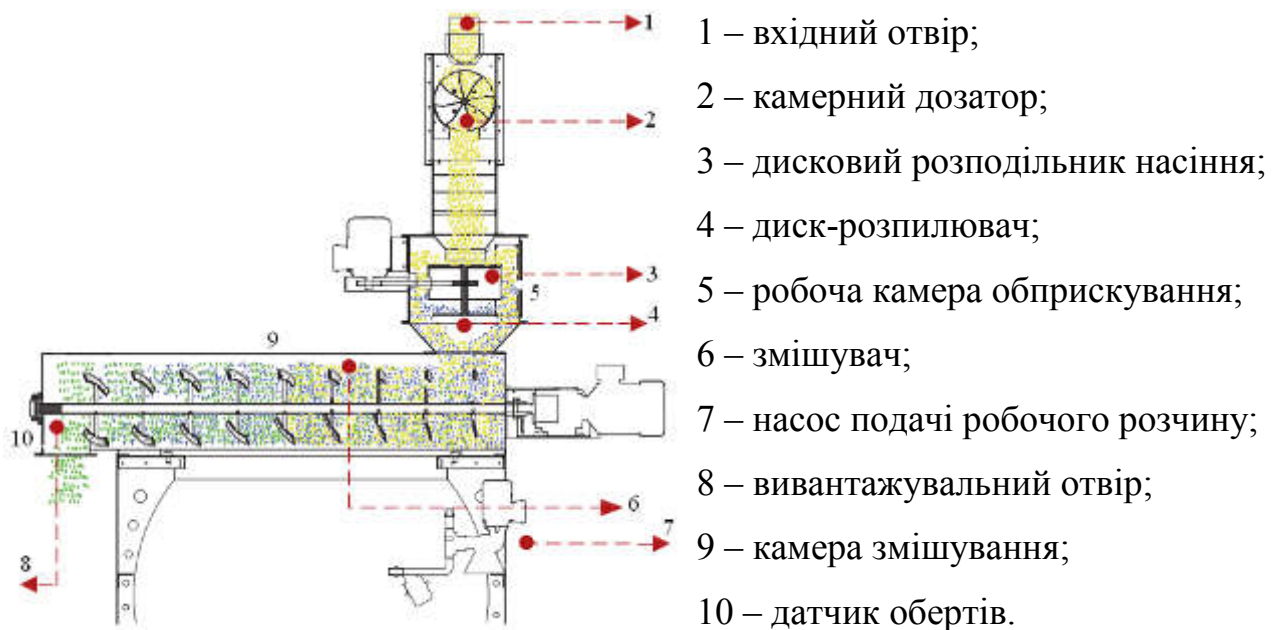


Рис. В. 14. Технологічна схема протруювача насіння компанії Akyurek

¹ <https://akyurekltd.com/en/Seed-Treatment-Machine-PLC-Model--45s.html>

Додаток Г
Генератори аерозолю

Відцентрові аерозольні генератори проекту «Радуга туману»¹ випускаються з 2004 року. Аерозольні генератори даного проекту використовуються для знезараження сільськогосподарських приміщень утримання тварин та птахів, складських приміщень, тепличних комплексів, обприскування садів та об'єкти харчової промисловості. Генератори ЦАГ-1 та ЦАГ-2 (рис. Г1., табл. Г1) відносяться до генераторів холодного туману, механічним розпиленням з дисковим робочим елементом. До основних вузлів генератора належать розпилювач, вентилятор, а для генератора ЦАГ-2 гофрований корпус у вигляді труби. Струменевий аерозольний генератор САГ-5М (рис. Г2., табл. Г1) призначений для розпилення медичних препаратів та працює від системи стисненого повітря (витрата - 2м³/л; тиск 1,5-2,5кг/см²).



Цаг-1



Цаг-2

Рисунок Г.1. Відцентрові генератори аерозолі серії ЦАГ

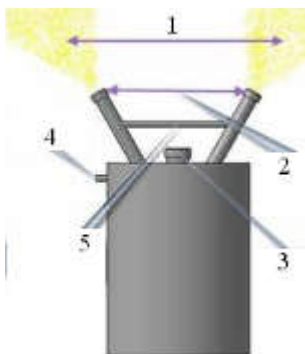


Рисунок Г.2. Струменевий аерозольний генератор САГ-5М: 1 – аерозоль; 2 – форсунки розпилення; 3 – заливна горловина; 4 – подача повітря; 5 – ручка

¹ <http://radugatumana.ru>

Таблиця Г.1.

Технічні характеристики відцентрових аерозольних генераторів

Показник	ЦАГ-1	ЦАГ-2	САГ-5М
Розмір часток, мкм	>2-30	>2-30	1-20
Об'єм приміщення, м ³	до 500	до 4500	-
Продуктивність, л/хв.	1,2	до 2	0,25
Режим роботи (робота/пауза), хв.	до 16 / до 30	до 16 / до 30	безперервно
Габаритні розміри	0,16×0,16×0,8	0,9×0,6×0,7	-
Вага, кг	10	40	3
Параметри мережі живлення	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	Пневматика
Потужність розпилювача, кВт	1,8	1,8	-
Потужність вентилятора, кВт	-	1,8	-

Генератор холодного туману «Циклон - 5» відноситься до генераторів холодного туману струменевого типу (рис. Г.3, табл. Г2). Розпилення розчину відбувається у турбулентному потоці повітря



Рисунок Г.3. Струменевий аерозольний генератор Циклон-5

Таблиця Г.2.

Технічна характеристика аерозольного генератора Циклон-5

Робоча температура, °С	0-40
Вологість, не більше, %	90
Параметри мережі живлення, В/Гц	220/ 50
Споживана потужність, кВт/час	1,1
Вага, кг	3,5
Габаритні розміри, мм	370 x 206x 410
Ємність баку, л	3,8
Продуктивність розпилення, л/год	1-25
Дисперсність, мкм	5-50
Робочий об'єм приміщення, м ³	до 350

Ультрамалооб'ємне обприскування представлено обладнанням компанії ShenZhen Longray Technology Co¹ (рис. Г.4, табл. Г.3). Устаткування даної компанії позиціонується для задач дезінсекції, дезінфекції та дезодорації. Від аналогічного обладнання відрізняється серійністю виробництва та помірною вартістю.



DRAGON



2680



BWC-50

Рисунок Г.4. Аерозольні генератори УМО Longray

Таблиця Г.3.

¹ <http://longray.com.ua>

Технічні характеристики аерозольних генераторів Longray

Показник	Тип		
	DRAGON	2680	BWC-50
Вага (пустий), кг	13	3,1	
Робота з водними розчинами та розчинами на основі олії	+	+	
Розмір часток, мкм	5-20	5-20	
Витрата рідини, л/год	0-24	0-24	
Регулювання подачі	+	+	
Параметри мережі живлення	220В, 50 Гц		
Встановлена потужність, кВт	0,8	0,8	
Ємність бака з розчином, л	10	6	
Габаритні розміри, мм	501×272×305	420×200×300	

Європейський ринок генераторів аерозолю представлений компанією BURE¹, яка випускає портативні генератори для зволоження побутових і офісних приміщень, а також дезінфекції (рис. Г.5, табл. Г.4).



BURE



MOO-GUN



ULV air FOG2



AN-GAE FOG

Рисунок Г.5. Генератори аерозолю компанії BURE

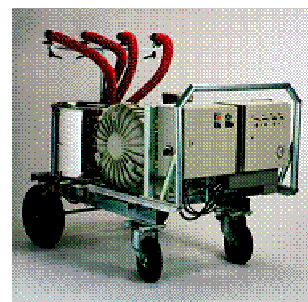
Таблиця Г.4.

¹ <http://smbure-foggingmachine.com>

Технічні характеристики генераторів аерозолі компанії BURE

Модель	Мережа живлення	Струм споживання	Радіус покриття, м	Розмір часток, мкм	Бак, л	Габаритні розміри, м	Вага, кг
BURE	220В, 50 Гц	7 А	5 ~ 10	10 - 50	3	0,16×0,55×0,25	3.0
MOO-GUN	DC12V	6,6 А	3~5	30 - 50	5	0,2×0,54×0,27	3.1
AN·GAE FOG 2.5	220В, 50 Гц	4 А	5 ~ 10	5 - 20	2,5	140×425×240	2
ULV air FOG2	DC12V	40 А	30	10 - 100	400	1,5×0,78×1,17	200

Генератори холодного тумана IGEBA¹ (рис. Г6., табл. Г.5) дозволяють перетворювати робочий розчин у дрібнодисперсний аерозоль, розмір часток якого складає 0,5-50 мкм.



IGEBA U5E

NEBULOROTOR UNIPRO 5

U40HDE

Рисунок Г.6. Генератори аерозолі IGEBA

Таблиця Г.5.

Технічні характеристики генераторів аерозолі IGEBA

Модель апарату	Вага, кг	Об'єм ємності для препарату, л	Габаритні розміри, см	Витрата, л/год	Розмір часток, мкм
NEBUROTOR	3,8	4,0	40×35	15,0	до 30
UNIPRO 5	56,0	26,0	59×57×116	18,0	до 50
U15E	115,0	20,0	88×57×100	27,0	до 50
U40HDE	196,0	75,0	88×57×100	60,0	до 50

¹ <http://igeba.org.ua>

Додаток Д
Високовольтні джерела живлення

Регульовані джерела високої напруги представлені широким вибором за класом напруги та потужністю. За результатами розрахунку пункту 4.3 доцільно обрати джерела потужністю до 30 Вт та класом напруги до 15кВ з можливістю її регулювання ¹ (рис. Д.1., табл. Д.1).



Плазон ИВНР-10/2(+/-)

Sh-0105

Рисунок Д.1. Високовольтні джерела живлення вітчизняного виробництва

Таблиця Д.1. Технічні характеристики деяких джерел високої напруги

Показник	Плазон ИВНР-10/2	Sh-0105
Вихідна напруга , кВ	10	15
Вихідний струм, мА	2	5
Вихідна потужність, Вт	20	30
Напруга живлення, В	220	220
Габаритні розміри, мм	230×145×270	300×220×118
Вага, кг	4,5	5

Для виконання поставлених завдань можливо використання можна використовувати стабілізовані високовольтні джерела живлення, які мають можливість підключення до комп'ютера (рис. Д.2, табл. Д.2, табл. Д.3) ².

¹ <http://plazon.ru/supplies/>, <http://nauel.ru/vi.html>

² <http://mantigora.ru>



а)



б)

Рис. Д. 2. Високовольтні джерела живлення типу HV (а) та HT (б)

Таблиця Д.2. Загальні характеристики джерел живлення

Параметр	Типове значення
Часова стабільність	50 ppm/час
Температурна стабільність	25 ppm/ $^{\circ}\text{C}$
Точність установки напруги	до 1 В
Струм споживання ⁽²⁾	до 500 мА
Температура експлуатації	0...45 $^{\circ}\text{C}$
Габаритні розміри HV / HT	125×80×50 мм / 167×106×56 мм
Живлення HV	від USB комп'ютера, окремий блок живлення
HT	~220 В
Клас захисту	IP54
ККД	до 86%

Таблиця Д.3. Енергетичні характеристики джерел живлення

Модель	Вихідна напруга, кВ	Вихідний струм, мА	Розкид пульсацій
HV-6000P	0...6	0.17	0.02 %
HV-6000N	0...-6	0.17	0.02 %
HT-10000P	0...10	0.3	0.05 %
HT-10000N	0...-10	0.3	0.05 %

Безумовним лідером серед високовольтних блоків живлення виробництва європейських підприємств є компанія FUG¹ (рис. Д.3, табл. Д.4).



Рисунок Д.3. Високовольтне джерело живлення компанії FUG

Таблиця Д.4. Технічні характеристики рекомендованих джерел живлення компанії FUG

Тип	Вихідна напруга, кВ	Вихідний струм, мА	Потужність, Вт	Габаритні розміри, мм			Вага, кг
				Довжина	Висота	Ширина	
HCP 14-6500	6,5	2	14	222	133	350	3
HCP 35-6500	6,5	5	35	222	133	350	4
HCP 14-12500	12,5	1	14	222	133	350	4

¹ <http://www.fug-elektronik.de>

Додаток Е

Генераторів електроаерозолю

Генератор електроаерозолю груповий ГЕГ-2¹ призначений для отримання електроаерозолів водних розчинів лікарських речовин (рис. Е1, табл. Е1). Генератор використовується для лікування та профілактики захворювань шляхом насичення повітря приміщень електроаерозолями. Може бути використаний для дезінфекції приміщень при колективній вакцинації.



Рисунок Е.1. Колективний генератор електроаерозолю ГЕГ-2

Таблиця Е.1. Технічні характеристики генератора електроаерозолю

Продуктивність генератора по рідині (вода), при тиску повітря 150 ± 10 кПа, г/хв, не менше	3
Отримання часток аерозолю от 1,0 до 10 мкм, %, не менше	70
10 до 50 мкм	залишок
Напруга електризації, В	$600 \pm 60 - 180$
Напруга живлення від мережі змінного струму частотою 50 Гц, В	220 ± 22
Споживана потужність, ВА	1000
Вага генератора	80

¹ <http://www.tochmedpribor.ru>

Для поліпшення прилипання препаратів на поверхнях рослин обприскувач SADKO GMD-6014¹, виробництва Словенія, використовує технологію електростатичної підзарядки крапель (рис. Е2., табл. Е2), що дозволяє поліпшити прилипання аерозолю та мінімізувати втрати робочого розчину.



Рисунок Е.2. Мотооприскувач з насадкою для заряджання аерозолю індукційним способом

Таблиця Е2. Технічні характеристики обприскувача GMD-6014

Характеристики	Значення	Двигун	Значення
Місткість робочої ємності	14 л	Тип двигуна	Одноциліндровий 2-тактний
Радіус розпилення	до 8 м	Робочий об'єм	59,0 см ³
Витрата рідини	від 1,2 л/хв	Потужність	2,65 кВт
Вага	11,9 кг	Система запуску	Ручний стартер

¹ <http://sadko.ua/opryskivatel-gmd-6014>

Додаток Ж
Експериментальні дані

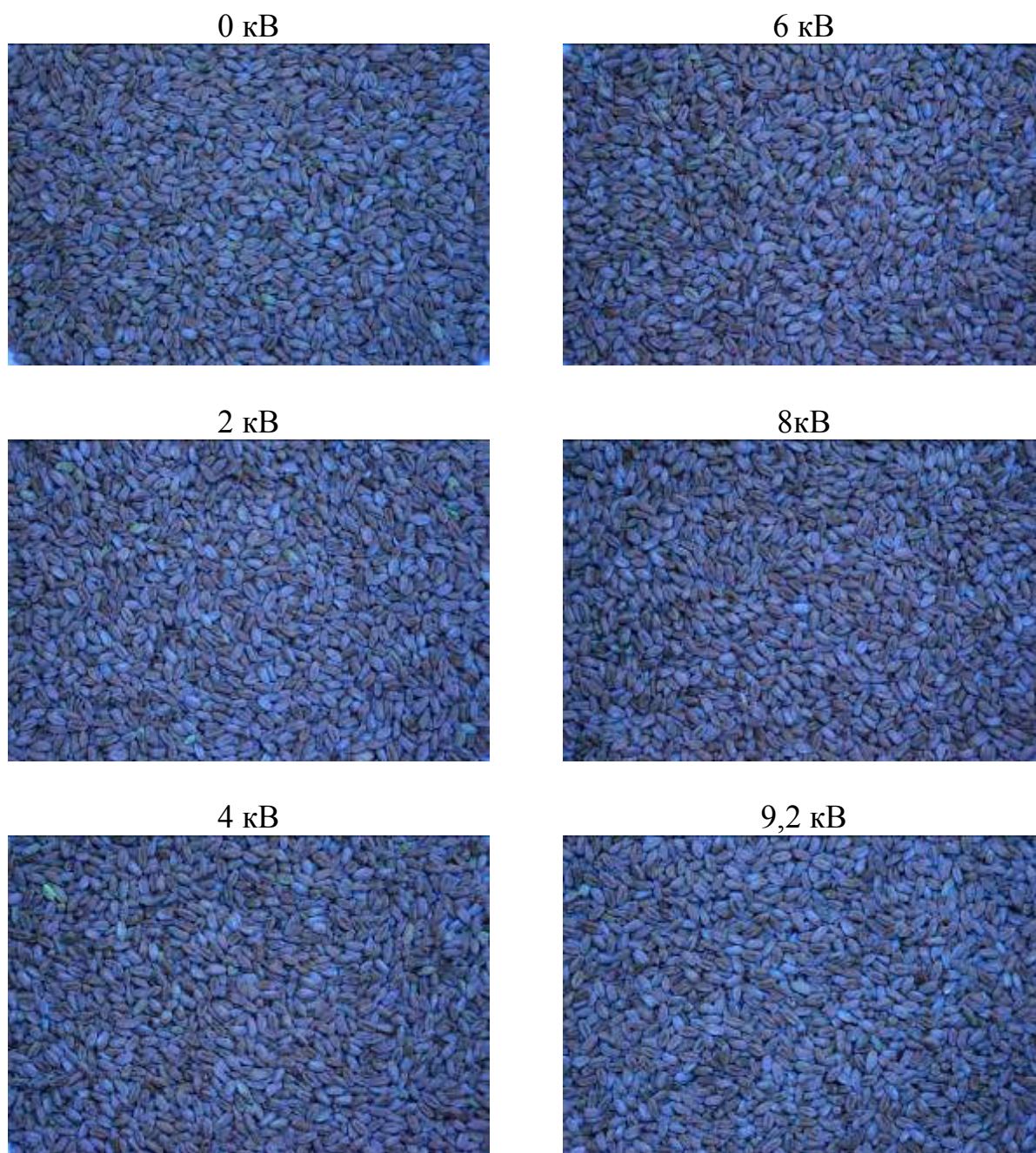


Рисунок Ж1. Зображення зерна обробленого розчином з маркером при різних напрузі електризації аерозолію та зерна

Таблиця Ж.1. Вхідні дані для обґрунтування критерію оцінки*

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
0	3121	2637	2124	2647	-0,7	0	52	35	26	10	-1,0	0	525	576	572	119	-0,6
1	1594	1366	1080	1480	-0,5	1	61	43	32	16	-1,0	1	599	608	562	207	-0,8
2	1600	1378	1105	1548	-0,4	2	84	66	44	26	-1,0	2	820	811	780	294	-0,7
3	1629	1375	1142	1569	-0,3	3	117	91	72	48	-1,0	3	965	966	916	502	-0,8
4	1717	1495	1225	1713	-0,3	4	167	119	104	90	-1,0	4	1118	1141	1031	664	-0,8
5	1866	1601	1341	1930	-0,1	5	228	179	151	134	-1,0	5	1245	1209	1176	838	-0,8
6	2000	1703	1441	1970	-0,3	6	289	221	182	198	-0,9	6	1392	1383	1324	966	-0,8
7	2134	1872	1566	2206	-0,2	7	343	284	231	256	-0,9	7	1523	1487	1374	1167	-0,9
8	2278	1995	1647	2387	-0,1	8	409	344	292	335	-0,8	8	1649	1599	1530	1238	-0,9
9	2378	2127	1793	2525	-0,1	9	487	402	364	402	-0,8	9	1752	1702	1629	1402	-0,9
10	2561	2262	1913	2739	0,0	10	531	462	408	442	-0,9	10	1840	1769	1645	1467	-1,0
11	2748	2392	2051	2809	-0,2	11	625	548	465	518	-0,8	11	1973	1906	1763	1544	-0,9
12	2865	2582	2217	2909	-0,2	12	679	573	530	557	-0,9	12	2049	1957	1878	1682	-0,9
13	3038	2728	2372	3093	-0,2	13	725	620	582	610	-0,8	13	2147	2074	1935	1779	-1,0
14	3108	2870	2447	3283	-0,1	14	784	682	636	692	-0,7	14	2246	2137	2062	1871	-1,0
15	3299	2951	2592	3413	-0,1	15	840	731	686	722	-0,8	15	2350	2272	2127	1927	-1,0
16	3420	3082	2756	3525	-0,1	16	884	805	726	765	-0,9	16	2384	2337	2184	1974	-0,9
17	3556	3269	2922	3696	-0,1	17	936	849	781	820	-0,9	17	2458	2391	2280	2070	-0,9
18	3662	3426	3035	3817	-0,1	18	991	867	809	871	-0,8	18	2495	2462	2306	2107	-0,9
19	3812	3487	3077	3844	-0,2	19	1032	947	848	880	-0,9	19	2589	2545	2395	2186	-0,9
20	3996	3646	3259	3984	-0,3	20	1067	964	888	947	-0,8	20	2653	2595	2423	2230	-1,0

r – коефіцієнт лінійної кореляції

* Наведені середньоарифметичні значення за не менш ніж 7 випадковими зображеннями дослідів, які не мають статистично значущих помилок

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
21	4091	3767	3361	4015	-0,4	21	1105	1012	955	934	-1,0	21	2731	2662	2510	2225	-0,9
22	4131	3844	3475	4258	-0,1	22	1161	1041	964	1012	-0,9	22	2713	2669	2482	2312	-1,0
23	4268	3950	3576	4251	-0,3	23	1197	1086	961	993	-0,9	23	2840	2712	2523	2400	-1,0
24	4414	4077	3752	4331	-0,4	24	1255	1125	1020	1052	-0,9	24	2790	2737	2554	2357	-1,0
25	4595	4255	3852	4560	-0,3	25	1261	1146	1081	1113	-0,9	25	2877	2773	2642	2420	-1,0
26	4674	4295	3948	4543	-0,4	26	1301	1208	1131	1041	-1,0	26	2931	2859	2663	2458	-1,0
27	4848	4396	4124	4724	-0,4	27	1341	1221	1089	1111	-1,0	27	2984	2809	2667	2506	-1,0
28	4883	4536	4221	4850	-0,3	28	1358	1248	1200	1094	-1,0	28	3032	2885	2760	2539	-1,0
29	5086	4691	4350	4940	-0,4	29	1418	1286	1199	1169	-1,0	29	3095	2922	2795	2610	-1,0
30	5211	4804	4452	4991	-0,5	30	1401	1355	1231	1174	-1,0	30	3160	2974	2833	2622	-1,0
31	5364	4975	4579	5180	-0,5	31	1443	1361	1260	1230	-1,0	31	3213	3054	2860	2691	-1,0
32	5441	4985	4716	5313	-0,4	32	1483	1427	1261	1212	-1,0	32	3254	3087	2969	2776	-1,0
33	5519	5208	4768	5388	-0,4	33	1503	1439	1285	1333	-0,9	33	3332	3131	2976	2800	-1,0
34	5716	5248	4911	5507	-0,5	34	1533	1470	1339	1273	-1,0	34	3318	3191	3010	2867	-1,0
35	5920	5453	5010	5665	-0,5	35	1552	1439	1358	1332	-1,0	35	3459	3204	3081	2917	-1,0
36	5978	5570	5208	5730	-0,5	36	1633	1497	1389	1382	-1,0	36	3496	3283	3136	3006	-1,0
37	6231	5806	5335	5913	-0,6	37	1660	1506	1410	1339	-1,0	37	3541	3379	3212	3049	-1,0
38	6344	5932	5546	6071	-0,6	38	1659	1579	1430	1362	-1,0	38	3641	3413	3299	3065	-1,0
39	6608	6039	5730	6200	-0,6	39	1688	1580	1452	1387	-1,0	39	3659	3485	3350	3203	-1,0
40	6671	6164	5810	6320	-0,6	40	1748	1652	1460	1458	-1,0	40	3765	3555	3404	3306	-1,0
41	6948	6391	5953	6488	-0,7	41	1729	1629	1477	1490	-1,0	41	3856	3633	3494	3298	-1,0
42	7078	6504	6138	6682	-0,6	42	1800	1633	1509	1507	-1,0	42	3924	3727	3492	3375	-1,0
43	7192	6796	6212	6750	-0,7	43	1812	1674	1560	1528	-1,0	43	4024	3763	3580	3494	-1,0
44	7395	6959	6488	6964	-0,7	44	1862	1662	1598	1542	-1,0	44	4127	3865	3694	3607	-1,0
45	7649	7089	6559	7224	-0,6	45	1849	1755	1619	1617	-1,0	45	4185	4012	3794	3616	-1,0

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
46	7746	7330	6811	7393	-0,6	46	1943	1766	1662	1639	-1,0	46	4262	4012	3790	3790	-1,0
47	7991	7447	7080	7469	-0,7	47	1977	1847	1656	1699	-0,9	47	4392	4161	3941	3768	-1,0
48	8297	7767	7264	7789	-0,7	48	2005	1828	1706	1688	-1,0	48	4502	4292	4003	3969	-1,0
49	8446	7852	7354	8068	-0,6	49	2016	1869	1729	1732	-1,0	49	4608	4418	4151	4108	-1,0
50	8667	8111	7617	8262	-0,6	50	2082	1882	1780	1680	-1,0	50	4767	4585	4256	4225	-1,0
51	8909	8335	7786	8548	-0,5	51	2086	1907	1826	1842	-0,9	51	4910	4551	4357	4364	-0,9
52	9219	8633	7993	8572	-0,7	52	2170	1939	1844	1820	-1,0	52	4927	4745	4436	4524	-0,9
53	9430	8813	8182	8910	-0,6	53	2185	1962	1873	1889	-0,9	53	5127	4848	4648	4661	-1,0
54	9579	9138	8461	9122	-0,7	54	2247	1997	1902	1877	-1,0	54	5262	4939	4646	4658	-1,0
55	9870	9374	8694	9423	-0,6	55	2249	2058	1930	1881	-1,0	55	5357	5111	4816	4700	-1,0
56	10213	9584	8885	9631	-0,7	56	2296	2105	1977	2041	-0,9	56	5508	5239	4941	4956	-1,0
57	10347	9885	9180	9865	-0,7	57	2338	2172	1996	2038	-0,9	57	5666	5333	5061	5002	-1,0
58	10682	9997	9399	10123	-0,6	58	2371	2187	1998	2095	-0,9	58	5728	5413	5127	5202	-0,9
59	10910	10298	9643	10476	-0,6	59	2446	2222	2070	2091	-0,9	59	5882	5549	5285	5205	-1,0
60	11131	10513	9901	10573	-0,7	60	2491	2256	2082	2215	-0,8	60	6017	5711	5398	5287	-1,0
61	11362	10846	10163	10729	-0,8	61	2535	2306	2154	2266	-0,8	61	6151	5888	5566	5643	-0,9
62	11700	11044	10405	11017	-0,7	62	2626	2370	2242	2267	-0,9	62	6351	6093	5700	5640	-1,0
63	11850	11266	10590	11304	-0,7	63	2644	2436	2252	2344	-0,9	63	6496	6234	5908	5877	-1,0
64	12103	11523	10858	11549	-0,7	64	2734	2499	2264	2343	-0,9	64	6676	6396	6050	5999	-1,0
65	12319	11795	11191	11774	-0,7	65	2765	2532	2347	2369	-1,0	65	6940	6515	6201	6327	-0,9
66	12647	12010	11486	12125	-0,7	66	2841	2595	2377	2451	-0,9	66	6975	6758	6337	6349	-1,0
67	12848	12248	11688	12199	-0,8	67	2871	2613	2428	2517	-0,9	67	7274	6948	6688	6542	-1,0
68	12920	12581	11896	12605	-0,6	68	2933	2701	2456	2626	-0,8	68	7490	7095	6674	6717	-1,0
69	13165	12934	12218	12960	-0,5	69	2982	2789	2568	2596	-1,0	69	7665	7301	6886	6929	-1,0
70	13387	13034	12489	13122	-0,6	70	3060	2812	2623	2735	-0,9	70	7937	7596	7095	7126	-1,0

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
71	13479	13328	12806	13282	-0,6	71	3170	2829	2657	2764	-0,9	71	8089	7742	7216	7235	-1,0
72	13692	13454	12928	13503	-0,5	72	3214	2922	2719	2832	-0,9	72	8418	7865	7426	7435	-1,0
73	13821	13622	13220	13884	-0,2	73	3254	3003	2733	2950	-0,8	73	8615	8144	7760	7724	-1,0
74	13977	13832	13437	13903	-0,4	74	3300	3091	2864	3027	-0,8	74	8852	8381	7900	7809	-1,0
75	13938	14021	13759	13979	-0,2	75	3348	3210	2862	3075	-0,8	75	8969	8691	8110	7943	-1,0
76	14055	14094	13871	14347	0,3	76	3485	3211	2975	3109	-0,9	76	9261	8805	8376	8212	-1,0
77	14088	14319	14067	14182	0,0	77	3564	3305	2999	3254	-0,8	77	9526	9073	8574	8467	-1,0
78	14330	14467	14266	14344	-0,3	78	3586	3347	3107	3270	-0,8	78	9797	9259	8836	8661	-1,0
79	14247	14542	14349	14316	0,1	79	3685	3453	3132	3350	-0,8	79	10093	9562	9100	9014	-1,0
80	14234	14573	14477	14568	0,8	80	3788	3589	3296	3359	-0,9	80	10330	9873	9310	9217	-1,0
81	14211	14701	14571	14530	0,6	81	3832	3660	3223	3485	-0,8	81	10644	10083	9504	9313	-1,0
82	14287	14696	14779	14621	0,7	82	3984	3699	3356	3545	-0,9	82	10850	10300	9709	9668	-1,0
83	14315	14681	14885	14586	0,6	83	4066	3804	3430	3717	-0,8	83	11059	10561	10079	9837	-1,0
84	14217	14772	14981	14709	0,7	84	4126	3904	3573	3766	-0,8	84	11409	10764	10364	10329	-1,0
85	14192	14850	14977	14635	0,6	85	4273	3965	3651	3901	-0,8	85	11534	10959	10505	10430	-1,0
86	14107	14668	15035	14640	0,7	86	4295	4139	3690	3947	-0,8	86	11708	11134	10745	10699	-1,0
87	13963	14734	14949	14520	0,7	87	4444	4259	3819	4069	-0,8	87	11892	11397	10996	10939	-1,0
88	13918	14501	14996	14510	0,7	88	4482	4312	3802	4169	-0,7	88	12159	11571	11251	11230	-1,0
89	13662	14365	14882	14138	0,6	89	4606	4444	3903	4226	-0,8	89	12380	11837	11527	11539	-1,0
90	13377	14117	14856	14023	0,7	90	4696	4500	4059	4312	-0,8	90	12517	11974	11724	11789	-0,9
91	13192	13895	14799	13849	0,6	91	4786	4591	4116	4374	-0,8	91	12755	12175	12010	11856	-1,0
92	12952	13771	14568	13353	0,5	92	4877	4701	4217	4459	-0,8	92	12877	12318	12248	12041	-0,9
93	12601	13528	14244	13293	0,6	93	5019	4865	4311	4618	-0,8	93	13004	12653	12434	12333	-1,0
94	12396	13105	13960	12919	0,6	94	5108	4908	4396	4663	-0,8	94	13262	12778	12769	12595	-0,9
95	12018	12863	13773	12589	0,6	95	5206	4973	4483	4717	-0,9	95	13311	13130	12889	12806	-1,0

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				<i>r</i>	Відті- нок	Зелений				<i>r</i>	Відті- нок	Синій				<i>r</i>
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
96	11646	12529	13412	12430	0,7	96	5327	5127	4654	4892	-0,8	96	13418	13201	13168	13181	-0,9
97	11300	12240	13197	11981	0,6	97	5390	5137	4698	5001	-0,8	97	13507	13406	13322	13414	-0,7
98	11092	11989	12857	11772	0,6	98	5620	5285	4788	5092	-0,8	98	13633	13573	13586	13735	0,5
99	10794	11642	12575	11410	0,6	99	5652	5457	4916	5199	-0,8	99	13771	13743	13746	13803	0,4
100	10345	11257	12299	10966	0,6	100	5736	5435	5004	5249	-0,9	100	13699	13759	13743	13767	0,8
101	9973	10885	11945	10659	0,6	101	5898	5708	5090	5484	-0,8	101	13575	13799	13854	13992	1,0
102	9685	10581	11589	10336	0,6	102	5979	5751	5173	5559	-0,8	102	13647	13917	14106	14185	1,0
103	9296	10123	11139	9843	0,5	103	6142	5820	5302	5642	-0,8	103	13533	13809	14004	14166	1,0
104	8883	9645	10752	9436	0,6	104	6114	6006	5360	5696	-0,8	104	13310	13897	14206	14276	1,0
105	8528	9322	10499	8927	0,5	105	6321	6040	5443	5819	-0,8	105	13333	13797	14130	14192	1,0
106	8045	8918	9964	8589	0,5	106	6404	6117	5610	5887	-0,8	106	13246	13568	14091	14225	1,0
107	7629	8484	9357	7984	0,4	107	6562	6284	5667	6043	-0,8	107	12903	13615	13919	14332	1,0
108	7204	8035	9036	7542	0,4	108	6663	6402	5676	6212	-0,7	108	12805	13504	13805	14041	1,0
109	6764	7549	8424	7113	0,4	109	6694	6504	5879	6238	-0,8	109	12557	13351	13917	14055	1,0
110	6242	7155	8031	6558	0,4	110	6845	6585	5956	6397	-0,8	110	12206	13146	13659	14015	1,0
111	5928	6560	7490	6133	0,4	111	6899	6588	6120	6456	-0,8	111	12082	12951	13583	13775	1,0
112	5419	6061	7021	5611	0,4	112	7114	6750	6220	6687	-0,7	112	11827	12819	13316	13693	1,0
113	5051	5618	6598	5170	0,4	113	7082	6864	6266	6744	-0,7	113	11580	12531	13180	13541	1,0
114	4655	5149	6132	4595	0,3	114	7316	7045	6418	6841	-0,8	114	11240	12349	12930	13382	1,0
115	4272	4756	5601	4330	0,3	115	7433	6994	6568	6897	-0,8	115	10917	12007	12629	13321	1,0
116	3876	4298	5157	3955	0,3	116	7492	7139	6655	7081	-0,7	116	10668	11741	12410	12866	1,0
117	3511	3845	4725	3532	0,3	117	7641	7303	6777	7251	-0,7	117	10373	11315	12142	12633	1,0
118	3197	3496	4335	3169	0,3	118	7764	7458	6933	7309	-0,8	118	10158	11078	11659	12401	1,0
119	2791	3140	3872	2765	0,3	119	7768	7516	6958	7459	-0,6	119	9683	10669	11356	11904	1,0
120	2543	2831	3424	2554	0,3	120	7881	7540	7034	7480	-0,7	120	9383	10248	11023	11780	1,0

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
121	2223	2480	3144	2198	0,3	121	7988	7607	7184	7566	-0,7	121	9036	9923	10675	11151	1,0
122	1985	2211	2772	1927	0,2	122	8058	7776	7238	7651	-0,7	122	8597	9513	10271	10772	1,0
123	1763	1943	2466	1754	0,3	123	8048	7837	7289	7906	-0,5	123	8303	9201	9934	10486	1,0
124	1534	1729	2185	1525	0,3	124	8117	7872	7440	7997	-0,4	124	7796	8780	9488	9969	1,0
125	1309	1531	1831	1376	0,4	125	8219	7883	7447	8043	-0,5	125	7559	8459	9205	9463	1,0
126	1121	1274	1652	1188	0,4	126	8304	7949	7599	8078	-0,5	126	7217	8089	8718	9077	1,0
127	995	1130	1425	987	0,3	127	8376	7965	7681	8164	-0,5	127	6849	7657	8284	8612	1,0
128	839	948	1226	859	0,3	128	8451	8034	7702	8268	-0,5	128	6540	7175	7867	8317	1,0
129	694	807	1021	700	0,3	129	8407	8060	7842	8297	-0,4	129	6185	6991	7477	7725	1,0
130	569	684	906	604	0,4	130	8535	8184	7698	8400	-0,4	130	5820	6540	7027	7323	1,0
131	486	595	742	503	0,3	131	8598	8201	7913	8446	-0,4	131	5567	6238	6672	6867	1,0
132	404	499	642	428	0,4	132	8656	8270	8002	8634	-0,2	132	5266	5827	6317	6508	1,0
133	332	424	523	349	0,3	133	8683	8322	8046	8628	-0,3	133	4876	5575	5963	6019	1,0
134	275	350	444	292	0,4	134	8699	8467	8153	8637	-0,4	134	4616	5146	5535	5653	1,0
135	224	282	349	233	0,3	135	8788	8539	8243	8817	-0,2	135	4298	4840	5236	5304	1,0
136	189	237	283	194	0,3	136	8761	8604	8231	8976	0,0	136	4083	4537	4774	4886	1,0
137	147	171	244	141	0,3	137	8810	8701	8310	8868	-0,2	137	3863	4191	4499	4610	1,0
138	120	153	188	129	0,4	138	8883	8571	8387	8975	-0,1	138	3493	4003	4190	4182	0,9
139	99	116	151	86	0,1	139	8786	8603	8447	8903	0,0	139	3361	3692	3887	3922	1,0
140	84	89	113	74	0,1	140	8739	8555	8472	8959	0,2	140	3077	3449	3606	3587	0,9
141	58	80	100	59	0,3	141	8747	8724	8462	8969	0,1	141	2866	3089	3361	3336	1,0
142	46	65	66	51	0,3	142	8675	8713	8514	8942	0,3	142	2683	2873	3060	3063	1,0
143	35	51	53	32	0,0	143	8668	8676	8525	8973	0,4	143	2486	2684	2840	2928	1,0
144	26	39	45	32	0,5	144	8720	8719	8563	8923	0,3	144	2321	2431	2611	2694	1,0
145	24	36	36	22	0,0	145	8663	8666	8559	8885	0,4	145	2151	2187	2338	2400	1,0

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
146	14	22	40	19	0,5	146	8627	8737	8604	8972	0,6	146	1992	2054	2181	2164	1,0
147	11	16	19	16	0,8	147	8541	8839	8745	9069	0,8	147	1807	1864	1980	1969	1,0
148	13	20	16	15	0,1	148	8560	8706	8830	9016	1,0	148	1667	1686	1787	1840	1,0
149	8	16	12	12	0,4	149	8532	8795	8785	9015	0,9	149	1579	1545	1619	1688	0,8
150	9	16	10	11	0,0	150	8591	8776	8878	8893	1,0	150	1467	1396	1480	1536	0,6
151	6	8	7	8	0,7	151	8517	8687	8849	9033	1,0	151	1336	1226	1317	1434	0,5
152	7	15	5	2	-0,6	152	8532	8644	8925	9002	1,0	152	1242	1157	1220	1285	0,4
153	2	9	4	5	0,2	153	8503	8638	8953	8940	1,0	153	1139	994	1127	1103	0,0
154	4	5	1	5	-0,1	154	8491	8628	8909	8888	1,0	154	1103	934	1016	1075	-0,1
155	2	4	2	5	0,5	155	8347	8521	8907	8763	0,9	155	1010	837	997	971	0,1
156	2	5	1	2	-0,4	156	8279	8448	8848	8566	0,8	156	938	769	861	917	0,0
157	2	2	1	4	0,6	157	8179	8402	8818	8725	0,9	157	839	667	771	791	-0,1
158	1	3	1	3	0,5	158	8037	8230	8751	8588	0,9	158	772	612	683	765	0,0
159	3	3	1	3	-0,1	159	7984	8310	8748	8476	0,8	159	743	545	664	684	-0,1
160	1	1	1	3	0,4	160	7879	8167	8663	8414	0,9	160	672	494	596	617	-0,2
161	2	2	1	1	-0,7	161	7772	7959	8544	8339	0,9	161	627	450	532	575	-0,2
162	1	1	0	2	0,0	162	7757	7814	8422	8282	0,9	162	573	420	486	501	-0,4
163	1	1	0	2	0,4	163	7647	7882	8370	8258	0,9	163	515	341	473	472	0,0
164	1	1	0	4	0,0	164	7569	7793	8465	8121	0,8	164	482	321	434	404	-0,3
165	1	0	0	1	0,3	165	7521	7743	8362	8316	1,0	165	439	277	398	363	-0,2
166	1	0	0	0	-0,7	166	7380	7723	8343	8166	0,9	166	408	262	368	353	-0,2
167	1	0	0	1	0,0	167	7349	7724	8345	8166	0,9	167	360	223	339	279	-0,3
168	1	0	0	0	0,0	168	7282	7673	8224	8245	1,0	168	328	200	312	267	-0,2
169	1	0	0	1	0,0	169	7115	7682	8177	8065	0,9	169	306	186	290	242	-0,2
170	0	0	1	0	0,0	170	7117	7516	8183	8118	1,0	170	246	161	257	205	-0,1

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
171	0	0	0	0	0,0	171	7068	7505	8147	8113	1,0	171	230	121	214	174	-0,2
172	0	0	0	2	0,0	172	6976	7522	8126	7882	0,9	172	202	103	204	129	-0,3
173	0	0	0	1	0,0	173	6826	7453	7964	7721	0,9	173	186	92	176	145	-0,1
174	0	1	0	1	0,0	174	6806	7383	7920	7677	0,9	174	171	101	161	121	-0,3
175	1	0	0	1	0,0	175	6673	7176	7715	7695	1,0	175	145	84	123	103	-0,4
176	0	0	0	0	0,0	176	6531	7139	7749	7505	0,9	176	123	62	105	108	0,0
177	0	0	0	2	0,0	177	6391	7023	7562	7387	0,9	177	107	53	80	82	-0,3
178	0	0	0	0	0,0	178	6391	6884	7459	7205	0,9	178	99	47	66	65	-0,5
179	0	0	0	0	0,0	179	6206	6776	7293	7145	0,9	179	87	37	56	48	-0,6
180	0	0	0	0	0,0	180	5984	6679	7258	7104	0,9	180	73	34	42	46	-0,6
181	0	0	0	0	0,0	181	5917	6473	7127	6915	0,9	181	68	29	32	57	-0,3
182	0	0	0	1	0,0	182	5829	6336	6961	6666	0,9	182	65	29	32	39	-0,6
183	0	0	0	0	0,0	183	5649	6154	6823	6589	0,9	183	57	27	22	35	-0,7
184	0	0	0	1	0,0	184	5557	6093	6722	6274	0,8	184	48	20	20	26	-0,7
185	0	0	0	0	0,0	185	5466	5939	6518	6219	0,9	185	47	17	12	26	-0,6
186	0	0	0	0	0,0	186	5271	5760	6483	6051	0,8	186	44	15	14	27	-0,6
187	0	0	0	1	0,0	187	5131	5638	6278	5900	0,9	187	40	13	11	23	-0,6
188	0	0	0	0	0,0	188	4984	5475	6065	5750	0,9	188	32	12	12	21	-0,5
189	0	0	0	0	0,0	189	4777	5391	6006	5577	0,8	189	30	15	7	16	-0,8
190	0	0	0	0	0,0	190	4621	5089	5782	5440	0,9	190	33	12	9	16	-0,7
191	0	0	0	1	0,0	191	4562	5017	5596	5297	0,9	191	23	11	8	20	-0,3
192	0	0	0	0	0,0	192	4362	4836	5501	4931	0,7	192	27	9	9	15	-0,6
193	0	0	0	0	0,0	193	4158	4683	5356	4821	0,8	193	23	8	7	12	-0,7
194	0	0	0	0	0,0	194	4031	4474	5039	4450	0,7	194	25	8	4	9	-0,8
195	0	0	0	0	0,0	195	3879	4318	4920	4341	0,7	195	21	8	4	12	-0,6

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				r	Відті- нок	Зелений				r	Відті- нок	Синій				r
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
196	0	0	0	1	0,0	196	3711	4210	4721	4184	0,7	196	20	7	5	10	-0,7
197	0	0	0	0	0,0	197	3591	3969	4609	3950	0,6	197	19	4	3	10	-0,6
198	0	0	0	0	0,0	198	3391	3817	4368	3749	0,6	198	19	4	4	5	-0,8
199	0	0	0	0	0,0	199	3247	3668	4127	3470	0,5	199	19	5	3	8	-0,7
200	0	0	0	0	0,0	200	3112	3589	4058	3436	0,6	200	21	6	3	5	-0,9
201	0	0	0	0	0,0	201	2976	3390	3850	3216	0,5	201	19	7	3	9	-0,7
202	0	0	0	0	0,0	202	2793	3251	3700	2994	0,4	202	13	6	4	5	-0,9
203	0	0	0	0	0,0	203	2674	3070	3494	2824	0,4	203	16	4	1	5	-0,8
204	0	0	0	0	0,0	204	2511	2897	3327	2673	0,4	204	17	3	1	5	-0,8
205	0	0	0	0	0,0	205	2403	2770	3124	2593	0,5	205	15	4	3	4	-0,8
206	0	0	0	0	0,0	206	2278	2619	3037	2436	0,5	206	14	4	3	8	-0,5
207	0	0	0	0	0,0	207	2136	2500	2825	2311	0,5	207	13	4	2	5	-0,8
208	0	0	0	0	0,0	208	2034	2369	2654	2087	0,3	208	12	2	3	7	-0,5
209	0	0	0	0	0,0	209	1926	2252	2500	2028	0,4	209	14	1	2	3	-0,7
210	0	0	0	0	0,0	210	1853	2101	2400	1883	0,3	210	12	1	1	3	-0,7
211	0	0	0	0	0,0	211	1699	2022	2246	1764	0,3	211	15	1	3	5	-0,6
212	0	0	0	0	0,0	212	1640	1907	2055	1624	0,2	212	10	1	2	10	-0,1
213	0	0	0	0	0,0	213	1591	1816	1992	1500	0,1	213	11	1	1	4	-0,7
214	0	0	0	0	0,0	214	1444	1715	1808	1441	0,2	214	10	1	1	3	-0,7
215	0	0	0	0	0,0	215	1391	1620	1726	1385	0,2	215	10	1	1	3	-0,7
216	0	0	0	0	0,0	216	1351	1527	1650	1275	0,0	216	10	0	2	6	-0,4
217	0	0	0	0	0,0	217	1273	1477	1558	1218	0,0	217	8	1	2	2	-0,7
218	0	0	0	0	0,0	218	1194	1405	1474	1107	0,0	218	8	1	2	4	-0,5
219	0	0	0	0	0,0	219	1142	1337	1392	1102	0,1	219	6	1	1	3	-0,6
220	0	0	0	0	0,0	220	1059	1253	1310	998	0,0	220	9	1	2	4	-0,6

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				<i>r</i>	Відті- нок	Зелений				<i>r</i>	Відті- нок	Синій				<i>r</i>
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
221	0	0	0	0	0,0	221	1048	1193	1255	946	-0,1	221	7	1	1	3	-0,6
222	0	0	0	0	0,0	222	984	1121	1205	901	0,0	222	8	1	1	2	-0,7
223	0	0	0	0	0,0	223	909	1007	1156	844	0,1	223	9	0	1	4	-0,6
224	0	0	0	0	0,0	224	919	988	1079	805	-0,2	224	7	0	1	2	-0,7
225	0	0	0	0	0,0	225	890	936	1040	771	-0,2	225	7	0	1	3	-0,5
226	0	0	0	0	0,0	226	817	875	974	733	-0,1	226	6	0	1	4	0,0
227	0	0	0	0	0,0	227	745	823	980	709	0,2	227	4	0	1	0	0,0
228	0	0	0	0	0,0	228	726	764	893	699	0,2	228	6	0	1	0	0,0
229	0	0	0	0	0,0	229	691	742	879	665	0,2	229	5	0	1	2	-0,6
230	0	0	0	0	0,0	230	642	695	834	617	0,2	230	6	1	1	3	-0,5
231	0	0	0	0	0,0	231	598	651	830	597	0,3	231	6	0	0	1	-0,7
232	0	0	0	0	0,0	232	577	608	794	587	0,4	232	5	0	0	0	0,0
233	0	0	0	0	0,0	233	570	552	755	540	0,2	233	4	0	0	2	0,0
234	0	0	0	0	0,0	234	554	527	746	529	0,3	234	4	1	1	0	0,0
235	0	0	0	0	0,0	235	497	459	715	463	0,3	235	4	0	2	1	-0,7
236	0	0	0	0	0,0	236	505	467	687	489	0,3	236	5	0	0	0	0,0
237	0	0	0	0	0,0	237	473	392	618	447	0,3	237	4	0	0	0	0,0
238	0	0	0	0	0,0	238	441	370	593	421	0,3	238	6	0	1	1	-0,7
239	0	0	0	0	0,0	239	379	331	587	394	0,4	239	6	0	1	2	-0,6
240	0	0	0	0	0,0	240	369	305	515	349	0,3	240	5	0	1	1	0,0
241	0	0	0	0	0,0	241	312	277	501	304	0,3	241	3	0	1	0	0,0
242	0	0	0	0	0,0	242	290	255	465	287	0,4	242	3	0	1	2	-0,5
243	0	0	0	0	0,0	243	269	237	432	250	0,3	243	6	0	0	1	0,0
244	0	0	0	0	0,0	244	255	204	390	261	0,4	244	5	0	0	0	0,0
245	0	0	0	0	0,0	245	208	189	365	217	0,4	245	3	0	0	1	0,0

Продовження таблиці Ж.1

Відті- нок	Червоний				<i>r</i>	Відті- нок	Зелений				<i>r</i>	Відті- нок	Синій				<i>r</i>
	4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ			4 кВ	6 кВ	8 кВ	9,2 кВ	
246	0	0	0	0	0,0	246	200	180	352	193	0,3	246	4	0	0	1	0,0
247	0	0	0	0	0,0	247	170	157	322	185	0,4	247	5	0	0	0	0,0
248	0	0	0	0	0,0	248	156	142	303	179	0,5	248	5	0	1	0	0,0
249	0	0	0	0	0,0	249	150	121	286	157	0,4	249	4	0	0	1	0,0
250	0	0	0	0	0,0	250	131	99	276	139	0,4	250	6	0	0	0	0,0
251	0	0	0	0	0,0	251	119	99	272	118	0,4	251	5	0	1	0	-0,8
252	0	0	0	0	0,0	252	102	90	259	102	0,4	252	5	0	0	0	0,0
253	0	0	0	0	0,0	253	111	133	298	107	0,3	253	9	0	0	0	0,0
254	0	0	0	0	0,0	254	186	366	587	226	0,3	254	6	0	0	1	-0,8
255	0	0	0	0	0,0	255	152	312	427	211	0,4	255	17	0	1	1	0,0

Додаток 3

Результати лабораторних випробувань

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Якимівського сортодослідницької станції

Ломейко С. П.

« 19 » березня 2016 г.

ПРОТОКОЛ
дослідження посівних якостей насіння

1. Об'єкт дослідження: пшениця, сорт «Подільська», надане представниками Таврійського державного агротехнологічного університету.

2. Методика досліджень: стандартна методика визначення посівних якостей, яка відповідає Міжнародним правилам дослідженням насіння, а також стандартам ОСТ 46 90 – 80 – ОСТ 46 107 – 80.

3. Результати визначення посівних якостей насіння

Насіннєвий матеріал для визначення посівних якостей насіння		Показники посівних якостей насіння (ПЯН)	
Культура, сорт, № партії	Відмітка про обробку (представлена постачальником після визначення)	Лабораторна схожість, %	Енергія проростання, %
Зерно, Подільська, №1	Оброблена	96	89
	Контрольна	95	88
Зерно, Подільська, №2	Оброблена	95	88
	Контрольна	95	88
Зерно, Подільська, №3	Оброблена	96	89
	Контрольна	96	88
Зерно, Подільська, №4	Оброблена	95	88
	Контрольна	96	88
Зерно, Подільська, №5	Оброблена	96	89
	Контрольна	95	89
Зерно, Подільська, №6	Оброблена	95	88
	Контрольна	95	89
Зерно, Подільська, №7	Оброблена	96	89
	Контрольна	96	89
Зерно, Подільська, №8	Оброблена	96	88
	Контрольна	95	88

Дослідження проводив



С. П. Ломейко