

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Запольський Артем Анатолійович

УДК 631.331

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ВИСІВНОГО АПАРАТУ СЕЛЕКЦІЙНОЇ СІВАЛКИ ДЛЯ
ТОЧНОГО ВИСІВУ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Запольський А.А.

Керівник роботи
кандидат технічних наук, доцент
С. В. Міненко

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Запольський Артем Анатолійович. Дослідження та обґрунтування параметрів висівного апарату селекційної сівалки для точного висіву дрібнонасіньових культур. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі проаналізовано актуальні проблеми селекції дрібнонасіньових культур та визначено напрями для подальших досліджень. Встановлено, що селекційні схеми повинні враховувати біологічні характеристики культур для оптимізації процесу відбору та розмноження. Оцінено агротехнологічні вимоги до сівби, зокрема точний розподіл насіння для покращення умов росту рослин, та досліджено фізико-механічні властивості насіння для підвищення точності посіву. Проаналізовано конструкції висівних апаратів, що виявило їх недоліки та потенціал для вдосконалення.

Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему висівного апарату для автоматизації процесу та підвищення точності висіву. Моделювання пакування насіння в ємності висівного апарату продемонструвало залежність рівномірності розподілу від геометричних параметрів. Моделювання роботи апарату дозволило оцінити вплив параметрів на точність дозування.

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність і точність вдосконаленого апарату порівняно з базовим. Проведені досліди показали, що апарат забезпечує більш рівномірний розподіл насіння, що сприяє підвищенню врожайності. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення висівних апаратів і оптимізації технологічних процесів.

Ключові слова: дослідження, висівний апарат, селекційна сівалка, насіння, ґрунт, експеримент, моделювання.

ANNOTATION

Zapolskyi Artem Anatoliyovych. Research and substantiation of the parameters of the seeding device of the selection seeder for precise sowing of small-seeded crops. - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 208 Agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The master's work analyzed the current problems of breeding small-seeded crops and identified directions for further research. It has been established that breeding schemes should take into account the biological characteristics of crops to optimize the process of selection and reproduction. The agrotechnological requirements for sowing were evaluated, in particular, the exact distribution of seeds to improve plant growth conditions, and the physical and mechanical properties of seeds were investigated to increase the accuracy of sowing. The designs of sowing devices were analyzed, which revealed their shortcomings and potential for improvement.

The construction and technological scheme of the seeding device for automating the process and increasing the accuracy of seeding is substantiated. Modeling of seed packing in the capacity of the seeding device demonstrated the dependence of distribution uniformity on geometric parameters. Modeling the operation of the device made it possible to assess the influence of parameters on the accuracy of dosing.

Experimental studies have confirmed the efficiency and accuracy of the improved device compared to the basic one. The conducted experiments showed that the device provides a more even distribution of seeds, which helps to increase the yield. The obtained results can be used for further improvement of sowing devices and optimization of technological processes.

Key words: research, seeding device, selection seeder, seeds, soil, experiment, modeling.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ТА ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1. Селекційні схеми в залежності від біологічних характеристик культур.....	8
1.2. Вимоги до сівби насіння дрібнонасінневих культур.....	13
1.3. Дослідження фізико-механічних властивостей насіння дрібнонасінневих культур.....	18
1.4. Оцінка конструкцій висівних апаратів для дрібнонасінневих культур.....	20
1.5. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми висівного апарату.....	24
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИСІВНОГО АПАРАТУ	28
2.1. Теоретичне дослідження процесу взаємодії насіння з робочим елементом апарату.....	28
2.2. Моделювання пакування насіння в ємності висівного апарату селекційної сівалки.....	30
2.3. Приклад моделювання роботи висівного апарату селекційної сівалки.....	36
Висновки до розділу 2	38
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ	39
3.1. Експериментальні дослідження: методика та проведення.....	39
3.2. Результати досліджень і аналіз точності роботи висівного апарату.....	41
Висновки до розділу 3	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Підвищення ефективності та точності сільськогосподарських процесів є одним із пріоритетних завдань сучасного аграрного виробництва. Зростання попиту на високоякісні сільськогосподарські продукти та необхідність збереження ресурсів стимулюють розвиток нових технологій посіву, особливо для дрібнонасіньових культур, таких як ріпак, льон, гірчиця, мак, амарант та інші. Для цих культур важливо забезпечити точний та рівномірний посів, оскільки будь-які відхилення можуть призвести до зниження врожайності та ефективності використання ресурсів.

Традиційні висівні апарати не завжди відповідають вимогам сучасного сільськогосподарського виробництва, особливо у випадку дрібнонасіньових культур, оскільки їх конструкції не дозволяють забезпечити достатню точність та рівномірність висіву. Це створює потребу в удосконаленні конструкцій висівних апаратів та розробці нових технологічних рішень, які б задовольняли сучасні вимоги до точності та продуктивності.

В сучасному аграрному виробництві енергозберігаючі технології відіграють ключову роль. Це один із найважливіших і перспективних напрямків, який вимагає впровадження нових поколінь сільськогосподарської техніки, що гарантують високу якість виконання всіх технологічних процесів, включаючи посів дрібнонасіньових культур, таких як сорго, амарант, ріпак, гірчиця, льон, мак тощо. Розробка нових конструкцій машин враховує критерії багатофункціональності, економічності та збереження ресурсів. Проте, існуючі висівні апарати для універсальних сівалок не повністю адаптовані до цих вимог і потребують заміни.

Одним із перспективних рішень є розробка технологічного процесу посіву дрібнонасіньових сільськогосподарських культур за допомогою висівних апаратів, які забезпечують формування насінневого потоку через подачу насіння апаратами різної конструкції. Такі пристрої є універсальними у порівнянні з

традиційними, забезпечуючи більш рівномірний розподіл насіння культур з різними фізико-механічними характеристиками.

Дослідження параметрів висівного апарату селекційної сівалки, призначеного для точного висіву дрібнонасінневих культур, є актуальним з огляду на можливість підвищення продуктивності та ефективності сільськогосподарських процесів. Розробка нових конструктивних рішень, що враховують фізико-механічні властивості насіння та специфіку роботи з ними, дозволить забезпечити більш точний посів, що сприятиме збільшенню врожайності та зменшенню втрат при вирощуванні дрібнонасінневих культур.

Об'єктом дослідження виступає технологічний процес взаємодії робочого елемента висівного апарату модернізованої селекційної сівалки із насіннєвим матеріалом культур із дрібним насінням.

Предметом дослідження виступає залежність якісних показників висіву та продуктивності від конструктивно-технологічних параметрів висівного апарату вдосконаленої селекційної сівалки, враховуючи технологічні вимоги та фізико-механічні властивості насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності процесу висіву насіння дрібнонасінневих культур шляхом удосконалення конструкції висівного апарату селекційної сівалки, зокрема шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів, які забезпечать точність висіву.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні **завдання**:

- виконати аналіз методів і технічних рішень для точного висіву насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур та розробити конструктивно-технологічну схему висівного апарату селекційної сівалки;

- здійснити теоретичне дослідження процесу взаємодії насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур з робочим органом висівного апарату вдосконаленої селекційної сівалки;

- дослідити точність висіву розробленого висівного апарату селекційної сівалки в умовах виробництва та встановити оптимальні режимні параметри його роботи.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базувалися на використанні методів чисельного моделювання, заснованих на основних положеннях класичної механіки, газодинаміки, теорії вібрацій, ймовірності, пружності, дискретних елементів і багатофазної взаємодії. Для цього були застосовані методи диференціального та інтегрального числення. Дослідження проводилася із застосуванням математичного методу планування експерименту, а також методів натурних спостережень і експертних оцінок.

Практичне значення одержаних результатів. Практичну цінність для виробництва становить застосування вдосконалених висівних апаратів у складі базової навісної рядкової сівалки для овочевих та дрібнонасіненних культур під час висіву елітного насіння озимої гірчиці в господарстві ТОВ «Сігнет-Центр» (с. Андрушки, Бердичівський район, Житомирська область).

Склад та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота включає вступ, три розділи, загальні висновки, список використаної літератури. Основний текст магістерської роботи викладений на 42 сторінках, повний обсяг роботи становить 50 сторінок, включаючи 18 рисунків та 2 таблиць. Список використаних джерел нараховує 31 найменування і розміщений на 3 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ТА ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Селекційні схеми в залежності від біологічних характеристик культур

Схеми селекційної роботи формуються відповідно до біологічних особливостей культур, таких як спосіб запилення, генетична різноманітність та характер розмноження. Нижче наведені основні схеми, що використовуються в селекції різних типів культур [1].

1. Схеми селекції для самозапильних культур

Самозапильні культури (наприклад, пшениця, горох, рис) характеризуються низькою генетичною різноманітністю, оскільки запліднення відбувається пилом тієї ж рослини. Для таких культур застосовуються наступні схеми:

- *Селекція чистих ліній*: ця схема передбачає вирощування і відбір найбільш продуктивних або стійких генотипів через самозапилення. Отримані чисті лінії зберігають свої характеристики при подальшому розмноженні.

- *Гібридизація*: вона використовується для отримання нових комбінацій генів через схрещування різних чистих ліній. Гібридизація дозволяє створювати сорти з поліпшеними властивостями (наприклад, підвищена врожайність або стійкість до хвороб).

2. Схеми селекції для перехреснозапильних культур

Перехреснозапильні культури (наприклад, кукурудза, соняшник, жито) мають високу генетичну різноманітність через перехресне запилення між різними рослинами. Для таких культур використовуються наступні селекційні схеми:

- *Масовий добір*: відбір кращих рослин за певними ознаками та використання їх для створення нових популяцій. Цей метод дає змогу зберігати

генетичну різноманітність і одночасно покращувати середні показники популяції.

- *Рекурентний добір*: включає кілька циклів добору і схрещування між рослинами з найкращими характеристиками, що дозволяє накопичувати в популяції корисні ознаки.

- *Гібридизація та створення гібридів F1*: використовується для отримання гібридів першого покоління, які демонструють гетерозис — явище підвищеної врожайності та стійкості у порівнянні з батьківськими лініями.

3. Селекція для вегетативно розмножуваних культур

Для культур, які розмножуються вегетативним способом (наприклад, картопля, виноград, банани), використовуються такі методи:

- *Клонова селекція*: полягає у відборі і розмноженні найкращих рослин шляхом вегетативного розмноження (наприклад, через живці, бульби або відводки), що дозволяє зберігати всі бажані ознаки.

- *Мутантна селекція*: широко застосовується для отримання нових сортів через індуковані мутації або виведення природних мутантів, що мають корисні зміни у властивостях.

4. Схеми селекції для культур із змішаним типом запилення

Культури, які можуть бути як самозапильними, так і перехреснозапильними (наприклад, сорго), потребують особливих селекційних підходів:

- *Селекція ізоляційними методами*: це відбір генетичного матеріалу в умовах, що мінімізують перехресне запилення або, навпаки, стимулюють його для отримання гібридів.

- *Комбінована селекція*: поєднання самозапилення та перехресного запилення для покращення різних ознак культури, таких як продуктивність або стійкість до хвороб.

Таким чином, вибір селекційної схеми залежить від біологічних особливостей культури, що дозволяє оптимально підвищувати врожайність, стійкість до хвороб та покращувати інші важливі характеристики [1].

Досягнення високих і стабільних врожаїв сільськогосподарських культур значною мірою залежить від правильного вибору сортів. Важливу роль у виробництві харчової продукції відіграє створення нових сортів і гібридів рослин. Селекція включає три ключові етапи: спочатку необхідно створити або вибрати популяції, забезпечуючи генетичну різноманітність; далі здійснюється відбір відповідних генотипів з елітних рослин; і нарешті, проводяться випробування потомства, його розмноження до масштабів, необхідних для виробництва. Цей етап також охоплює значний комплекс завдань, пов'язаних із застосуванням спеціальних селекційних методів, а також використання різних технічних прийомів під час сівби, догляду за рослинами, спостережень і збирання врожаю [2, 3].

Посів невеликих ділянок з різними сортами, лініями або сім'ями впливає на вибір сівозміни та може вимагати використання спеціалізованої компактної техніки для селекції.

Схема селекційної роботи для самоzapильних культур спрямована на відбір високопродуктивних гомозиготних рослин, оцінку їхнього потомства та створення нового сорту на основі відібраних зразків, як це показано на рис. 1.1 [4, 5]. Початкові джерела генетичної різноманітності для цього процесу представлені розплідниками, які можуть бути колекційними, гібридними або спеціалізованими. У цих розплідниках проводиться аналіз різних форм рослин, таких як колекційні зразки, мутантні варіанти, поліплоїдні форми тощо, а також здійснюється схрещування для отримання нових генетичних комбінацій [5].

Оскільки в селекції застосовуються методи мутагенезу, поліплоїдії, а також культури тканин і клітин, іноді необхідно створювати спеціалізовані розплідники для вирощування мутантних форм, поліплоїдів, анеуплоїдів, гаплоїдів тощо.

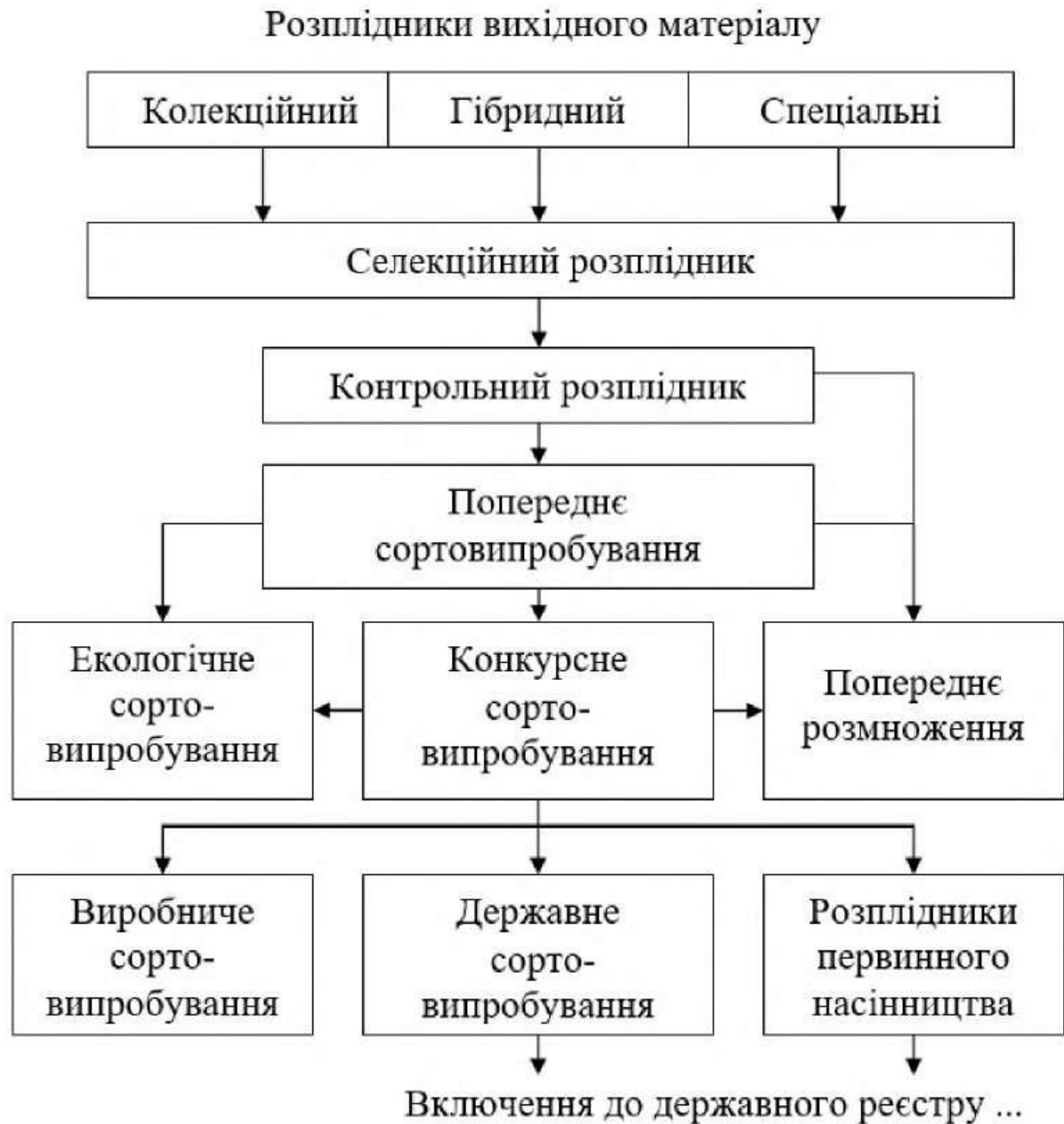


Рис. 1.1. Схема селекційної роботи з самоzapильними культурами [5]

Розмір ділянки у селекційних розсадниках можуть змінюватися залежно від кількості рядків для різних ліній, однак довжина рядка залишається постійною. Сівбу проводять вручну за допомогою сівалок, а норма висіву варіюється від 10 до 40 насінин на метр. Лінії порівнюють між собою та зі стандартом, який розташовують через 10-20-40 ділянок.

На другому етапі селекційних досліджень висівають відібрані лінії з першого року випробувань, використовуючи селекційні сівалки на ділянках

розміром 2-5 м². У контрольному розсаднику вже наявний достатній обсяг насіння для оцінки врожайності на одиницю площі, тому площу ділянок збільшують до 2-10 м² і більше, запроваджуючи повторні висіви. Сівбу здійснюють селекційними сівалками відповідно до встановлених норм із дво- або чотириразовими повтореннями [9].

На етапі попереднього сортовипробування в контрольному розсаднику аналізують зразки сортів, оцінюючи їхню врожайність на одиницю площі. Найкращі лінії, відібрані з контрольного розсадника, тестують у попередньому сортовипробуванні. Площа облікових ділянок для зернових культур становить 10-25 м², а дослідження проводять із чотирикратним повторенням. Стандарти розташовують через кожні 5-10 ліній, які на цьому етапі називають сортами. Сівбу виконують селекційними сівалками із встановленими нормами. Як правило, випробовують 25-30 сортів, хоча в умовах великих обсягів роботи їхня кількість може досягати 100.

На конкурсному етапі сортовипробування оцінюють найкращі сорти, які пройшли попереднє тестування, а також сорти, подані для екологічного випробування іншими науковими установами. Сорти, що демонструють кращі характеристики, ніж районовані, підлягають подальшому випробуванню.

Головною метою екологічного сортовипробування є вивчення реакції нових сортів у різних ґрунтово-кліматичних умовах, визначення їхньої пластичності та підтвердження врожайності, встановленої оригіном [9].

План селекції перехреснозапильних культур є подібним до плану для самозапильних культур, але має суттєві відмінності. У перехреснозапильних культурах селекційні номери або сорти, що ростуть поруч, часто взаємно переzapильюються, що змінює їхній генетичний склад. Насіння, зібране з таких ділянок, відрізняється від вихідних батьківських форм. Висіяне таке насіння дає рослини, які генетично відрізняються від своїх батьківських форм [10].

1.2. Вимоги до сівби насіння дрібнонасінневих культур

Вимоги до сівби насіння дрібнонасінневих культур визначаються їх біологічними особливостями та специфікою обробітку ґрунту. Основними чинниками, що впливають на якість сівби та врожайність дрібнонасінневих культур (такі як гірчиця, мак, льон, ріпак), є глибина загорання, рівномірність розподілу насіння по площі, підготовка ґрунту та правильний вибір технологічних параметрів сівалок.

Основні агротехнологічні вимоги:

1. Якість підготовки ґрунту. Ґрунт повинен бути добре вирівняним, дрібногрудкуватим і мати оптимальну вологість. Це забезпечує добрий контакт насіння з ґрунтом, що сприяє рівномірному проростанню. Занадто грудастий або важкий ґрунт ускладнює рівномірне розміщення насіння, що призводить до нерівномірного проростання та розвитку культур.

2. Рівномірність висіву. Оскільки насіння дрібнонасінневих культур має низьку масу, важливо забезпечити рівномірний розподіл насіння по площі поля. Використання спеціалізованих сівалок для дрібнонасінневих культур із точними дозаторами допомагає уникнути згущень або проріджень посівів.

3. Оптимальна глибина загорання. Насіння дрібних культур має обмежену кількість запасних речовин, тому воно не може прорости з великої глибини. Глибина загорання насіння зазвичай становить від 0,5 до 2 см, залежно від типу культури, структури ґрунту та вологості. Надто глибоке загорання може затримати або навіть зупинити проростання.

4. Підтримання рівномірної густоти посівів. Для дрібнонасінневих культур важлива підтримка однакової густоти посівів, що запобігає конкуренції між рослинами за ресурси (воду, світло, поживні речовини). Це досягається

правильним налаштуванням сівалок і дотриманням рекомендованої норми висіву.

5. Вологість ґрунту. Оптимальні умови вологості ґрунту є важливими для дружного проростання насіння. Занадто сухий ґрунт уповільнює проростання, а надмірно зволожений - спричиняє загнивання насіння. Забезпечення оптимальної вологості при посіві підвищує рівномірність сходів.

6. Температурний режим. Температурні умови під час сівби мають значний вплив на швидкість проростання насіння. Наприклад, для більшості дрібнонасінневих культур оптимальна температура ґрунту для сівби повинна бути в межах 10-15°C. Висів у холодний ґрунт може призвести до затримки проростання або загибелі насіння.

7. Вибір сівалок. Для сівби дрібнонасінневих культур рекомендується використовувати сівалки точного висіву, які забезпечують рівномірну подачу насіння на задану глибину. Важливо, щоб сівалка була налаштована на відповідну норму висіву та глибину загорання для конкретної культури.

Дотримання агротехнологічних вимог до сівби дрібнонасінневих культур є ключовим чинником для отримання високих і стабільних урожаїв. Правильна підготовка ґрунту, оптимальна глибина загорання, рівномірний висів та підтримання необхідного рівня вологості ґрунту забезпечують сприятливі умови для проростання і розвитку рослин, що в кінцевому результаті підвищує ефективність вирощування таких культур.

Існує два основні методи сівби: розкидний і рядковий. Розкидний метод передбачає висів насіння без чітких міжрядь, що може бути виконано вручну або за допомогою розкидних сівалок. Цей метод застосовують дуже рідко, переважно на крутих схилах або на заболочених ділянках.

Різні схеми рядкового способу сівби можна побачити на рис. 1.2 [11-13].

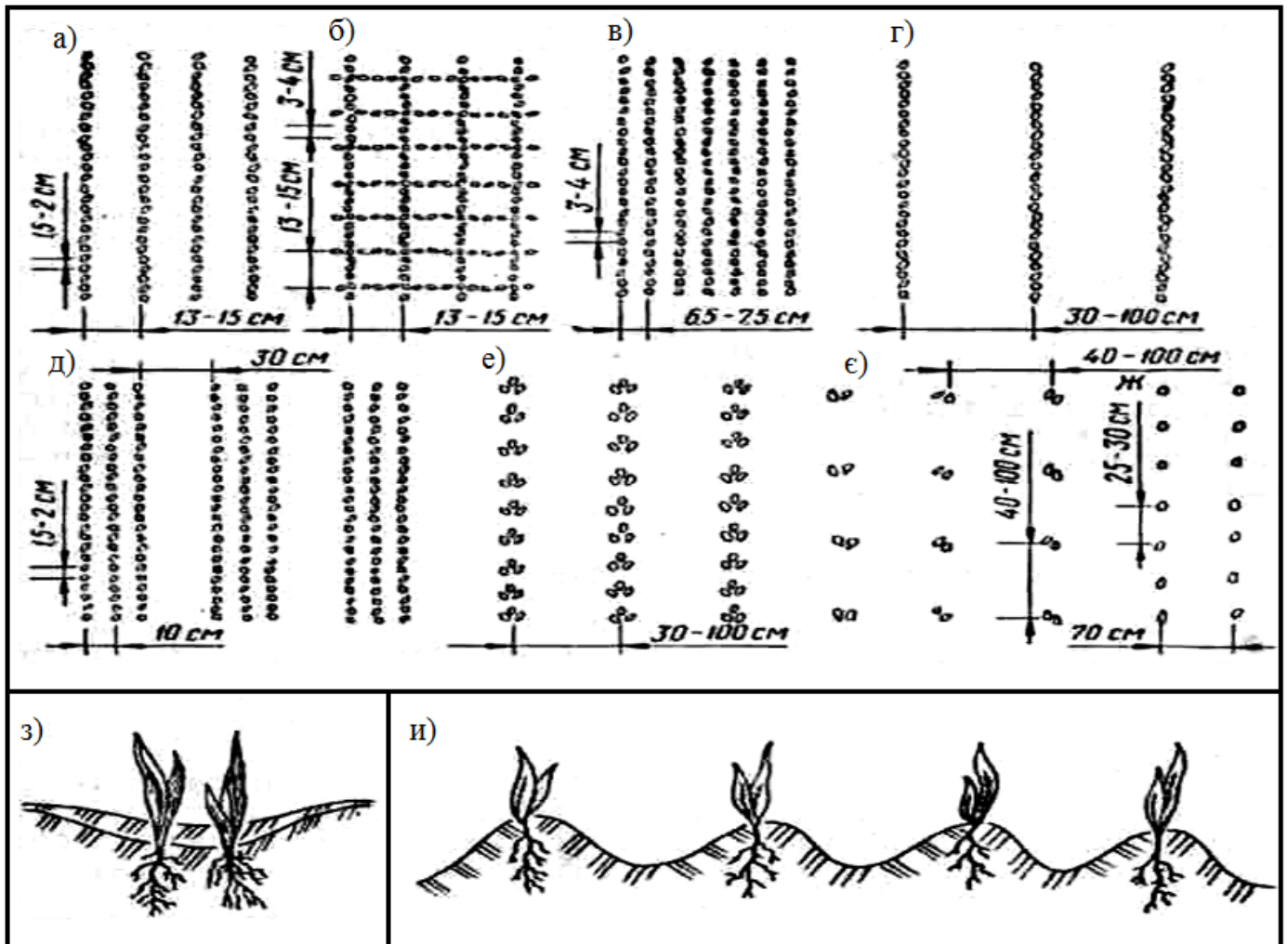


Рис.1.2. Варіанти посіву насіння дрібних культур:

- а - звичайний рядковий; б - перехресний; в - вузькорядний; г - широкорядний;
 д - стрічковий; е - гніздовий; е - квадратно-гніздовий; ж - пунктирний;
 з - борозенний; и - гребеневий

Метод суцільний рядковий використовують для посіву сільськогосподарських культур, що мають невеликі вимоги до площі живлення, як-от зернові, горох, гречка, однорічні та багаторічні трави. Для цього методу використовують сівалки дискового та сошникового типу, такі як СЗ-3,6, СЗА-3,6, СЗТ-3,6 та СЗС-2,1.

Вузькорядний метод сівби (із шириною міжрядь 6,5 - 7 см) дозволяє досягти більш рівномірного розподілу насіння на площі. Використовують такі сівалки, як

СЗУ-3,6, СЗЛ-4,6 та інші вузькорядні сошникові сівалки. Під час їх використання важливо забезпечити ретельну обробку ґрунту, щоб досягти оптимального освітлення рослин, посилення процесу фотосинтезу та підвищення стійкості до вилягання. Вузькорядний посів льону сприяє збільшенню виходу та поліпшенню якості волокна. Однак вузькорядні сівалки мають недолік - нерівномірне розміщення насіння в рядку, забивання ґрунтом та погане загортання насіння на задану глибину.

Перехресний метод сівби, як і вузькорядний, має свої переваги над суцільним рядковим. Він виконується рядковими сівалками, що рухаються перехресно: спочатку вздовж, потім упоперек поля. Сівалки встановлюються на половину норми висіву насіння. Завдяки цьому способу досягається рівномірніший розподіл насіння на полі, що забезпечує середній приріст врожаю зерна на 3 - 4 ц/га порівняно з суцільним рядковим посівом. Проте цей метод має обмеження: він потребує двонаправленої обробки, що призводить до неоднакової глибини загортання та ущільнення посівів на перехрестях, що своєю чергою спричинює нерівномірність дозрівання рослин.

Метод широкорядної сівби (із міжряддями понад 30 см) використовується для культур, які потребують значної площі живлення. Такий спосіб дозволяє проводити міжрядний обробіток для боротьби з бур'янами, розпушення ґрунту, поливу та підживлення. Основним недоліком є нерівномірне розташування рослин.

Стрічковий метод передбачає висів насіння у стрічки, що складаються з кількох рядків. Через повільний ріст на початкових етапах ці культури часто потерпають від бур'янів, тому міжряддя обробляють культиваторами. Можливе формування дво- чи тристрічкових посівів за допомогою стандартних сівалок із відповідно налаштованими сошниками.

Пунктирний метод, як різновид рядкового, забезпечує рівномірне розташування насіння в рядку на заданій відстані. Його застосовують для таких

культур, як цукрові буряки, кукурудза та зернові. Завдяки рівномірності розташування рослини отримують кращі умови для росту, що позитивно впливає на врожайність.

Гніздовий метод передбачає висів кількох насінин в одне гніздо. Для цього використовують спеціалізовані сівалки. Перевагами цього методу є економія насіння, створення сприятливих умов живлення та групове проростання рослин. Проте міжрядний обробіток можливий лише в одному напрямку.

Ці методи підходять для висіву високостеблових просапних культур. Їх основною перевагою є можливість повної механізації міжрядного обробітку, що знижує трудозатрати та економить насіння.

Борозенний метод застосовується для висіву насіння в борозни, що є актуальним у посушливих регіонах, де ґрунт швидко пересихає. Гребеневий метод, навпаки, підходить для зон із надмірним зволоженням, де насіння висівають на гребнях, що сприяє кращому доступу до повітря, тепла й поживних речовин [15–22].

На основі аналізу можна зробити висновок, що для селекційного процесу найбільш ефективними є методи рядкового, стрічкового, вузькорядного та широкорядного висіву дрібнонасінневих культур. Вони забезпечують підвищення врожайності за мінімальних витрат на проведення сівби.

1.3. Огляд наукових робіт з дослідження фізико-механічних властивостей насіння дрібнонасінневих культур

Фізико-механічні властивості насіння дрібнонасінневих культур є важливими факторами, які необхідно враховувати при здійсненні посівних операцій. Оскільки частина насіння піддається механічним впливам, таким як

пошкодження, змішування, транспортування і зберігання, розуміння його фізико-механічних характеристик є обов'язковим.

При розробці та розрахунку обладнання для процесів висіву насіння це є надзвичайно важливим, тому потрібна інформація про масу 1000 насінин, щільність, коефіцієнт тертя, кут природного відкосу та інші параметри.

Багато відомих науковців [23, 24] присвячували свої дослідження вивченню фізико - механічним властивостям дрібно насінневих культур, і літературні джерела містять дані, що пропонують огляд цих характеристик. Ці відомості можуть бути застосовані при створенні типових моделей для процесів і машин, призначених для висіву насіння дрібнонасінневих культур.

З метою покращення процесу висіву насіння дрібнонасінневих культур, таких як гірчиця, рижій та інші, було здійснено аналіз їхніх фізико-механічних властивостей на основі експериментальних даних [25].

Об'єктами подальших досліджень стали насіння дрібнонасінневих культур, такі як гірчиця сорту Тавричанка, рижій сорту Престиж та ріпак сорту Легіон.

В ході експериментальних досліджень [25] вивчалися взаємозв'язки між вологістю насіння (позначено як W_b) і такими параметрами, як ефективний діаметр D_e), маса 1000 насінин (M_{1000}), пористість (ϵ), дійсна щільність (ρ_t), кут природного відкосу (ϕ), коефіцієнт тертя (f). Графічні залежності цих параметрів представлені на рисунку 1.3.

На підставі отриманих результатів досліджень [25] можна дійти висновку, що при проєктуванні та розрахунку обладнання для висіву насіння олійних культур доцільно застосовувати середні показники розміру насіння як основні параметри.

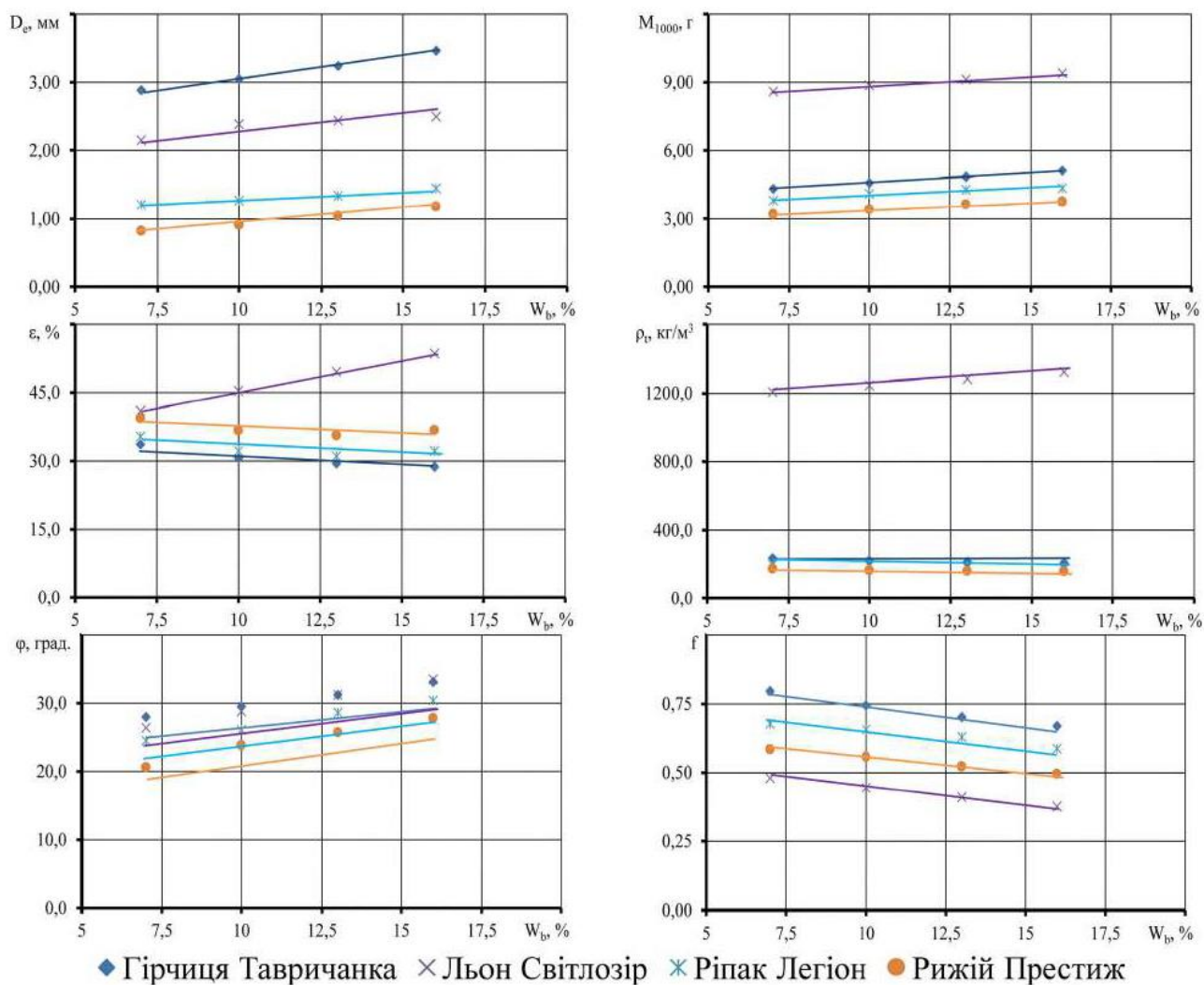


Рис.1.3. Вплив вологості насіння W_b на ефективний діаметр D_e , масу 1000 насінин M_{1000} , пористість ϵ , дійсну щільність ρ_t , кут природнього відкосу ϕ , коефіцієнт тертя f [81-85]

Дослідження фізико-механічних властивостей насіння дрібнонасінневих культур є основою для розробки та оптимізації агротехнічних процесів. Завдяки таким дослідженням можна підвищити ефективність сівби, зберігання та обробки цих культур, що позитивно впливає на їхню врожайність та економічну ефективність аграрного виробництва.

1.4. Оцінка конструкцій висівних апаратів для дрібнонасіньєвих культур

Оцінка конструкцій висівних апаратів для дрібнонасіньєвих культур є важливою темою для аграрного сектору, оскільки точне і рівномірне висівання насіння є ключовим чинником підвищення врожайності дрібнонасіньєвих культур, таких як ріпак, морква, люцерна тощо. При розгляді цієї теми, можна зосередитися на наступних аспектах:

1. Типи висівних апаратів. Існує декілька конструкцій висівних апаратів для дрібнонасіньєвих культур, серед яких можна виділити:

- **Дискові висівні апарати.** Вони забезпечують точне дозування і рівномірність висіву, однак можуть бути складнішими у налаштуванні та обслуговуванні.

- **Пневматичні висівні апарати.** Використовують потік повітря для транспортування та розподілу насіння. Вони здатні висівати насіння з високою точністю на різних швидкостях руху сівалки.

- **Штифтові та барабанні висівні апарати.** Більш прості у виготовленні та обслуговуванні, але часто мають нижчу точність, що може призвести до нерівномірного висіву.

2. Ключові критерії оцінки висівних апаратів. Оцінюючи конструкції висівних апаратів для дрібнонасіньєвих культур, важливо враховувати такі характеристики:

- **Точність дозування насіння.** Важливо, щоб апарат забезпечував рівномірний потік насіння на кожен метр рядка.

- **Мінімізація пошкодження насіння.** Дрібне насіння легко пошкоджується, тому механізми мають бути достатньо м'якими, щоб уникнути його пошкодження.

- **Здатність працювати на різних швидкостях руху.** Висівний апарат має зберігати точність і рівномірність при зміні швидкості руху сівалки.

- Простота налаштування і обслуговування. Чим легше налаштувати висівний апарат під конкретну культуру та умови, тим краще для аграрія.

3. Порівняння пневматичних і механічних систем. Однією з головних дилем при виборі висівного апарату для дрібнонасіньових культур є вибір між пневматичними та механічними системами.

- Пневматичні системи зазвичай забезпечують вищу точність і можливість налаштування під різні культури, але вони дорожчі і вимагають більшого технічного обслуговування.

- Механічні системи, зокрема штифтові і барабанні, простіші в конструкції та дешевші, однак їх точність може бути нижчою.

4. Тенденції та інновації в розробці висівних апаратів. На сьогоднішній день існує тенденція до автоматизації і цифровізації процесу висіву. До інновацій у висівних апаратах для дрібнонасіньових культур можна віднести:

- Системи точного землеробства. Використання GPS і датчиків для точного контролю глибини і щільності висіву.

- Інтелектуальні системи дозування. Дозволяють автоматично підлаштувати дозування насіння під умови поля в реальному часі.

5. Економічна ефективність і врожайність. Вибір правильного висівного апарату безпосередньо впливає на економічну ефективність господарства. Точний висів зменшує втрати насіння і підвищує врожайність. Крім того, можливість працювати на різних культурах без необхідності значних модифікацій апарату може зменшити експлуатаційні витрати.

Оцінка конструкцій висівних апаратів для дрібнонасіньових культур є важливим етапом підвищення ефективності аграрного виробництва. Для цього варто зосередитись на точності дозування, мінімізації пошкодження насіння та зручності використання, враховуючи останні технологічні інновації.

Висівні апарати сучасних сівалок для дрібнонасіньових культур за способом захоплення насіння можна поділити на такі типи: механічні, пневматичні, пневмомеханічні, гідравлічні та електромеханічні (рис.1.4).



Дрібнонасінневий висівний апарат СЗГ 00.2430-Т



Гідравлічний висівний парат T30 HYDROSEEDER



Пневматична висівна секція сівалки SPM8



Електромеханічний висівний апарат "Клен"

Рис. 1.4. Загальний вигляд деяких висівних апаратів

В Україні найбільш поширеними селекційними сівалками є сівалки з електромеханічними висівними апаратами «Клен» (рис. 1.5). Вони призначені для точного висіву дрібнонасінневих культур у рядки на ділянках, де проводиться попереднє або виробниче конкурсне сортовипробування, а також для агротехнічних досліджень. Висівний апарат має надійний електромеханічний привід і ротаційний розподільник насіння. Розподільник оснащений можливістю

плавного регулювання частоти обертання, що дозволяє оптимально розподіляти насіннєвий матеріал різного розміру в сошниках [26, 27].



а)



б)

Рис. 1.5. Вигляд сівалок типу «Клен-4,2» (а) та «Клен-1,5» (б)

Висівна система «Клен» (рис.1.5) є сучасним рішенням для точного посіву дрібнонасінневих культур. Вона оснащена електромеханічним приводом, який забезпечує високу надійність і точність процесу висіву. Завдяки ротаційному розподільнику насіння, система дозволяє рівномірно розподіляти насіннєвий матеріал по рядках, що особливо важливо при проведенні агротехнічних

досліджень або сортовипробувань. Плавне регулювання частоти обертання розподільника сприяє оптимальному налаштуванню системи під різні типи насіння, що робить її універсальною для використання в умовах різних агротехнічних завдань.

1.5. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми висівного апарату

Для вирішення поставлених завдань як прототип було обрано висівний апарат, призначений для селекційної сівалки дрібнонасіневих культур [28]. Концептуальна схема цього апарату наведена на рисунку 1.6.

Основним елементом апарату є рама 1, яка фіксується на рамі сівалки. На ній розміщено контейнер 2, у якому знаходяться касети 3 з насінням. Кожна касета 3 складається з корпусу 4, висувного футляра 5 і КРГО-мітки 6. На задній частині контейнера 2 на рамі 1 встановлено актуатор контейнера 7. Спереду контейнера 2 на рамі 1 закріплено актуатор футляра 8 і модуль зчитування даних 9. По обидва боки рами 1 під актуатором футляра 8 знаходяться тензодатчики 10, які кріпляться до ємності 11.

За допомогою кронштейнів (16) на рамі (1) також розміщено розподільник (17), до якого приєднані патрубки насіннепровідів (18). Гофровані насіннепроводи, що підключаються до цих патрубків, не показані на схемі.

Актуатор контейнера (7), актуатор футляра (8), модуль зчитування (9), тензодатчики (10) та кроковий двигун (15) з'єднуються через електропроводку (19) з блоком керування (20). Цей блок також підключено до датчика обертів (21), розташованого на колесі сівалки, і до сигналу тракториста (22), що знаходиться в кабіні трактора. Додатково блок керування (20) з'єднано з модулем ОР8-зв'язку (23), встановленим на сівалці, та з джерелом живлення (24) – акумулятором трактора напругою 12 В.

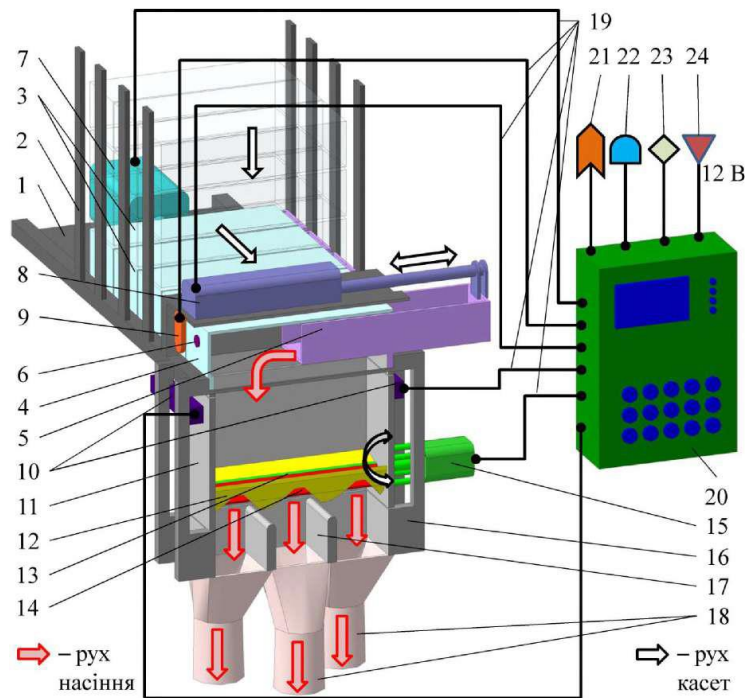


Рис.1.6. Конструктивно-технологічна схема висівного механізму селекційної сівалки для дрібнонасіненевих культур [28]

Висівний апарат селекційної сівалки для дрібнонасіненевих культур працює наступним чином.

Перед початком посіву селекціонер, керуючись затвердженим планом, засипає насіння потрібних сортотразків у касети 3, використовуючи висувний футляр 5, що розміщений у корпусі 4. Після цього у RFID-мітку 6 записується номер сортотразка за допомогою програматора. Далі касети 3 з насінням вставляються у контейнер 2, а файл з планом посіву, що містить інформацію про розмір ділянок, розташування сортотразків, густоту висіву та морфологічні характеристики насіння, завантажується до блока керування 20 через комп'ютер або телефон. Коли сівалка досягає краю ділянки (за даними модуля ОП8-зв'язку 23) або вичерпується насіння в ємності 11 (за інформацією тензодатчиків 10), блок керування 20 передає сигнал по електропроводах 19 до сигналу тракториста 22. Актуатор контейнера 7 переміщує касету 3, і порожня касета виштовхується з рами 1, замінюючись новою касетою. Цей цикл повторюється доти, поки не буде завершено посів.

Блок управління (20) контролює рух трактора, подаючи команди для зупинок, поворотів та інших маневрів. Це дозволяє автоматизувати посівний процес на селекційних ділянках, зменшуючи ручне втручання і забезпечуючи високу точність виконання завдань.

Після підготовчих дій селекціонер активує блок керування (20), який завантажує план посіву та передає відповідні команди трактористу через сигнал (22). Збір даних із модуля GPS-зв'язку (23) та датчика обертів (21) дозволяє блоку керування (20) визначати місцезнаходження сівалки та її швидкість. Виходячи з отриманих даних, блок починає процес висіву.

Сигнал із блока керування (20) активує актуатор контейнерів (7), який переміщує нижню касету (3) з контейнера (2) до модуля зчитування (9). Цей модуль зчитує інформацію з RFID-мітки (6) та передає її до блока керування (20), який налаштовує параметри посіву відповідно до плану. Актуатор футляра (8) відкриває футляр (5), дозволяючи насінню потрапити до ємності (11), після чого футляр автоматично закривається.

Тензодатчики (10) фіксують масу насіння і передають ці дані блоку керування (20). Блок порівнює отримані значення з морфологічними характеристиками насіння та активує кроковий двигун (15). Цей двигун обертає вал (13) із заслінкою (14) на заданий кут, забезпечуючи норму висіву. Насіння через дозатор (12) спрямовується до розподільника (17), звідки проходить через патрубки (18) та гофровані насіннепроводи до сошника, де його висівають у ґрунт [28].

Висновки до розділу 1

У даному розділі проведено аналіз актуальних проблем, пов'язаних із селекцією дрібнонасіневих культур та вибором оптимальних напрямів для подальших досліджень. Визначено ключові аспекти, які впливають на ефективність селекційного процесу та потребують технологічних удосконалень.

Встановлено, що селекційні схеми мають враховувати біологічні характеристики культур, що дозволяє оптимізувати процес відбору та розмноження рослин.

Проаналізовано агротехнологічні вимоги до сівби дрібнонасіньових культур, зокрема необхідність точного розподілу насіння для покращення умов розвитку рослин.

Досліджено фізико-механічні властивості насіння, що є важливим для вдосконалення посівного процесу та забезпечення точності висіву.

Оцінка існуючих конструкцій висівних апаратів дозволила визначити їх основні недоліки та переваги, а також виявити потребу в подальшій модернізації.

Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему висівного апарату для дрібнонасіньових культур, яка забезпечує автоматизацію процесу висіву та підвищує точність, що робить її перспективною для застосування в селекційних програмах.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИСІВНОГО АПАРАТУ

2.1. Теоретичне дослідження процесу взаємодії насіння з робочим елементом апарату

Теоретичне дослідження процесу взаємодії насіння з робочим елементом висівного апарату має важливе значення для підвищення ефективності сівби та точності дозування насіння. Основною задачею такого дослідження є визначення параметрів, що впливають на рух насіння, його розподіл по рядках та забезпечення рівномірної густоти посіву.

При взаємодії насіння з робочим елементом необхідно враховувати такі фактори:

1. Фізико-механічні властивості насіння: до них відносяться маса, форма, розмір, коефіцієнт тертя, а також сипкість. Ці характеристики визначають поведінку насіння під час його транспортування, захоплення та вивільнення робочим елементом апарату.

2. Кінематичні характеристики робочого елемента: швидкість руху та частота обертання висівного апарату мають важливий вплив на точність висіву. Низька швидкість може призвести до недостатнього заповнення насінням, тоді як занадто висока швидкість може спричинити пошкодження насіння або нерівномірний розподіл.

3. Сили взаємодії: під час контакту насіння з робочим елементом на нього діють різні сили - сили тертя, інерції та гравітації. Важливо забезпечити такі умови, щоб ці сили сприяли точному захопленню та подальшому висіву насіння з мінімальними втратами.

4. Траєкторія руху насіння: при виході з робочого елемента важливо, щоб насіння мало спрямовану та стабільну траєкторію, яка дозволить забезпечити рівномірний розподіл насіння по рядку.

5. Аеродинамічні умови: на дрібнонасіньві культури можуть впливати аеродинамічні сили, особливо в умовах роботи з електромеханічними висівними апаратами, де важливим є контроль за потоками повітря, що можуть спричинити небажане зміщення насіння.

Дослідження цих факторів дозволяє розробити математичні моделі процесу взаємодії насіння з робочим елементом і оптимізувати параметри висівних апаратів для підвищення точності сівби, зниження втрат насіння та забезпечення кращого врожаю.

Сучасні аналітичні дослідження переміщення насіння потребують застосування аналітичних підходів і складних систем диференціальних рівнянь із відповідними граничними та початковими умовами [29]. Через складність розв'язку таких систем традиційними методами теоретичної механіки, для їх чисельного розв'язку часто застосовують комп'ютерне моделювання, що підвищує ефективність та точність досліджень. Серед сучасних методів комп'ютерного моделювання механіко-технологічних процесів переміщення сипких матеріалів, таких як насінньві суміші, особливої уваги заслуговують методи, засновані на дискретному представленні речовини. Серед них особливо виділяються методи динаміки частинок і дискретних елементів [29].

Метод динаміки частинок ґрунту ється на моделюванні середовища у вигляді систем взаємодіючих частинок, які можуть розглядатися як матеріальні точки або тверді тіла. Рух цих частинок описується через рівняння класичної механіки. У процесі застосування цього методу для моделювання руху частинок на кожному етапі ітераційного розрахунку розв'язується задача Коші, яка передбачає інтегрування диференціальних рівнянь з урахуванням заданих початкових умов. Відомі програмні пакети, такі як CHARMM, AMBER, GROMACS, NAMB і GROMOS, забезпечують виконання розрахунків, використовуючи метод динаміки частинок.

Цей підхід дає змогу моделювати рух сипучих матеріалів, зокрема насінньвих сумішей, та аналізувати їхню поведінку, включаючи розподіл частинок, взаємодію між ними й вплив зовнішніх умов. Завдяки цьому можна

отримати цінну інформацію для вдосконалення конструкцій сівалок і висівних апаратів, що працюють із сипучими матеріалами.

Метод дискретних елементів є розширенням методу кінцевих елементів і використовується для моделювання широкого спектра процесів. У його основі лежить визначення початкових положень і швидкостей частинок для прогнозування їхнього руху. Сили, що діють на частинки, обчислюються з урахуванням фізичних законів взаємодії між ними. У межах цього методу можуть застосовуватися різноманітні закони взаємодії, якщо вони описуються відповідними рівняннями. Для кожної частинки визначається результуюча сила, після чого вирішується задача Коші для встановленого часової інтервалу. Отримані дані слугують основою для подальших етапів моделювання [29].

2.2. Моделювання пакування насіння в ємності висівного апарату селекційної сівалки

Першим кроком у проведенні теоретичних досліджень є створення моделі випадкового пакування насіння дрібнонасіньєвих культур у резервуар висівного апарату селекційної сівалки та визначення геометричних параметрів його дозатора.

Геометричну форму насіння таких культур, як ріпак, гірчиця, ріжій, просо та інші, будемо моделювати у вигляді сфер із певним ефективним діаметром D . Відповідно до результатів досліджень [30], навіть ретельно відкалібровані насінневі суміші містять насінини з різними ефективними діаметрами. Тому ми приймаємо, що ефективний діаметр насіння підкоряється нормальному розподілу і описується щільністю ймовірності:

$$f(D, D_{\mu}, \sigma_D) = 1/\sigma_D \sqrt{2\pi} \times \exp \times (- (D - D_{\mu}) / 2\sigma_{\mu}^2) \quad (2.1)$$

де σ_D - середнє квадратичне відхилення для ефективного діаметра насіння, м;

D_{μ} - середнє значення для ефективного діаметра насіння, м.

При цьому насіння може мати ефективний діаметр, що лежить у межах такого діапазону:

$$D \in (D_{\min}; D_{\max}),$$

де D_{\min} - мінімальне значення ефективного діаметра, м;

D_{\max} - максимальне значення ефективного діаметра, м.

Вважаючи, що густина насіння є постійною і дорівнює ρ , масу 1000 насінин можна розрахувати за такою формулою:

$$m_{1000} = 500/3 \times \rho \pi D^3 \quad (2.2)$$

де ρ - густина насінин, кг/м^3 .

Ємність висівного апарату селекційної сівалки має форму прямокутного паралелепіпеда висотою h , з основою у вигляді квадрата зі стороною - a .

Процес генерації випадкового пакування полягає у послідовному вкиданні насіння сферичної форми з випадково вибраною координатою на верхній поверхні ємності висівного апарату селекційної сівалки (рис. 2.1) в напрямку до її нижньої площини [30].

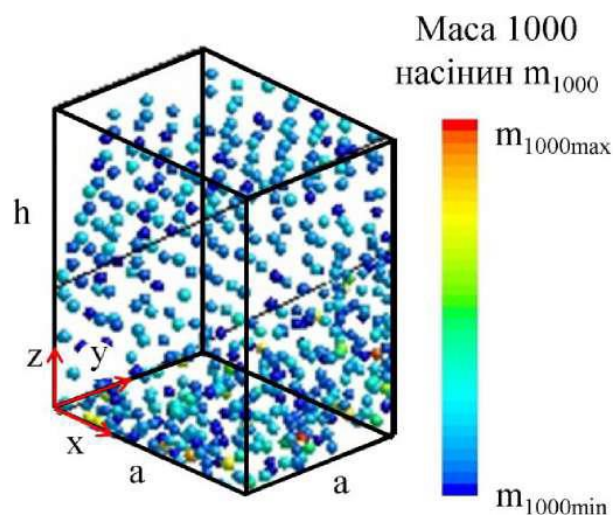


Рис.2.1. Приклад моделі процесу заповнення ємності висівного апарату

Щоб знайти місце розташування насіння, або окремої насінини в ємності висівного апарату селекційної сівалки необхідно вирішити систему диф. рівнянь

$R_{eq} = D_p/2$, $M_{eq} = M_p$, що є досить складним завданням для аналітичного розв'язку. Тому надалі

буде використано програмний пакет Simcenter Srar-CCM+, який ґрунтується на описаному математичному апараті.

Числове моделювання здійснювалось із такими факторами: середнє значення ефективного діаметра насіння D_μ (0,001 м; 0,002 м; 0,003 м) та коефіцієнт варіації δ_D (0,1; 0,2; 0,3), що визначається як відношення середньоквадратичного відхилення ефективного діаметра насіння до його середнього значення (табл. 2.1). Моделювання виконувалось у форматі повнофакторного експерименту для двох факторів із загальною кількістю 9 дослідів, кожен з яких повторювався п'ять разів [30].

Таблиця 2.1

Фактори та рівні числового моделювання випадкового розташування насіння в ємності висівного апарату

№	Ефективний діаметр насіння D_μ , м	Коефіцієнт варіації δ	Середнє квадратичне відхилення ефективного діаметра насіння σ_D , м	Мінімальне значення діаметра насіння D_{min} , м	Максимальне значення діаметра насіння D_{max} , м
1	0,001	0,1	0,0001	0,0007	0,0013
2	0,001	0,2	0,0002	0,0004	0,0016
3	0,001	0,3	0,0003	0,0001	0,0019
4	0,002	0,1	0,0002	0,0014	0,0026
5	0,002	0,2	0,0004	0,0008	0,0032
6	0,002	0,3	0,0006	0,0002	0,0038
7	0,003	0,1	0,0003	0,0021	0,0039
8	0,003	0,2	0,0006	0,0012	0,0048
9	0,003	0,3	0,0009	0,0003	0,0057

Критерій оцінки ґрунтується на щільності пакування, яка обчислюється наступним чином:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{6} \pi D_i^3}{a^2 h} \quad (2.3)$$

де i - номер насінини;

N - загальна кількість насінин.

Наступним кроком є вивчення закономірностей роботи дозатора, який моделюється як заслінка, що відкриває отвори різних форм. Отвори дозатора циліндричної форми представлені в трьох варіантах (рис. 2.2):

- I - трикутна форма;
- II – напівкругла;
- III - прямокутна.

Факторами числового моделювання є щільність пакування φ (0,550; 0,575; 0,600) та кут повороту заслінки α (0,1-1,5 з кроком 0,1).

Критерієм оцінки виступає пропускна здатність дозатора Q_d :

$$Q_d = n / t \quad (2.4)$$

де n – кількість насінин;

t – час, с.

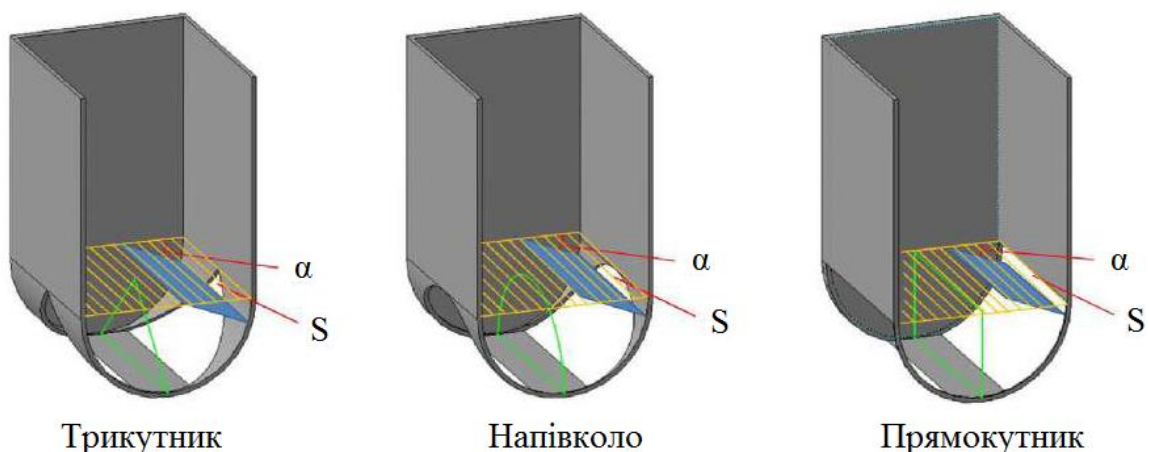


Рис. 2.2. Залежності площі одного отвору дозатора S від кута повороту заслінки α для різних виконань [30]

На рис. 2.3 представлена візуалізація випадкового розташування насіння дрібнонасінневих культур у резервуарі висівного апарату селекційної сівалки.

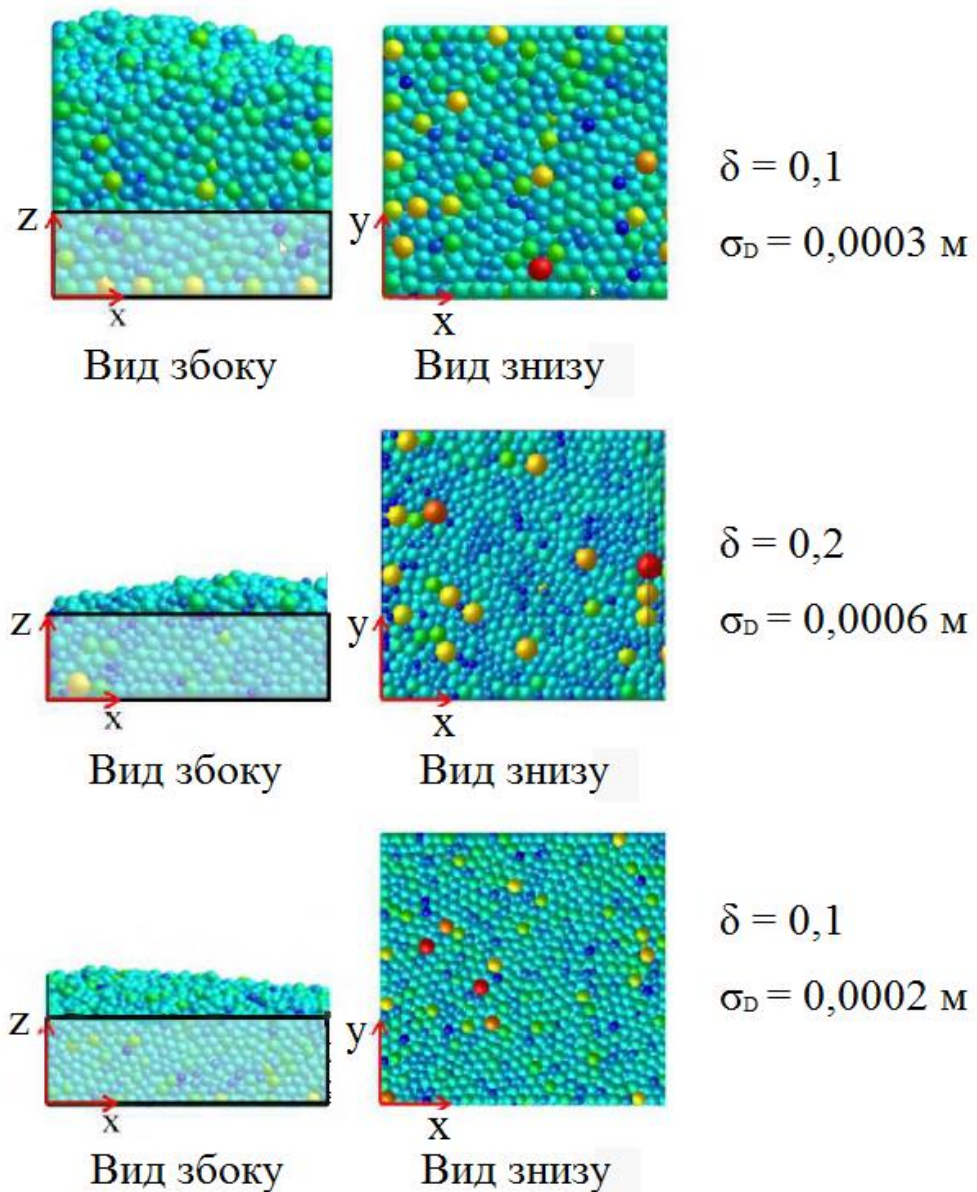


Рис. 2.3. Візуалізація випадкового розташування насіння дрібнонасінневих культур у резервуарі висівного апарату селекційної сівалки [30]

Визначимо середнє значення пропускної здатності дозатора Q_d для трьох різних значень щільності випадкового пакування насіння ϕ , здійснюємо апроксимацію отриманих результатів за допомогою полінома третього ступеня (рис. 2.4) [30]:

- для I варіанту (трикутник):

$$Q_d = 494\alpha^3 - 388\alpha^2 + 130\alpha - 14; R^2 = 0.9998 \quad (2.5)$$

- для II варіанту (напівколо):

$$Q_d = 221\alpha^3 - 213\alpha^2 + 130\alpha - 35; R^2 = 0.9999 \quad (2.6)$$

- для III варіанту (прямокутник):

$$Q_d = 58\alpha^3 - 753\alpha^2 + 151\alpha; R^2 = 0.9998 \quad (2.7)$$

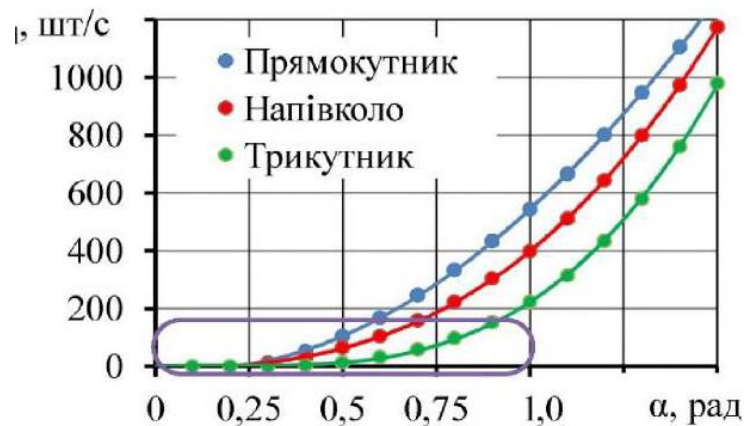


Рис. 2.4. Закономірність зміни пропускної здатності дозатора Q_d висівного апарату селекційної сівалки від кута нахилу заслінки α [30]

Аналіз рис. 2.4 нам показує, що для досягнення пропускної здатності дозатора Q_d в межах від 1 шт./с до 100 шт./с, кут нахилу заслінки α має змінюватися від 0,3 рад до 0,8 рад. При швидкості руху сівалки 1 м/с (або 4 м/с), пропускна здатність дозатора на рівні 1 шт./с і 100 шт./с відповідає нормі висіву 50 тис. шт./га (12,5 тис. шт./га) і 5 млн. шт./га (1,25 млн. шт./га) відповідно.

Для точнішого визначення цієї залежності необхідно провести додаткові дослідження. Крім того, з графіка залежності Q_d (α) видно, що нахил графіка для першого варіанту отвору дозатора (трикутної форми) є найменшим. Це означає, що саме трикутна форма отвору забезпечує найвищу точність дозування насіння.

2.3. Приклад моделювання роботи висівного апарату селекційної сівалки

Приклад моделювання процесу висіву насіння дрібнонасіненних культур буде виконано за допомогою програмного пакета SolidWorks. Для цього було створено 3D-модель області висівного апарату та його робочого органу (циліндричний дозатор з трикутними вирізами і заслінка). На основі вибраних моделей сітки (генератор поверхневої сітки та генератор багатогранних комірок) і визначених референтних значень лінійного розміру (0,0025 м) проведено генерацію об'ємної сітки (рис. 2.5).

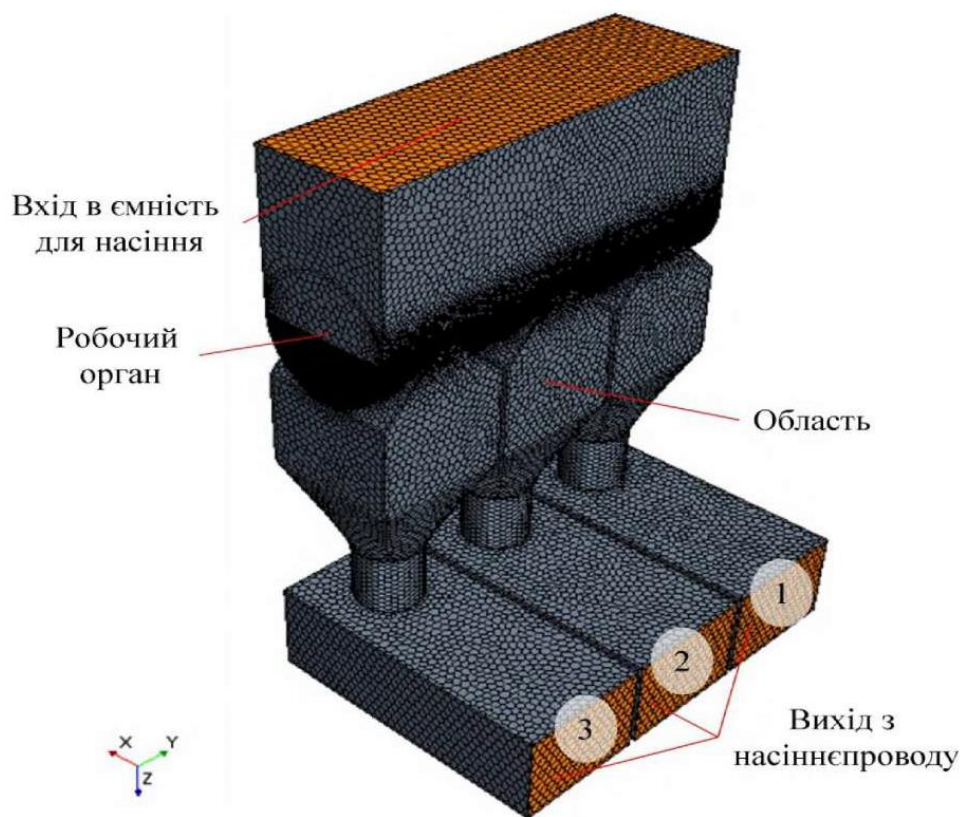


Рис. 2.5. Об'ємна сітки області висівного апарату і його робочого органу

Насіння моделюється як Лагранжева фаза, з використанням таких моделей: постійна щільність, сила градієнта тиску, опір частинок, сферичні частинки, однокомпонентні тверді частинки, частинки DEM. Для прикладу було вибрано насіння гірчиці, яке за даними літератури має такі фізико-механічні характеристики: щільність - 700 кг/м^3 . Оскільки перед посівом насіння

проходить калібрування за розміром, встановлено такі параметри: середній ефективний діаметр - $D_{cp}=0,0022$ м; мінімальний ефективний діаметр - $D_{min}=0,0016$ м; максимальний ефективний діаметр - $D_{max}=0,0028$ м; стандартне відхилення - $\sigma_D=0,002$ м. Розподіл розмірів насінинок відповідатиме нормальному розподілу рівняння Гауса. Можлива вага 1000 насінин m_{1000} становить від 2,1 до 4,0 г [25, 31].

Схематичне зображення висівання насіннєвого матеріалу представлена на рисунку 2.6.

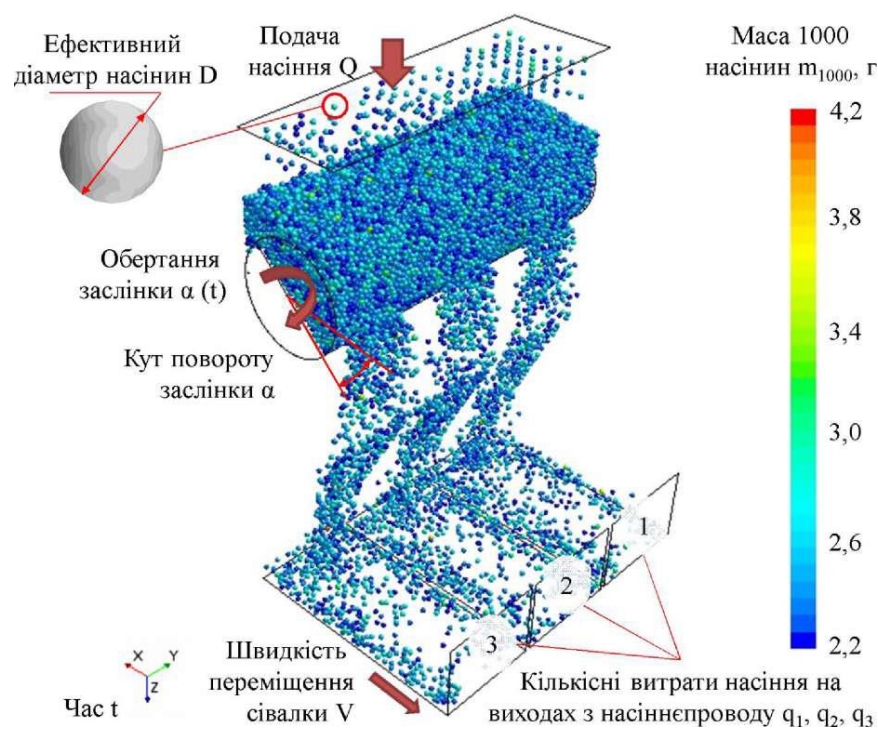


Рис. 2.6. Схематичне зображення висіву насіннєвого матеріалу

Подача насіння відбувається у найвищій верхній частині спеціального резервуара для насіння за допомогою функції інжекції Лагранжевої фази з такими параметрами: ймовірність появи насінини - 0,8, початкова швидкість насіння - 0 м/с, швидкість подачі насіння - 5 кг/с (це значення було вибрано для підтримки постійного рівня насіння в резервуарі висівного апарату) [31].

Висновки до розділу 2

У розділі проведено теоретичний аналіз процесу взаємодії насіння з робочими елементами висівного апарату, що дозволило уточнити механізми цього процесу та виявити фактори, які впливають на ефективність сівби.

Моделювання пакування насіння в ємності висівного апарату селекційної сівалки показало залежність рівномірності розподілу насіння від геометричних параметрів і фізико-механічних характеристик насіння.

Приклад моделювання роботи висівного апарату дозволив оцінити вплив конструкційних параметрів і налаштувань на точність дозування, що є важливим для підвищення ефективності сівалок. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення існуючих та розробки нових конструкцій висівних апаратів.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Експериментальні дослідження: методика та проведення

Для перевірки закономірностей роботи дозатора висівного апарату селекційної сівалки, отриманих за результатами числового моделювання, було розроблено його макет у трьох варіантах отворів:

- I - трикутної форми;
- II – напівкруглої;
- III - прямокутної.

Дозатори, які виконані в SolidWorks схематично представлені на рис. 3.1.

Деталі макетного зразка дозатора надруковані на 3D-принтері Anycubic Mega S з використанням пластику ABS+ (рис. 3.2). Даний стенд також включає транспортерну стрічку, яка імітує рух сівалки, приводом якої є кроковий двигун SY42STH38-1684A.

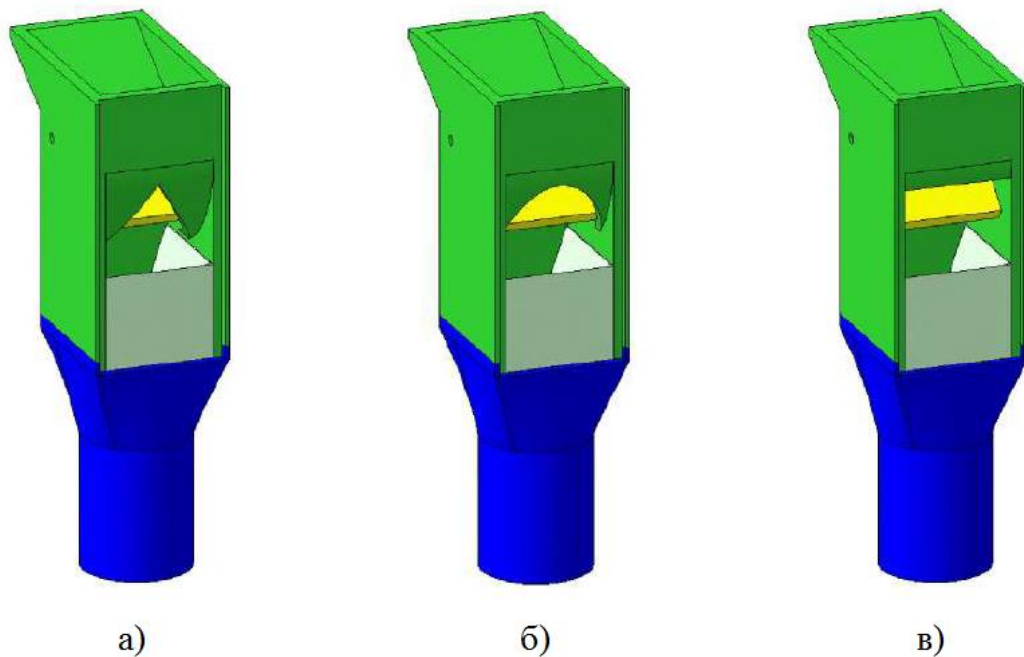


Рис.3.1. Дозатори, які виконані в програмному продукті SolidWorks

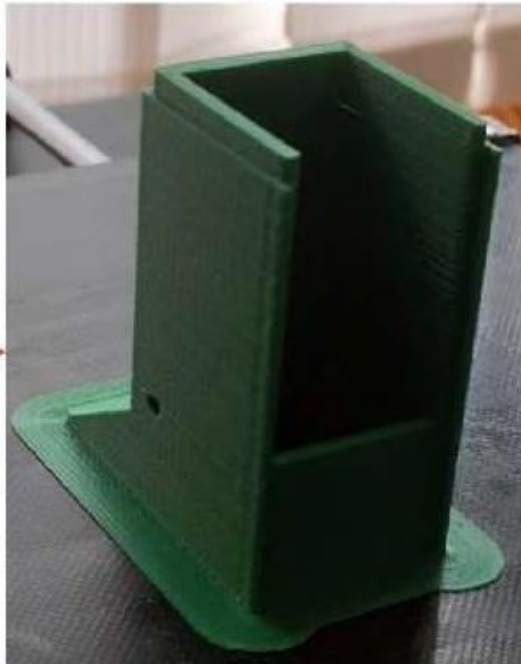


Рис.3.2. Приклад дозатора надрукований на 3D-принтері з пластику ABS+

Процес проведення дослідження розробленого дозатора висівного апарату для дрібнонасінневих культур на стенді зображено на рис. 3.3. Також представлено результати фотозйомки розподілу насіння.

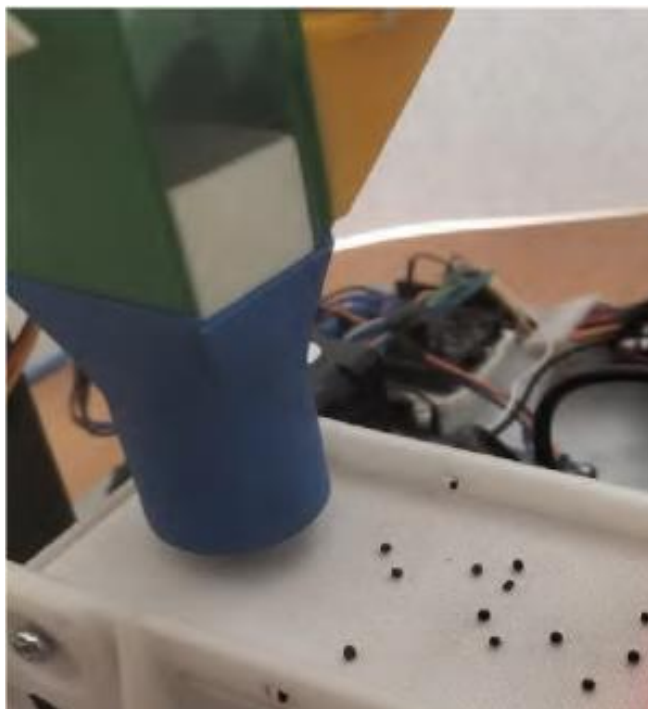


Рис.3.3. Процес проведення експериментального дослідження

При діаметрі насіння гірчиці $D_0=1,8\text{ мм}=0,0018\text{ м}$ та нормі висіву для широкорядної сівби $N_0=1400$ тис. шт./га і швидкості руху сівалки $V_0=1,8\text{ м/с}$, отримуємо наступні параметри роботи дозатора: кут повороту заслінки $\alpha=0,72446$ рад ($41,5^\circ$), інтервал часу $\Delta t=0,6\text{ с}$. Важливо зазначити, що при зміні швидкості руху сівалки, в межах від $1,6\text{ м/с}$ до $2,0\text{ м/с}$, відбувається постійне коригування налаштувань дозатора: для швидкості $1,6\text{ м/с}$ кут повороту $\alpha(1,6\text{ м/с})=0,72446$ рад ($41,5^\circ$), інтервал часу $\Delta t(1,6\text{ м/с})=0,658451\text{ с}$; для швидкості $2,0\text{ м/с}$: $\alpha(2,0\text{ м/с})=0,72446$ рад ($41,5^\circ$), інтервал $\Delta t(2,0\text{ м/с})=0,552203\text{ с}$. При цьому точність висіву досягає $97,0\%$ при $1,6\text{ м/с}$ і $94,8\%$ при $2,0\text{ м/с}$. Тобто, дозатор налаштовується таким чином, щоб максимізувати точність висіву δ_N .

Іншим прикладом практичного використання програми є зміна параметрів насіння (зміна діаметра) та норми висіву при ділянковій сівбі в селекційних дослідженнях. Враховуючи конструктивно-технологічну схему висівного апарату (розділ 1), що дозволяє автоматизувати процес сівби з мінімальною участю селекціонера, можна досягти високої точності висіву. Наприклад, при заміні насіння гірчиці з діаметром $D_{01}=1,1\text{ мм}=0,0011$ на $D_{02}=2,6\text{ мм}=0,0026\text{ м}$ та зміні норми висіву з $N_{01}=1000$ тис. шт./га на $N_{02}=1500$ тис. шт./га, отримуємо зміни параметрів дозатора при постійній швидкості $V_0=1,8\text{ м/с}$.

3.2. Результати досліджень і аналіз точності роботи висівного апарату

Перед впровадженням результатів досліджень було проведено випробування експериментального зразка висівного апарату селекційної сівалки в умовах виробництва. За основу був взятий висівний апарат сівалки «Клен-4,2», який переобладнали відповідно до отриманих результатів досліджень [30].

У конструкції базового висівного апарату було змінено форму дозатора відповідно до рекомендацій із попереднього розділу, а також додано розподільник. Для вимірювання маси насіння та контролю якості висіву розподільник був приєднаний до рами висівного апарату через тензодатчик. Загальний вигляд модернізованого висівного апарату показано на рис. 3.4.

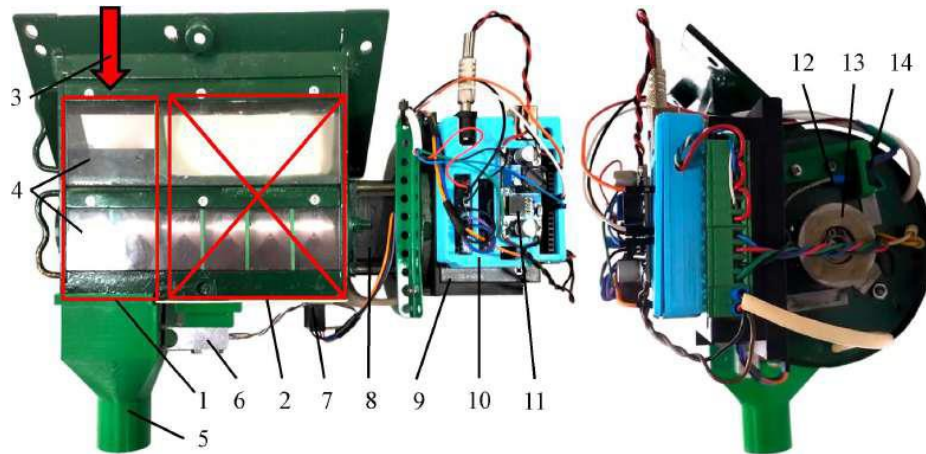


Рис. 3.4. Схематично зображений вигляд удосконаленого висівного апарату

Для наступного етапу дослідження було зібрано одну висівну секцію навісної рядкової сівалки для овочевих і дрібнонасіненних культур «Клен-4,2». Загальний вигляд цієї висівної секції представлено на рис. 3.5.

Під час проведення дослідів у виробничих умовах було висіяно озиму гірчицю сорту «Родео» з нормою висіву 1000 тис. шт./га при міжрядді 70 см. Маса 1000 насінин становила 2,4 г, а їх схожість - 98,3 %. Дата висіву - 02.09.2024 р. Досліди проводилися на базі ТОВ «Сігнет-Центр» (с. Андрушки, Бердичівський р-н., Житомирська обл.). Ґрунт на дослідних ділянках - звичайний важкосуглинковий чорнозем (вміст гумусу в орному шарі - 3,5 %, рН - 6,5-7,0). Основний обробіток ґрунту було здійснено полицевим способом на глибину 200-220 мм.



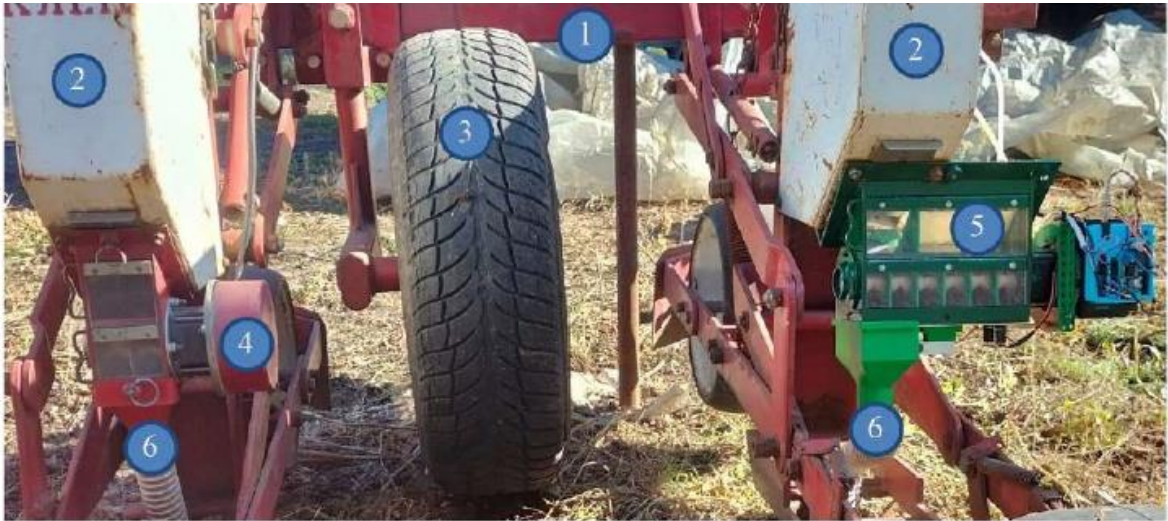


Рис.3.5. Зовнішній вигляд пропонуєчої висівної секції

Передпосівний обробіток ґрунту виконували на глибині загортання насіння. Також здійснювали прикочування перед посівом і після нього. Погодні умови сприяли успішній сівбі озимої гірчиці. Всі експерименти та дослідження проводилися згідно із загальноприйнятими методиками польових досліджень у сільському господарстві та рослинництві.

Густоту розміщення посівної культури в контрольному рядку після сходження можна буде вже визначити в 2025 році. Збір урожаю проводитиметься в липні місяці 2025 року.

Умовно можемо представити результати врожайності, що наведені на рис. 3.6.

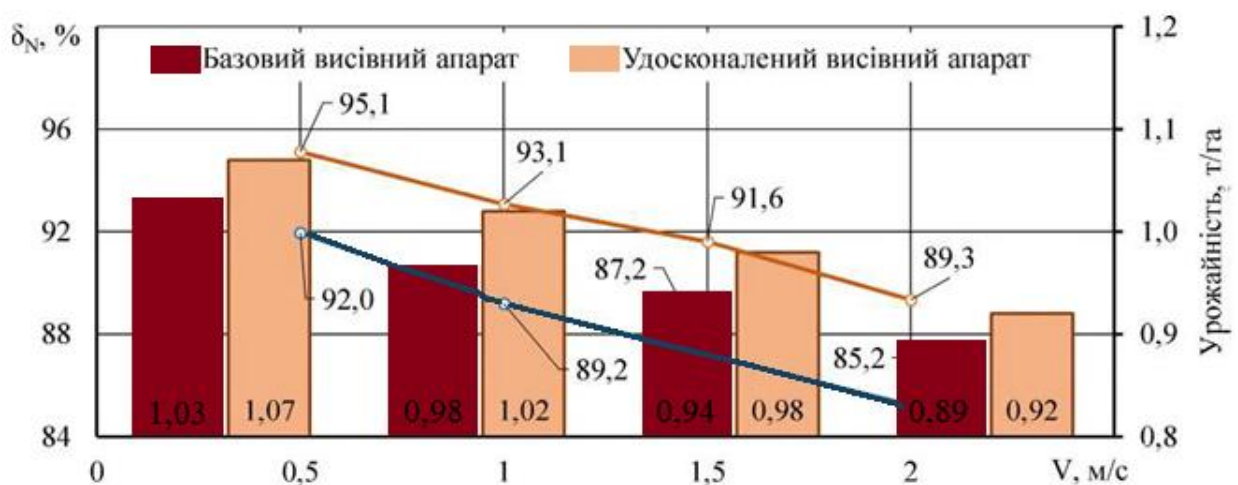


Рис.3.6. Умовні результати вимірювань точності висіву і урожайності

З огляду на отримані результати, умовно можна зробити висновок, що запропонований варіант висівного апарату демонструє вищу ефективність порівняно з базовим.

Висновки до розділу 3

У даному розділі були проведені експериментальні дослідження роботи висівного апарату, що дозволило оцінити його ефективність та точність. Розроблено та реалізовано методику проведення експериментів у виробничих умовах із використанням різних швидкостей руху сівалки та варіантів налаштувань висівного апарату.

Результати досліджень показали, що вдосконалений висівний апарат забезпечує кращу точність висіву порівняно з базовим, що підтверджується як візуально, так і за результатами вимірювань густоти рослин та відстаней між ними. Проведений аналіз свідчить про те, що вдосконалений апарат здатний значно покращити точність і рівномірність розподілу насіння, що є ключовим фактором для підвищення врожайності. Отримані дані можуть бути використані для подальшого вдосконалення конструкції сівалок та оптимізації технологічних процесів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано актуальні проблеми селекції дрібнонасіневих культур та визначено напрями для подальших досліджень. Встановлено, що селекційні схеми повинні враховувати біологічні характеристики культур для оптимізації процесу відбору та розмноження. Оцінено агротехнологічні вимоги до сівби, зокрема точний розподіл насіння для покращення умов росту рослин, та досліджено фізико-механічні властивості насіння для підвищення точності посіву. Проаналізовано конструкції висівних апаратів, що виявило їх недоліки та потенціал для вдосконалення.

Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему висівного апарату для автоматизації процесу та підвищення точності висіву. Моделювання пакування насіння в ємності висівного апарату продемонструвало залежність рівномірності розподілу від геометричних параметрів. Моделювання роботи апарату дозволило оцінити вплив параметрів на точність дозування.

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність і точність вдосконаленого апарату порівняно з базовим. Проведені досліди показали, що апарат забезпечує більш рівномірний розподіл насіння, що сприяє підвищенню врожайності. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення висівних апаратів і оптимізації технологічних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Молоцький М.Я., Васильківський С.П., Князюк В.І., Власенко В.А. Селекція і насінництво сільськогосподарських рослин: Підручник. Київ: Вища освіта, 2006. 463 с.
2. Зозуля О.Л., Мамалига В.С. Селекція і насінництво польових культур. Київ: Урожай, 1993. 416 с.
3. Лісовська Т.П., Кузьмішина І.І., Коцун Л.О. Генетика і селекція рослин: методичні рекомендації до виконання практичних занять для студентів 5 курсу біологічного факультету денної і заочної форми навчання. Луцьк: Друк ПП Івнюк В.П., 2015. 75 с.
4. Довгопола Л.І. Генетика з основами селекції. Методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів біологічних спеціальностей педагогічних закладів вищої освіти. Переяслав-Хмельницький (Київська обл.): Домбровська Я.М., 2018. 74 с.
5. Молоцький М.Я., Васильківський С.П., Князюк В.І., Власенко В.А. Селекція і насінництво сільськогосподарських рослин: Підручник. Київ : Вища освіта, 2006. 463 с.
6. Лагутенко О.Т., Чепурна Н.П. Генетика з основами селекції: Лабораторний практикум. Київ: Видавництво НПУ імені М.П. Драгоманова, 2017. 160 с.
7. Насінництво й насіннезнавство зернових культур / За ред. М.О. Кіндрука. Київ: Аграрна наука, 2003. 240.
8. Основи управління продукційним процесом польових культур: монографія / В.В. Кириченко, В.П. Петренкова, Л.Н. Кобизева [та ін.]; за редакцією В.В. Кириченка. Харків : НААН, Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва, 2016. 712 с.

9. Гуринович С.Й., Рожкован В.В., Обух Г.Й., Мойсей С.І. Генетичні ресурси хрестоцвітих культур України. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2013. № 18. С. 31-37.

10. Журавель В.М., Буділка Г.І. Гібридизація як один із ефективних методів створення вихідного матеріалу для селекції гірчиці. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2015. № 22. С. 70-74.

11. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: підручник. 2-е вид. Київ : Каравела, 2008. 552 с.

12. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами : навч. посіб. / В. Сало, С. Лещенко, П. Лузан, Л. Сало. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2022. 220 с.

13. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. Київ : Каравела, 2015. 552 с.

14. Жернова Н.П. Вплив елементів технології на продуктивність гірчиці сарептської сорту Світлана. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2009. № 14. С. 143-149.

15. Зінченко О.І. Кормовиробництво: Навчальне видання. 2-е вид., доп. І перероб. Київ : Вища освіта, 2005. 448 с.

16. Поляков О.І., Вахненко С.В., Нікітенко О.В., Вендель В.В. Особливості формування продуктивності гірчиці ярої під впливом мінеральних добрив за різних норм висіву. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2016. № 23. С. 155-161.

17. Поляков О.І., Нікітенко О.В., Вендель В.В. Особливості формування продуктивності гірчиці ярої під впливом стимуляторів росту за різних способів сівби. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2017. № 24. С. 181-187.

18. Поляков О.І., Нікітенко О.В., Вендель В.В. Вплив мінерального живлення на продуктивність гірчиці ярої за різних норм висіву. Науково-

технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2018. № 26. С. 89-97.
DOI: 10.36710/ІОС-2018-26-10

19. Багаторічні трави в інтенсивному кормовиробництві : наукове видання / За ред. Б.С. Зінченка. Київ : Урожай, 1991. 192 с.

20. Поляков О.І., Вахненко С.В. Водоспоживання ріпака ярого в залежності від строків, способів сівби та норм висіву насіння. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2012. № 17. С. 130-133.

21. Куцегуб Г.О., Рожков А.О. Формування врожайності ріпака ярого в залежності від норми висіву та способу сівби. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2014. № 20. С. 163-169.

22. Вахненко С.В., Поляков О.І. Формування врожайності ріпаком ярим в залежності від строків сівби та норм висіву в умовах Південного Степу України. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2010. № 15. С. 73-77.

23. Пешук Л.В., Носенко Т.Т. Біохімія та технологія оліє-жирової сировини. Навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2011. 296 с.

24. Калошин Ю.А. Фізико-механічні властивості сировини і готової продукції. Делі Принт. 2011. 176 с.

25. Алієв Е. Б., Лупко К. О., Долгіх Д. О. Фізико-математична модель взаємодії компонентів насінневої суміші дрібнонасінневих олійних культур із робочим органом трієра. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2022. Вип. 32. С. 123-131.

26. Сівалка «Клен-1.5». Селекційна, порційна. Інструкція з експлуатації. Паспорт. Луганськ, 2018. 35 с.

27. Сівалка Клен-4,2. Селекційна, порційна. Інструкція з експлуатації. Паспорт. Луганськ, 2018. 38 с.

28. Дацюк Д.А., Яропуд В.М., Алієв Е.Б. Висівний апарат селекційної сівалки дрібнонасінневих культур: пат. 149682 Україна: МПК А01С 7/04, А01В 49/06. № 202101285; заявл. 15.03.2021. опубл. 01.12.2021, Бюл. № 48. 4 с.

29. Долгов О.М. Механіка руйнування: підручник. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. 166 с.

30. Алієв Е. Б. Фізико-математичний апарат пружно-демпферної взаємодії насінин під дією вібруючого решета. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2017. Вип. 47, ч. I. Кропивницький: ЦНТУ. С. 31- 39.

31. Козаченко О.В., Алієв Е.Б., Бакум М.В., Михайлов А.Д., Кречот М.М. Обґрунтування ефективності використання віброфрикційного сепаратора при підготовці насінневого матеріалу гірчиці. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2021. Вип. 31. С. 142-151.