

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ДАРМОГРАЙ МАКСИМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 631.531.01:631.531.4:633.34

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ І
ПАРАМЕТРІВ ВИСІВНОГО АПАРАТУ ПРИ
ДОЗУВАННІ НАСІННЯ СОЇ**

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

_____ Дармограй М.М.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Дармограй Максим Михайлович. Оптимізація режимів роботи і параметрів висівного апарату при дозуванні насіння сої. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

В магістерській роботі на основі аналізу функціональних та принципових схеми висівних апаратів синтезували запропоновану конструкцію, яка за діаметра отворів для виходу повітря з дозувальних елементів висівного диска 4,3 мм, надлишкового тиску в насіннєвій камері висівного апарата 4,0 кПа, частоти обертання висівного диска $2,0 \text{ с}^{-1}$ забезпечує такі показники якості роботи: частота однонасінної подачі – 99,34%, частота двонасінної подачі – 0,13%, частота нульової подачі – 0,53%. На основі трьохфакторного експерименту побудовано адекватну математичну модель у вигляді рівняння регресії, яке встановлює залежність параметра оптимізації a_1 – частоти однонасінної подачі насіння сої дозувальними елементами – від діаметра отворів для виходу повітря з дозувальних елементів, частоти обертання висівного диска та тиску в нагнітальній камері.

Результати лабораторно-польового дослідження підтвердили, що застосування апарата з нагнітальним повітряним потоком у поєднанні з експериментальним висівним диском дає змогу збільшити робочу швидкість посівного агрегату з 5,4 до 9 км/год, забезпечуючи якісний висів насіння (коефіцієнт варіації 24,7%).

Ключові слова: соя, висівний апарат, модель, насіння, тиск, отвір, частота обертання.

ANNOTATION

Darmohrai Maksym Mykhailovych. Optimization of Operating Modes and Parameters of the Seed Metering Device for Soybean Seed Dosing. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

In the master's thesis, based on the analysis of the functional and schematic diagrams of seed metering devices, the proposed design was synthesized. With an air-outlet hole diameter in the metering elements of the seed disc of 4.3 mm, an excess pressure in the seed chamber of the metering device of 4.0 kPa, and a seed disc rotational speed of 2.0 s^{-1} , the device ensures the following performance indicators: single-seed delivery rate – 99.34%, double-seed delivery rate – 0.13%, zero-delivery rate – 0.53%. Based on a three-factor experiment, an adequate mathematical model in the form of a regression equation was constructed, establishing the dependence of the optimization parameter a_1 – the single-seed delivery rate of soybean seeds by the metering elements – on the diameter of the air-outlet holes in the metering elements, the rotational speed of the seed disc, and the pressure in the pneumatic chamber.

The results of laboratory and field tests confirmed that the use of a pneumatic seed-metering device in combination with the experimental seed disc makes it possible to increase the operating speed of the seeding unit from 5.4 to 9 km/h while maintaining high sowing quality (coefficient of variation 24.7%).

Keywords: soybean, seed metering device, model, seeds, pressure, hole, rotational speed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ПОСІВУ НАСІННЯ СОЇ.....	8
1.1. Аналіз конструкцій сівалок для просапних культур.....	8
1.2. Аналіз конструкцій і процесу роботи висівних апаратів з використанням нагнітального повітряного потоку.....	15
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
2.1. Конструкція та функціонування запропонованого висівного апарату.....	24
2.2. Методика експериментальних досліджень висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком у лабораторних умовах.....	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИСІВНОГО АПАРАТА НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ.....	35
3.1. Результати експериментальних досліджень висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком у лабораторних умовах.....	35
3.2. Результати польового експерименту.....	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Найбільш перспективним шляхом підвищення виробництва сої є поліпшення якості посіву. Якісний поштучний висів насіння сої ускладнений через високу норму висіву (від 200 000 до 1 000 000 шт./га) [2]. В Україні пунктирний посів сої виконують просапними пневмовакуумними сівалками за робочої швидкості руху сівалки по полю близько 5 км/год. При підвищенні швидкості висіву якість дозування насіння різко знижується [3].

Добре зарекомендували себе під час висіву насіння з великими нормами висіву висівні апарати, що використовують нагнітальний повітряний потік. В Україні розпочинається промислове виробництво вітчизняних дозаторів з нагнітальним повітряним потоком [6]. Тому їх удосконалення та адаптація для якісного дозування насіння сої, а також обґрунтування робочих режимів і параметрів є актуальним завданням, вирішення якого може забезпечити проведення посіву сої на робочих швидкостях до 9 км/год.

Аналіз літературних джерел і патентно-інформаційних матеріалів показав, що під час сівби насіння сої доцільно застосовувати пневматичні сівалки точного висіву. Проте під час експлуатації цих машин на робочих швидкостях понад 8 км/год відбувається зниження якості дозування насіння, що призводить до недобору частини врожаю. У зв'язку з цим для забезпечення якісного дозування насіння сої висівним апаратом на основі використання нагнітального повітряного потоку необхідно визначити параметри та режими його роботи на робочих швидкостях до 9 км/год, попередньо удосконаливши функціональну та принципову схеми апарата.

Мета роботи: підвищення якості дозування насіння сої висівним апаратом з нагнітальним повітряним потоком та оптимізація його параметрів і режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- провести аналіз конструкцій існуючих сівалок для пунктирного висіву та пневматичних висівних апаратів, сформулювати напрями подальшого вдосконалення їх конструкцій і процесу роботи;
- удосконалити функціональну та принципову схему висівного апарата поштучного висіву насіння сої з нагнітальним повітряним потоком;
- визначити раціональні параметри та режими роботи удосконаленого висівного апарата поштучного висіву під час дозування насіння сої з урахуванням їх фізико-механічних властивостей;
- провести виробничу перевірку посіву насіння сої удосконаленим висівним апаратом поштучного висіву.

Об'єкт досліджень – процес поштучного дозування насіння сої висівним апаратом з нагнітальним повітряним потоком.

Предмет досліджень – закономірності впливу параметрів і режимів роботи апарата поштучного висіву, який використовує нагнітальний повітряний потік, на поштучне дозування насіння сої.

Методи наукового дослідження. Експериментальне дослідження апарата поштучного висіву проведено з використанням класичних методик планування експериментів. Результати експериментального дослідження були оброблені на основі методів математичної статистики.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., Дармограй М.М., Кусковський О.П., Пархомчук М.П. Аналіз конструкцій сівалок для просапних культур. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

2. Куликівський В.Л., Дармограй М.М., Зінченко Р.О. Конструкція та функціонування запропонованого висівного апарату. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської

механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 153-156.

3. Дармограй М. М. Аналіз сівалок для висіву сої. Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 8-11.

Практичну значущість мають: розроблений апарата з нагнітальним повітряним потоком у поєднанні з експериментальним висівним диском дає змогу збільшити робочу швидкість посівного агрегату з 5,4 до 9 км/год, забезпечуючи якісний висів насіння (коефіцієнт варіації 24,7%).

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок комп'ютерного тексту, містить 30 рисунків та 4 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ПОСІВУ НАСІННЯ СОЇ

1.1. Аналіз конструкцій сівалок для просапних культур

Посів – це операція, що є основною й водночас важливою складовою будь-якої технології вирощування сільськогосподарських культур. Від якості посіву та дотримання його строків залежать урожайність, собівартість вирощування культури, а отже, і прибутковість підприємства [21].

Просапні культури висівають таким чином, щоб була можливість проводити міжрядний обробіток ґрунту та виконувати операції з догляду за посівами. Міжрядні операції позитивно впливають на ріст і розвиток рослин, що, своєю чергою, сприяє підвищенню врожайності. Посів здійснюють агрегатами, до складу яких входять сівалки точного висіву, що забезпечують рівномірний розподіл насіння на необхідній площі живлення відносно одне до одного [21].

Просапні сівалки за принципом дії висівного апарата, тобто за способом «передачі» насіння в борозну, поділяються на механічні, пневматичні та пневмомеханічні [21].

В останні роки встановлено [1], що механічні дозувальні апарати негативно впливають на посівний матеріал, завдаючи травмуючої дії на робочих швидкостях понад 7 км/год, що є неприпустимим, оскільки призводить до зниження врожайності. Також визначено необхідність ретельного калібрування насіння за розміром для забезпечення якісного висіву цими апаратами [1].

Неможливість механічними апаратами якісно дозувати некаліброване насіння, низькі робочі швидкості посіву та травмування посівного матеріалу призвели до обмеженого використання цього виду техніки в Україні та за кордоном. У зв'язку з цим виробники посівної техніки переходять на виготовлення універсальних апаратів пневматичної дії [21].

У пневматичних висівних апаратах, що дають змогу висівати поодинокі насіння сої, застосовують розрідження повітря (вакуум) або його нагнітання під тиском. Для посіву просапних культур використовують сівалки, конструкційно подібні одна до одної, але такі, що суттєво відрізняються застосуванням різних вузлових деталей [21].

Розглянемо далі найпоширеніші в сучасному сільськогосподарському виробництві конструкції сівалок із надлишковим тиском [21].

Насамперед становить інтерес сівалка Great Plains моделі YP-825A виробництва США, що використовується для посіву просапних культур і має функцію подвійного висіву (рис. 1.1). На цій сівалці застосовуються висівні апарати точного висіву з використанням надлишкового тиску [21].

Конструкція сівалки – причіпна. Т-подібна рама виготовлена з профілю. Встановлено чотири опорні колеса та три тукові ящики. Сівалка оснащена вентилятором, який створює надлишковий тиск, ресивером, що згладжує перепади тиску в пневмосистемі, а також дисковими сошниками, колтерами й маркерними пристроями [21].

Привідні колеса обладнані шинами з протектором, які забезпечують мінімальний коефіцієнт буксування під час руху. Компактні розміри посівних секцій (рис. 1.2) дають змогу встановлювати мінімальні міжряддя до 20 см. Висівний апарат використовує надлишковий тиск для поштучної подачі насіння в дводисковий сошник. За допомогою сошника насіння загортається в ґрунт, а опорні котки покращують контакт насіння з ґрунтом і забезпечують дотримання заданої глибини загортання. V-подібні колеса загортаючих пристроїв ущільнюють ґрунт з боків насіння, а за допомогою механізму регулювання глибини загортання встановлюється необхідне значення. Секція кріпиться до рами за допомогою паралелограмного механізму, який дозволяє копіювати рельєф поля, зберігаючи вертикальне положення. Додаткове навантаження на сошник здійснюється завдяки встановленню у паралелограмний механізм

пружин. Установка грудковідвода запобігає забиванню сошника. Колтери потрібні для полегшення проникнення сошників у ґрунт [21].



Рис. 1.1. Сівалка точного висіву Great Plains YP-825A виробництва США.



Рис. 1.2. Посівна секція сівалки YP-825A [21].

Висівний апарат із надлишковим тиском виготовлено з використанням полімерних матеріалів. Застосування полімерів має низку переваг порівняно зі сплавами металів. Диск для дозування насіння має складну форму і також виготовлений із полімеру. Дозувальні елементи розташовані по краю диска таким чином, що насіння знаходяться між диском і корпусом апарата. Відокремлення насіння від диска відбувається в момент припинення контакту з корпусом [21].

Апарат працює таким чином (рис. 1.3) [21].

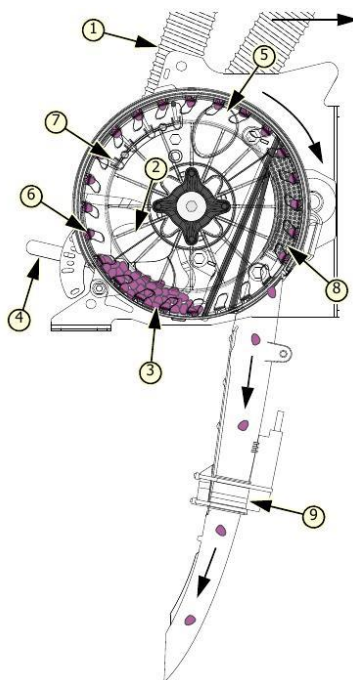


Рис. 1.3. Схема висівного апарата «Air-Pro®» сівалки YP-825A: 1 – пневмопровід; 2 – висівний диск; 3 – насіння; 4 – механізм регулювання; 5 – вікно подачі повітря; 6 – дозувальний елемент; 7 – щітковий скидач «зайвого» насіння; 8 – прокладка; 9 – датчик контролю висіву [21].

Насіння з герметичного бункера подається через регульований отвір у насінневу камеру. Під дією різниці між позитивним тиском у середині апарата та атмосферним тиском зовні насіння притискаються до дозувальних отворів 6 і далі транспортуються через триступеневий щітковий скидач зайвого насіння 7 до місця їх скидання у приймальну трубу. Пара щіток установлена для відокремлення насінневої камери від зони скидання насіння [21].

Сівалка Tempo F для висіву просапних культур від шведської компанії Väderstad також працює за принципом надлишкового тиску. Вона використовується для висіву таких культур, як:

- квасоля та горох;
- кукурудза та соняшник;
- одночасного внесення в ґрунт добрив і пестицидів (показано на рис. 4).



Рис. 1.4. Сівалка точного висіву VÄDERSTAD [21].

Сівалка являє собою причіпну машину з Т-подібною складною рамою складної конструкції. На ній розташовано центральний туковий бункер із механізмом дозування, опорні та копіювальні колеса, а також систему нагнітання повітря. За допомогою паралелограмного механізму до рами приєднано вісім посівних секцій [21].

На секціях встановлено: висівний апарат (рис. 5) із бункером, виготовленим із полімерного матеріалу; дводисковий сошник; ролик-уловлювач насіння в борозні; опорні котки великого радіуса та V-подібні колісні загортаючі пристрої. На опорних котках встановлено чистики. Привід висівного апарата здійснюється за допомогою електродвигуна, що дає змогу відмовитися від трансмісії та спростити технічне обслуговування. Додаткове навантаження на сошник забезпечується торсіоном або встановленням гідроциліндрів [21].



Рис. 1.5. Посівна секція сівалки Tempo F [21].

Високотехнологічний висівний апарат являє собою складну в проектуванні та виготовленні конструкцію. Більшість вузлів і механізмів виготовлено з полімерних матеріалів [21].



Рис. 1.6. Висівний апарат сівалки Tempo F.

Принципову схему роботи висівного апарата (рис. 1.6) можна описати таким чином [21]:

- висіване насіння надходить у камеру та притискається до комірок на висівному диску під дією надлишкового тиску;
- за допомогою роликового скидача видаляється зайве насіння;
- насіння транспортується до приймального пристрою, де ролик на контурі висівного отвору усуває надлишковий тиск;
- насіння потрапляє в приймальний пристрій, а потім через насіннєпровід — у борозну;
- насіннєва камера та приймальний пристрій відокремлені решіткою, що запобігає потраплянню зайвого насіння з потоком повітря.

Сівалка точного висіву EDX 6000-TC (рис. 1.7) причіпного типу від німецької компанії AMAZONE дає змогу:

- висівати кукурудзу, соняшник, сорго та ріпак;
- одночасно вносити в ґрунт добрива;
- працювати в агрегаті з тракторами III тягового класу.



Рис. 1.7. Сівалка EDX 6000-ТС.

Модель EDX 6000-ТС включає [21]:

- Т-подібну складну раму, що зменшує габарити машини до трьох метрів під час транспортування;
- туковий бункер, розташований у центрі конструкції (об'єм – 3000 літрів);
- бункер для насіння (об'єм – 600 літрів);
- насіннєвий дозатор барабанного типу;
- вісім висівних секцій;
- два опорні колеса;
- пристрій для розподілу добрив.

Висівні секції кріпляться до рами за допомогою паралелограмного механізму з гідравлічним догружувачем [21].

Також становить інтерес конструкція з централізованою висівною системою (рис. 1.8). Вона містить об'ємний бункер 1, що значно полегшує завантаження та розвантаження посівного матеріалу. Єдина висівна система з дозувальним барабаном 2 обслуговує всі сошники. Така схема усуває необхідність у ресивері, спрощує пневмосистему, полегшує регулювання норми висіву та положення скидачів, які видаляють «зайве» насіння [21].

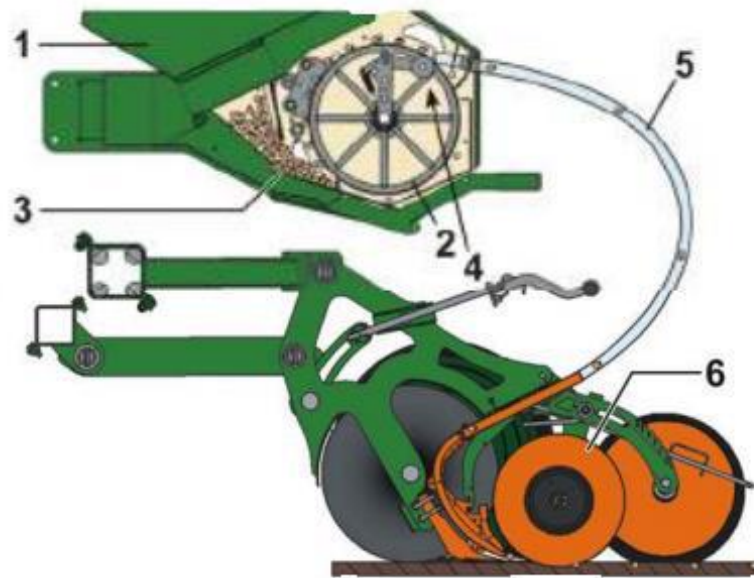


Рис. 1.8. Схема централізованої висівної системи сівалки EDX 6000-ТС.

Дозування насіння здійснюється за такою схемою. Завантажене в бункер 1 насіння після початку висіву під дією сили тяжіння потрапляє в насіннєву камеру. Тут на нього починає діяти надлишковий тиск, унаслідок чого насіння притискається до діаметрально розташованих комірок. Обертаючись, барабан 2 транспортує насіння до місця скидання у насіннєпровід 5 і під ролик 6. Для забезпечення подачі лише одного насінини до кожного отвору застосовується вилчастий скидач зайвого насіння. Приймальний пристрій являє собою трубку, у яку насіння разом із потоком повітря потрапляє після того, як ролик 4 перекриває дозувальний отвір [21].

Таким чином, розглянуті сівалки оснащені принципово різними висівними апаратами [21].

1.2. Аналіз конструкцій і процесу роботи висівних апаратів з використанням нагнітального повітряного потоку

У ПНУ було спроектовано пневматичний висівний апарат [147] (рис. 1.9). Апарат має корпус 1, канал нагнітання повітря 10, бункер 9, вертикальний висівний диск 3, забірний пристрій 6.

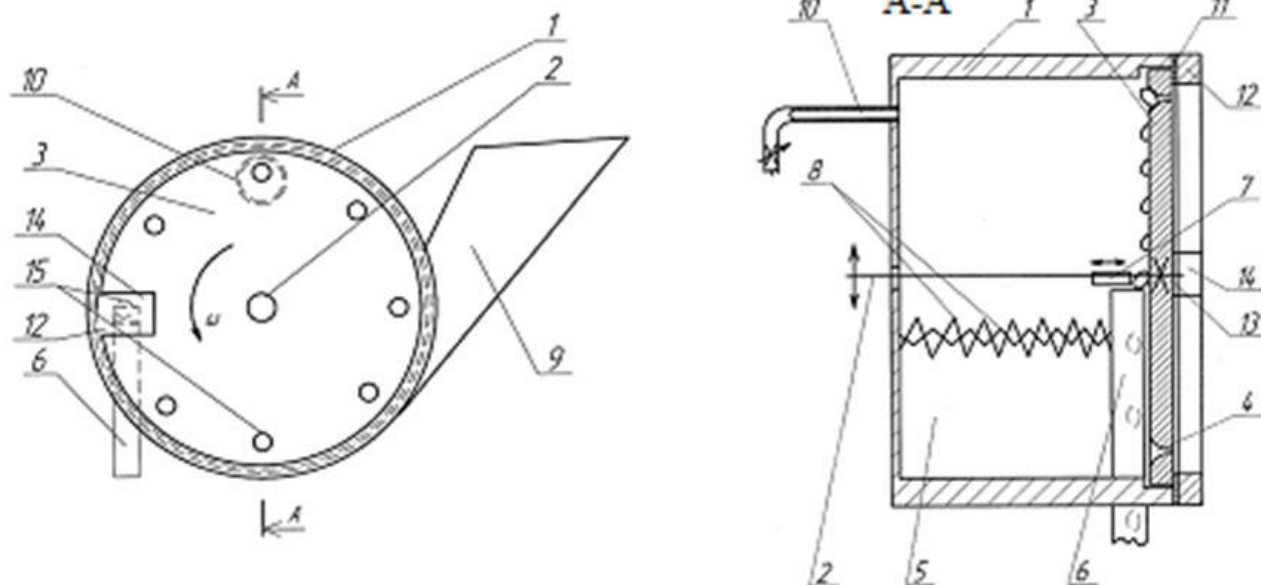


Рис. 1.9. Висівний апарат 1 – корпус; 2 – приводний вал; 3 – висівний диск; 4 – дозувальний елемент; 5 – насіннєва камера; 6 – трубка забірною пристрою; 7 – регулювальний механізм; 8 – пружний елемент; 9 – бункер; 10 – канал подачі повітря; 11 – прокладка; 12 – кришка; 13 і 14 – виступи; 15 – насіння.

Робочий процес дозування насіння даним апаратом є досить цікавим. Із бункера 9 насіння надходить у корпус, утворюючи шар насіння, що заповнює дозувальні елементи 4 диска 3. Одночасно в апарат подається повітря під тиском, яке сприяє заповненню дозувальних елементів насінням і винесенню їх із шару. Обертаючись, диск транспортує насіння до забірною пристрою 6, розташованого на колі обертання центрів дозувальних елементів, перед яким встановлено регулювальний механізм 7, за допомогою якого видаляються зайві насінини. Диск і кришка 12 герметизуються прокладкою 11; у них виконані симетричні виступи, що закривають вихідні отвори дозувальних елементів у зоні дії забірною пристрою, тим самим припиняючи дію різниці тисків усередині апарата та атмосфери. У цей момент відбувається відокремлення насіння від диска та їх транспортування повітряним потоком через трубку забірною пристрою. Трубка забірною пристрою також притискається до диска пружинами 8 для кращої стабілізації точки скидання.

Дана схема роботи апарата забезпечує підвищення інтенсивності обертання висівного диска. Завдяки цьому зростає робоча швидкість сівалки.

Недоліком цієї конструкції є ускладнене регулювання моменту скидання насінини в забірний пристрій, що призводить до нерівномірності дозування.

Вертикально-дисковий висівний апарат надлишкового тиску (рис. 1.10) складається з корпусу 1, висівного диска 3, закріпленого на приводі 2. Висівний диск герметизується прокладкою 11 і фіксується кришкою 12. Забірний пристрій 6 розташований у верхній частині корпусу паралельно приводному валу на радіусі розміщення дозувальних елементів 4. Співвісно із забірним пристроєм з протилежного боку диска встановлено ролик 13, який припиняє дію надлишкового тиску повітря в напірній камері 5. У нижній частині корпусу насіння, що надходить через впускний отвір у бункері 8, утворює насіннєву камеру 5 з сектором заповнення дозувальних елементів 10. Повітря під надлишковим тиском подається через канал 9 у корпус, одночасно видаляючи зайві насінини.

Принципова схема роботи пневматичного висівного апарата полягає в такому:

- насіння, що надходить із бункера 8, формує зону для заповнення дозувальних елементів 10;
- надлишковий тиск утворюється потоком повітря, яке подається нагнітачем через канал 9;
- завдяки різниці тисків насінини утримуються в дозувальних елементах 4 висівного диска 3 і під час його обертання переміщуються до забірного пристрою;
- у зоні дії забірного пристрою насіння відокремлюється від дозувального елемента і повітряним потоком через трубку 6 транспортується до сошника;
- момент відокремлення насіння забезпечується перекриттям отворів за допомогою ролика 12.

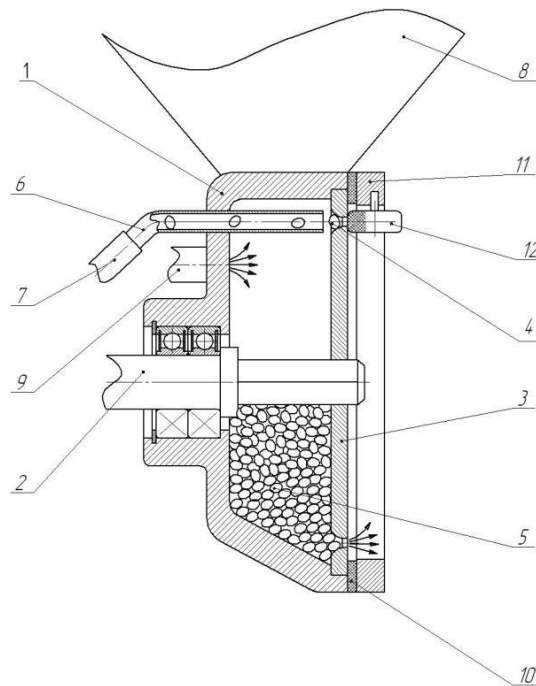


Рис. 1.10. Висівний апарат: 1 – корпус; 2 – приводний вал; 3 – висівний диск; 4 – дозувальний елемент; 5 – насіннєва камера; 6 – трубка забірного пристрою; 7 – насіннєпровід; 8 – бункер; 9 – канал подачі повітря; 10 – сектор заповнення дозувальних елементів; 11 – прокладка; 12 – ролик.

Оскільки зона дії забірного пристрою обмежена діаметром приймальної трубки, а зона дії ролика-відсікача обмежується площею його контакту з диском, то якісний відбір насіння з дозувальних елементів за високої частоти обертання висівного диска неможливий через надто швидкоплинний характер процесу.

Оригінальну конструкцію має висівний апарат надлишкового тиску (рис. 1.11). Він містить корпус, усередині якого вертикально розташовано висівний диск. Диск обертається на горизонтальному приводному валу та має дозувальні елементи 4. Внутрішня порожнина корпусу одночасно слугує насіннєвою камерою та камерою надлишкового тиску повітря. Повітря подається в камеру через канал подачі повітря. Забірний пристрій містить пневмонасіннєпровід 12, а диск герметизується за допомогою кришки, притиснутої прокладкою.

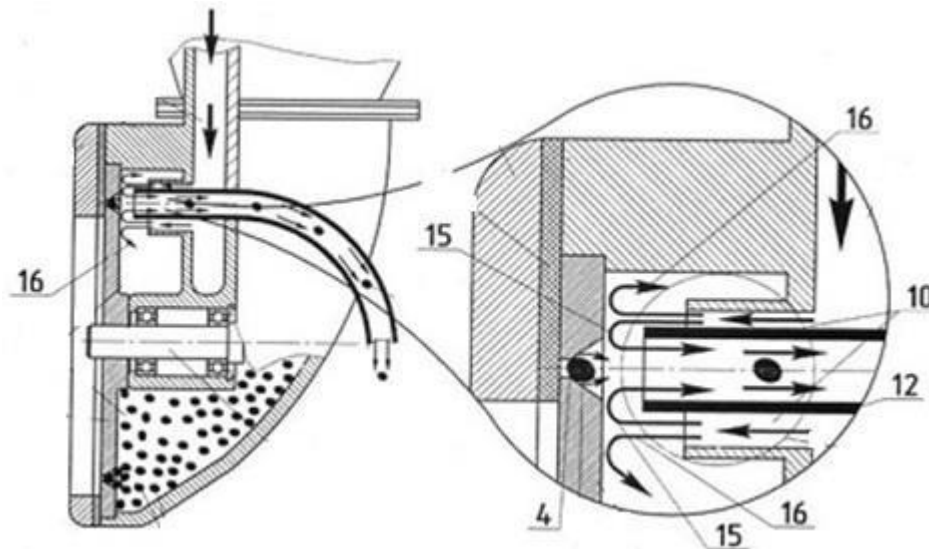


Рис. 1.11. Висівний апарат пневмонагнітального типу: 4 – дозувальний елемент; 10 – канал подачі повітря; 12 – пневмонасіннепровід; 15 – насіння; 16 – камера

У даній конструкції особливий інтерес становить процес відокремлення насінини від диска та реалізація конструкції забірної пристрою. У канал подачі повітря 10 інтегровано пневмонасіннепровід 12, розташований на одній осі та спрямований у бік диска. Принцип роботи ґрунтується на розподілі повітряного потоку та напору, створенні тиску в камері 16 і транспортуванні насіння 15 від диска через пневмонасіннепровід до сошника. Розділений потік повітря також сприяє видаленню «зайвих» насінин, що прикріпилися до одного дозувального елемента в момент їх підходу до забірної пристрою. Після цього лише одна насінина потрапляє в зону дії повітряного потоку в пневмонасіннепроводі. У момент забору насіння дія різниці тисків припиняється шляхом перекриття наскрізного отвору 6 дозувального елемента 4.

Якісна робота цього конструктивного рішення неможлива за високих частот обертання висівного диска. Причина полягає у необхідності змінити напрямок руху насінини на 90 градусів. Якщо висівний диск обертається зі збільшеною частотою, на насіння істотно зростає дія відцентрової сили, з якою повітряний потік 15 не встигає впоратися за настільки короткий проміжок часу.

Однак перевагою цього рішення є плавний і м'який вплив на насіння, що зменшує пошкодження висівного зерна.

На рис. 1.12 подано принципову схему багаторядних пневматичних висівних апаратів із надлишковим тиском. Цей апарат являє собою циліндричний корпус 1, по обидва боки якого на приводному валу 4 розміщено пару висівних дисків 5 і 6. У корпус введено канал 2 подачі повітря під тиском, горловину 3 для кріплення бункера і подачі насіння. По боках біля дисків встановлено забірні пристрої 7 і 8. Висівні диски 5 і 6 герметизуються двома прокладками 10 і фіксуються двома кришками 9, розташованими біля відповідних висівних дисків. Кожен висівний диск має по три ряди дозувальних елементів і, відповідно, по три ряди патрубків забірних пристроїв.

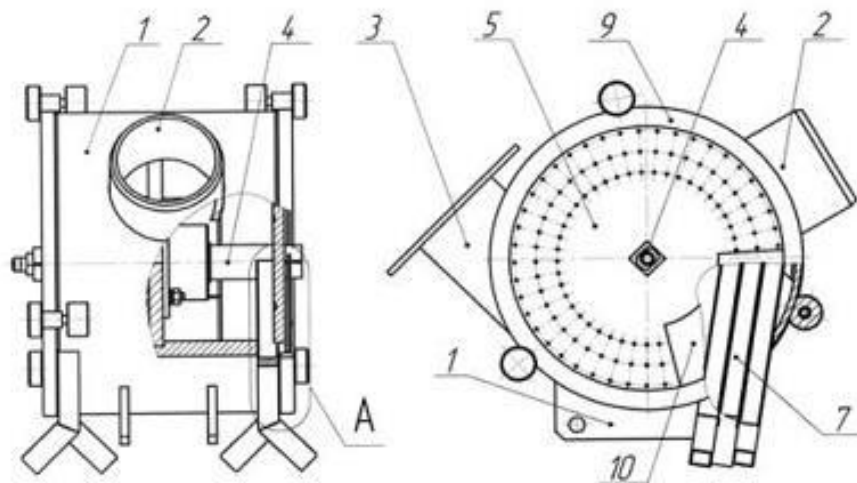


Рис. 1.12. Висівний апарат.

Робота висівного апарата полягає в такому. Насіння з бункера (не показаний) через горловину 3 надходить у корпус 1 і заповнює дозувальні отвори висівних дисків 5 і 6. Також через канал 2 у корпус 1 подається повітря під тиском. Поток повітря, що виходить через отвори дозувальних елементів, насінини фіксуються в них. Під час обертання диски подають насіння до забірних пристроїв. У зоні дії забірних пристроїв прокладки 10 перекривають отвори дозувальних елементів, і насіння підхоплюється повітряним потоком, який надходить у трубки забірних пристроїв, після чого транспортується ним через насіннепроводи в сошник.

Патрубки забірних пристроїв мають значну зону захоплення насіння (рис. 1.13) і розташовані дотично до траєкторії руху насінин. Ці конструктивні рішення дають змогу якісно відбирати насіння з дозувальних елементів за підвищених частот обертання висівних дисків і, як наслідок, забезпечують високі робочі швидкості посівного агрегату.

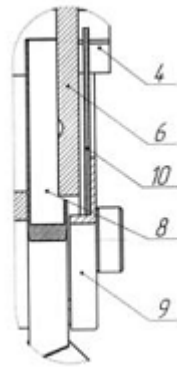


Рис. 1.13. Забірний пристрій висівного апарата: 4 – приводний вал; 6 – висівний диск; 8 – трубки забірного пристрою; 9 – кришка; 10 – прокладка

Багаторядність цього апарата зумовлює низку недоліків. За такої схеми важко забезпечити та контролювати рівномірність подачі насіння. Висів великих насінин, таких як кукурудза або рицина, буде неможливим, оскільки потрібен більший сектор заповнення дозувальних елементів, що сприяє потраплянню зайвих насінин у забірний пристрій. Крім того, великі насінини зумовлюють збільшення міжосьових відстаней між дозувальними елементами та трубками забірних пристроїв, що неможливо реалізувати без зміни конструкції.

Особливої уваги заслуговує висівний апарат, зображений на рис. 1.14. Він складається з циліндричного корпусу 1, по обидві сторони якого на приводному валу 5 розташована пара висівних дисків 2 і 3. На периферії дисків 2 і 3 виконано отвори 4, які слугують для штучного дозування. У корпус введено канал 9 подачі повітря під тиском, горловину 8 для кріплення бункера та подачі насіння. Корпус 1 поєднує в собі насіннєву камеру 6, утворену шляхом подачі в неї насіння з герметичного бункера, і камеру повітря під тиском 7. Біля дисків установлені забірні пристрої 13 і 14, до яких кріпляться відсікаючі пластини 15 і 16. Висівні диски 2 і 3 герметизуються двома прокладками 17 і 18 та фіксуються двома

кришками 19 і 20, розташованими біля відповідних висівних дисків. У впускному вікні 8 корпусу 1 встановлено склепінювач 10. Кожен диск на приводному валу 5 має воружники насіння 11 і 12. Процес дозування в цьому апараті полягає в такому. Насіння, потрапляючи в корпус 1, утворює певний сектор заповнення дозувальних отворів 4 і заповнює їх. Диски 2 і 3 обертаються від насіннєвої камери 6 до забірних пристроїв 13 і 14. Насіння, що перебуває в дозувальних елементах, утримується завдяки різниці тисків усередині корпусу та атмосфери й транспортується до забірних пристроїв 13 і 14. Відсікаючі пластини 15 і 16 запобігають потраплянню зайвих насінин у забірні пристрої 13 і 14. Прокладки 17 і 18 мають виступи в зоні забірних пристроїв, які перекривають отвори дозувальних елементів, тим самим перериваючи дію різниці тисків. У цей момент у забірних пристроях насіння підхоплюється повітряним потоком і транспортується в сошник. Склепінювач 10, що приводиться в дію одночасно з висівними дисками 2 і 3, запобігає заклинюванню насіння у впускному вікні 8. Воружники насіння 11 і 12, які працюють разом із дисками 2 і 3, усувають заклинювання насінин у насіннєвій камері 6.

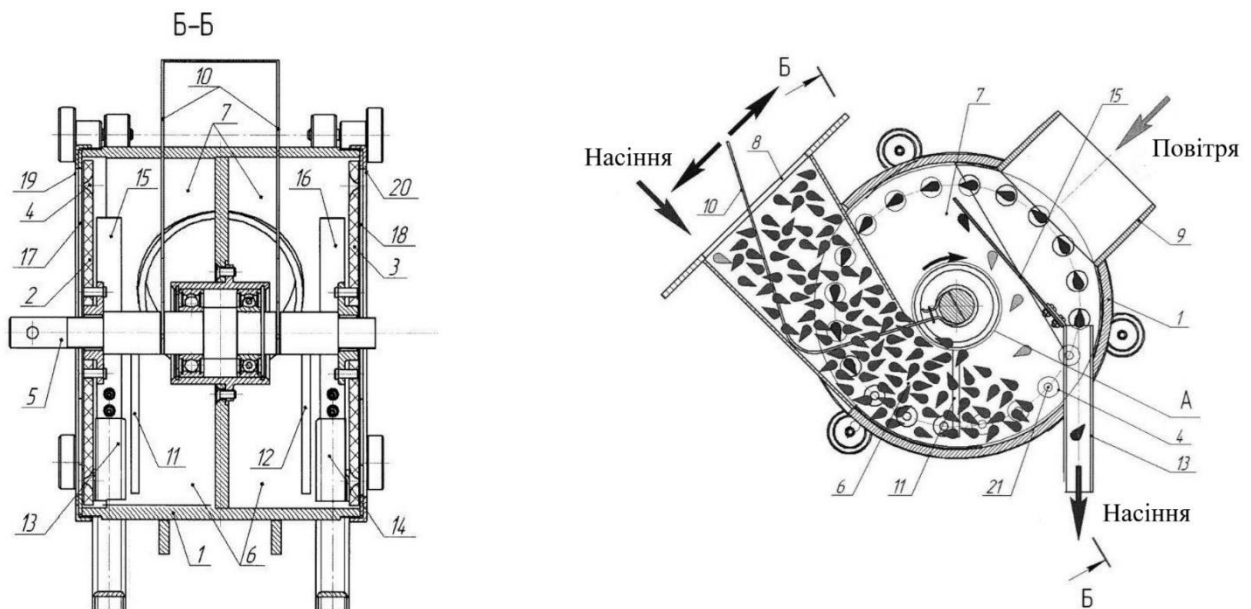


Рис. 1.14. Висівний апарат: 1 – циліндричний корпус; 2, 3 – висівні диски; 4 – отвори; 5 – приводний вал; 6 – насіннєва камера; 7 – камера повітря під тиском; 8 – горловина; 9 – канал подачі повітря; 10 – склепінювач; 11, 12 –

ворушники насіння; 13, 14 – забірні пристрої; 15, 16 – відсікаючі пластини; 17, 18 – прокладки; 19, 20 – кришки

Однак і цей апарат не забезпечує високої якості висіву сої за підвищених робочих швидкостей.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Конструкція та функціонування запропонованого висівного апарату

На основі конструкції прототипу була розроблена необхідна для якісного дозування насіння сої конструкція висівного апарату, що використовує нагнітаючий повітряний потік (рис. 2.1). Особливості запропонованої конструкції апарату такі: апарат здійснює дозування насіння в два ряди використання герметичного бункера; дозуючим елементом є поглиблення з отвором для проходу повітря з елемента у висівному диску [22].

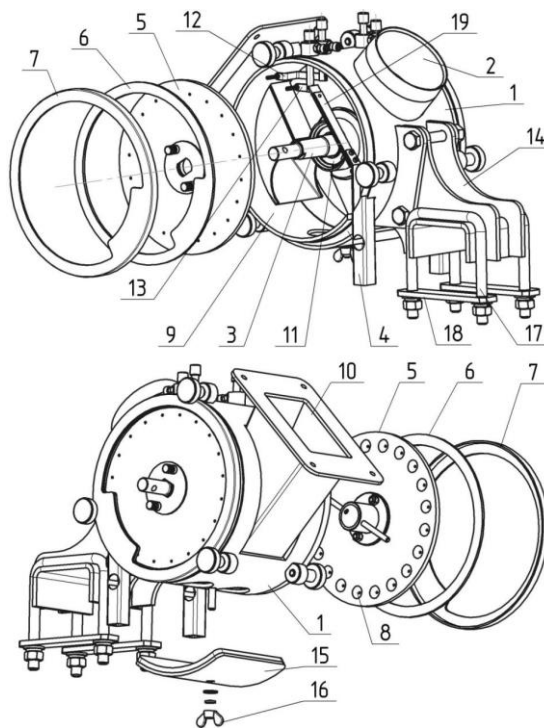


Рис. 2.1. Схема експериментального висівного апарату: 1 – корпус; 2 – патрубок; 3 – вал; 4 – забірний пристрій; 5 – висівний диск; 6 – прокладка; 7 – кришка; 8 – дозуючий елемент; 9 – нагнітальна камера; 10 – горловина; 11 – корпус підшипника; 12 і 13 – скидачі; 14 – кронштейн; 15 – люк вивантажний; 16 – гайка; 17 – хомут; 18 – планка; 19 – захисний екран [22].

Апарат складається зі сталевого зварного корпусу 1 циліндричної форми з круглим отвором і встановленого в ньому патрубку 2 подачі повітря. З іншого боку корпусу розташований прямокутний отвір зі зварною горловиною 10, що служить для кріплення бункера і подачі в апарат насіння. З обох сторін корпусу апарату 1 встановлені забірні пристрої 4. Висівні диски 5 встановлюються на приводний вал 3 і герметизуються прокладками 6, а фіксуються кришками 7. На висівних дисках 5 по периферії виготовлені дозуючі елементи 8. Для запобігання потрапляння зайвого насіння в забірні пристрої встановлений захисний екран 19. У верхній частині апарату зверху і знизу від лінії руху дозуючих елементів розташовані верхній 12 і нижній 13 скидачі зайвого насіння. Об'єм, укладений в корпусі між висівними дисками, утворює нагнітальну камеру 9. Приводний вал 3 в корпусі підшипників 11 передає обертальний рух висівним дискам 5. Для видалення насіння з апарату в нижній частині корпусу є вивантажний люк 15. Монтаж апарату здійснюється шляхом установки на раму за допомогою кронштейна 14, хомутів 17 і планки 18 [22].

На основі аналізу конструкцій і функціональних схем пневматичних висівних апаратів, а також теоретичних і практичних аспектів у галузі точного дозування насіння, запропоновано функціональну схему висівного апарату, що використовує нагнітаючий повітряний потік [22].

Далі викладемо принцип роботи пропонованого висівного апарату (рис. 2.2). Через горловину 10 з бункера соя (рис. 2.1) рухається в нагнітальну камеру 9 корпусу 1. Це місце заповнення дозуючих елементів 8 висівних дисків 5. У той же час, в нагнітальну камеру 9 корпусу 1 апарату по патрубку 2 подається стиснене повітря від вентилятора. При цьому починає обертатися висівний диск 5 (рис. 2.1), і соя під тиском повітря і насіння заповнює дозуючі елементи 8. Насіння в дозуючих елементах рухається (малюнок 2.2) назустріч потоку Б насіння з бункера (не показано). У цей час вони впливають на насіння, що розташоване поруч. Це надає їм швидкість, яка близька до швидкості руху

дозуючих елементів і впорядковує їх для гарантованого захоплення наступними елементами.

Заповнені дозуючі елементи 8 (рис. 2.1) доставляють насіння до забірного пристрою 4 (рис. 2.1). У цей час щітки верхнього 12 і нижнього скидачів 13 (рис. 2.1) прибирають зайве насіння (щітки 2 і 3 на рис. 2.2) [22].

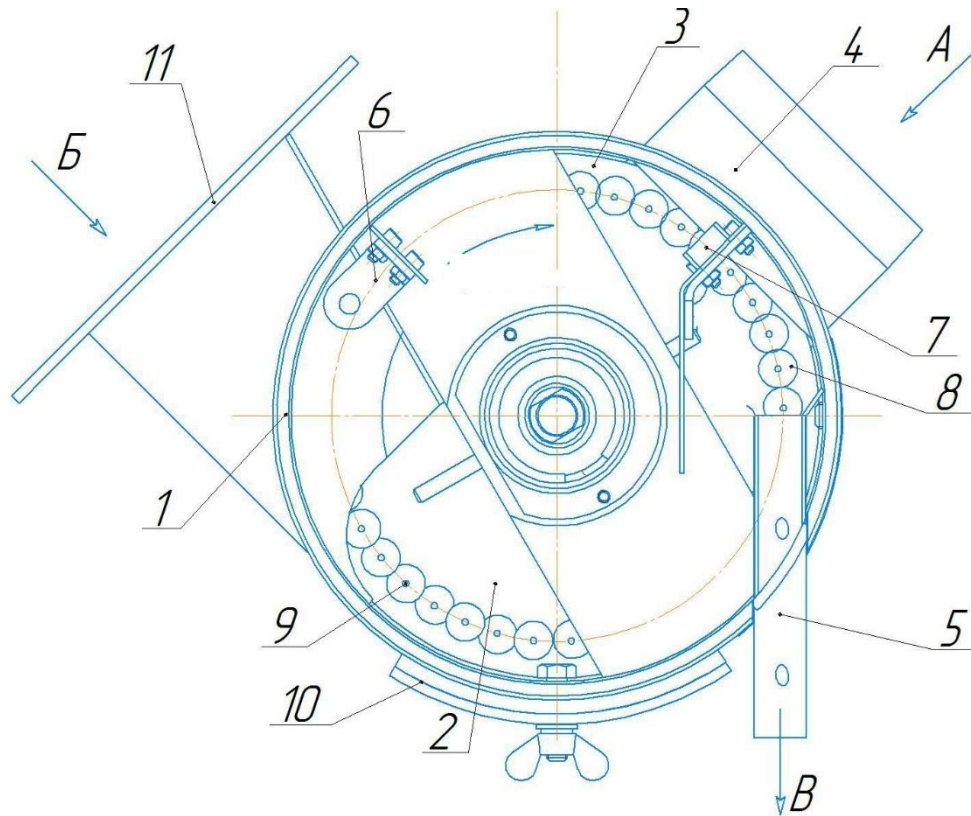


Рис. 2.2. Функціональна схема апарату: А – напрямок руху повітря; Б – напрямок руху насіння; В – напрямок руху насіння від забірного пристрою до сошника; 1 – корпус; 2 – зона заповнення дозуючих елементів; 3 – висівний диск; 4 – патрубок подачі повітря; 5 – трубка забірного пристрою; 6 – очисник; 7 – екран; 8 – дозуючий елемент; 9 – отвір для виходу повітря з дозуючого елемента; 10 – кришка скидного люка; 11 – горловина подачі насіння [22].

Насіння з елементів виходить біля входу в пристрій 4. Цей процес показаний на рис. 2.3. Для цього ущільнювальна прокладка 6 повинна закривати кожен раз отвір для виходу повітря 3 з елемента висівного диска. Це допомагає усунути витік повітряної маси і припиняє дію аеродинамічної сили. Після цього за допомогою потоку повітря 4 насіння потрапляє в трубку 5 забірного пристрою.

Щоб зайва кількість насіння не потрапила в пристрій 5, встановлений захисний екран 1 (показано на рис. 2.2) [22].

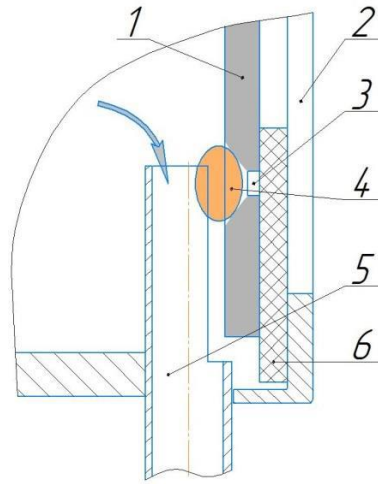


Рис. 2.3. Схема забірного пристрою. 1 – висівний диск; 2 – корпус; 3 – отвір дозуючого елемента; 4 – насіння; 5 – трубка забірного пристрою; 6 – прокладка.

Даний пристрій розвантажує насіння з елементів диска при швидкій роботі. Такий апарат дає можливість забезпечити високу норму посіву і продуктивність при підвищеній швидкості роботи [22].

Найважливішим етапом роботи апарату є фіксація одного насіння в дозуючому елементі. Для успішного виконання даного завдання треба виявити діапазон необхідних тисків повітря в корпусі апарату, а також встановити від яких параметрів і режимів роботи цей діапазон залежить [22].

2.2. Методика експериментальних досліджень висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком у лабораторних умовах

Під час проведення дослідів у лабораторії використовувалося таке обладнання: універсальний комп'ютеризований комплекс для досліджень висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком, комп'ютер, висівний апарат з нагнітальним повітряним потоком із прозорими висівними дисками, комплект прозорих експериментальних висівних дисків, напоромір повітряного потоку ТмМП-100, високошвидкісна відеокамера GoPro 7.

Для дослідження процесу фіксації одиначної насінини з шару насіння було використано комп'ютеризований комплекс для випробування висівних апаратів, до складу якого входять: стенд (рис. 2.4), повітряна нагнітальна установка (рис. 2.5), інформаційно-вимірювальна апаратура (рис. 2.6) та висівний апарат (рис. 2.7).



Рис. 2.4. Стенд для дослідження висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком

Нагнітальна установка, представлена на рис. 2.5, включає в себе ексгаустер, електродвигун постійного струму, клинопасову передачу та пульт керування. Ексгаустер за допомогою повітропроводу з'єднаний з висівним апаратом.



Рис. 2.5. Нагнітальна установка

Інформаційно-вимірювальна апаратура, показана на рис. 2.6, містить такі елементи: комп'ютер, високошвидкісну відеокамеру, секундомір, механічний лічильник кількості обертів, напоромір ТмМП-100.



Рис. 2.6. Інформаційно-вимірювальна апаратура.



Рис. 2.7. Висівний апарат з нагнітальним повітряним потоком

З розвитком цифрової техніки з'явилася можливість відмовитися від громіздкої фіксувальної апаратури (фото- та пьезометричних датчиків) і використовувати високошвидкісну мінівідеокамеру GoPro (рис. 2.8), яка дає змогу здійснювати швидкісну відеозйомку. Записаний на високошвидкісну камеру експериментальний процес дозування насіння сої оброблявся за

допомогою комп'ютерної програми Adobe Premiere Pro CC. Ця програма сповільнює швидкість відтворення відеозапису у 10 разів (рис. 2.9), що дає можливість візуально та якісно оцінити кількість насіння в кожному дозувальному елементі під час дозування насіння сої апаратом із нагнітальним повітряним потоком.



Рис. 2.8. Розташування високошвидкісної мінівідеокамери в апараті.



Рис. 2.9. Стоп-кадр за допомогою програми Adobe Premiere Pro CC у процесі фіксації дозування насіння

На рис. 2.10 подано схему використаного комп'ютеризованого комплексу. Цей комплекс застосовано для дослідження висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком.

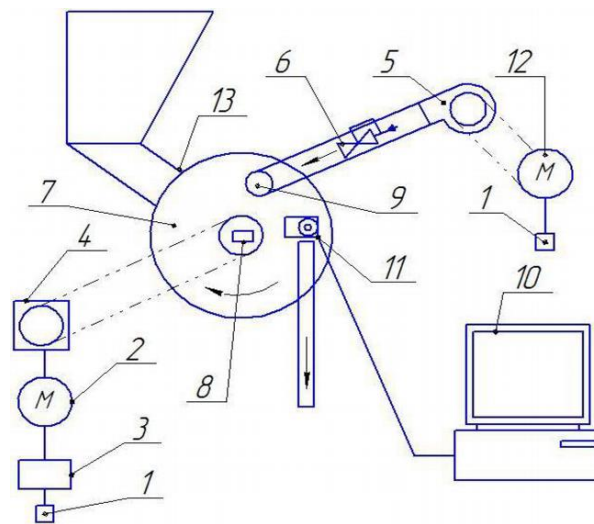


Рис. 2.10 Принципова схема універсального комп'ютеризованого комплексу для дослідження висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком

Обладнання для вивчення висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком (рис. 2.10) включає такі компоненти: висівний апарат 13 з нагнітальним повітряним потоком; механізм приводу висівних дисків, що складається з електродвигуна 2 і резистора 3, необхідного для зміни кількості обертів; повітряну нагнітальну установку, що містить електродвигун постійного струму 12, вентилятор 5 і з'єднувальні елементи.

Елементи контролю та фіксації комплексу: механічний лічильник кількості обертів 8, напоромір 9, високошвидкісна відеокамера 11, персональний комп'ютер (ПК) 10 та пристрій для приймання насіння.

Режими роботи досліджуваного апарата задаються роботою електродвигунів постійного струму 2 і 12, підключених до джерела живлення 1. Частота обертання електродвигуна 2 регулюється за допомогою резистора 3 відповідно до необхідної частоти обертання висівного диска 7. Тиск у нагнітальній камері регулюється за допомогою механізму скидання повітря 6, встановленого перед ресивером, до потрібної величини.

Необхідна частота обертання висівного диска визначається за допомогою механічного лічильника кількості обертів 8. Тиск у камері апарата контролюється напороміром 9.

Досліджувався набір експериментальних висівних дисків (рис. 2.11) з раціональними параметрами.

Кількість отворів на висівному диску становить 40 штук, тому для проведення однієї повторності досліду потрібно 12,5 обертів висівного диска.



Рис. 2.11. Набір експериментальних висівних дисків.

Під час експерименту реєстрація кількості дозувальних елементів, пропусків, одиничних та подвійних подач у процесі дозування насіння сої здійснюється за допомогою високошвидкісної відеокамери (рис. 3.8). Запис експериментальних даних обробляється на персональному комп'ютері з використанням програми Adobe Premiere Pro CC. Завдяки функції уповільнення відтворення відзнятого відеоматеріалу ця програма дає можливість якісно оцінювати процеси, що відбуваються в апараті (рис. 3.9).

Фактори, що впливають на процес дозування насіння апаратом з нагнітальним повітряним потоком:

- кутова швидкість руху дозувальних елементів;
- розмір зовнішнього отвору елементів диска;
- тиск повітря в апараті;

- фізичні та механічні властивості використовуваного насіння;
- кількість насіннєвого матеріалу в бункері;
- розташування необхідних елементів на висівному диску;
- орієнтація висівного апарата у просторі.

Подача насіння апаратом фіксується за допомогою відеокамери GoPro. За допомогою персонального комп'ютера з програмою Adobe Premiere Pro відзнятий відеоматеріал уповільнюється, після чого візуально здійснюється підрахунок насінин у дозувальних елементах (рис. 2.9). Тиск повітря в камері апарата контролюється за допомогою мембранного напороміра, а кількість обертів висівного диска – механічним лічильником. Реєстрація насіння в дозувальних елементах у кожному досліді проводиться тричі по 500 дозувальних елементів. Точність дослідів має відповідати рівню значущості менше п'яти відсотків.

Польове дослідження проведено у виробничих умовах. Сівалка СПВ-870 агрегується з трактором тягового класу 1,4–3 (рис. 2.12). На сівалці необхідно почергово встановити серійні та експериментальні висівні диски, а також раціональні режими роботи (норму висіву насіння, величину тиску, глибину загортання насіння). Необхідно виконати посів на довжині маршруту сівалки не менше 250 м.



Рис. 2.12. Посівний агрегат для проведення польового дослідження

Оцінювання якості роботи дозувальних модулів сівалки СПВ-870 із серійними та експериментальними висівними дисками в польових умовах виконано за такими показниками:

- середня величина відстані між сходами рослин (у сантиметрах);
- середнє відхилення від середньої довжини між сходами рослин (у сантиметрах);
- коефіцієнт варіації (у відсотках);
- відсоток відносної помилки під час проведення досліду;
- середня врожайність (центнерів з гектара).

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИСІВНОГО АПАРАТА НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ

3.1. Результати експериментальних досліджень висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком у лабораторних умовах

Експериментальні дослідження проведено на комп'ютеризованому комплексі висівного апарата з нагнітальним повітряним потоком з метою фіксації насіння в дозувальному елементі.

Під час дослідження також враховано досвід раніше виконаних експериментальних робіт [2–4].

На основі аналітичного аналізу було встановлено, що основними факторами, які впливають на показники якості висіву, є:

- частота обертання;
- надлишковий тиск;
- діаметр отвору;
- фізико-механічні показники насіння.

Найбільший вплив у цих експериментах [1] мають перелічені вище фактори, що визначають особливості роботи апарата.

У таблиці 3.1 наведено прийняті рівні та фактори варіювання типу ПФЕ 2^3 у трьохфакторному повному експерименті [1].

У табл. 3.1 за матрицею досліду ПФЕ 2^3 подано послідовності, що мають випадковий характер; таким чином, вони були рандомізовані. У таблиці випадкових чисел враховано такі послідовності дослідів: 2-й, 5-й, 8-й, 1-й, 3-й, 7-й, 4-й, 6-й.

Таблиця 3.1 – Позначення та рівні факторів

Рівні \ Фактори	Діаметр дозуючого елемента	Частота обертання висівного диска	Надлишковий тиск у камері
Натуральне позначення	$d, \text{мм}$	$n, \text{с}^{-1}$	$p, \text{кПа}$
Верхній	4,3	2	6
Основний (нульовий)	3,7	1,5	5
Нижній	3,1	1	4
Кодоване позначення	x_1	x_2	x_3
Верхній	+1	+1	+1
Основний (нульовий)	0	0	0
Нижній	-1	-1	-1

Високий рівень точності результатів у межах проведеного дослідження [8] засвідчив, що в кожному з експериментів було зареєстровано 1500 подач. У кожній повторності – по 500 подач, а повторення дослідів виконувалося тричі. Як критерій оптимізації було прийнято a_1 – частоту односемянної подачі насіння дозувальними елементами.

Використовуючи матрицю планування для трьохфакторного повного експерименту та виконавши обробку даних, було побудовано математичну статистичну модель у кодованому вигляді:

$$Y = 0,9688 + 0,0273X_1 - 0,0139X_2 + 0,0061X_3 + 0,0126X_1X_2 - 0,0064X_1X_3 + 0,0051X_2X_3 - 0,0034X_1X_2X_3. \quad (3.1)$$

Дане рівняння дає змогу встановити залежність між критерієм оптимізації – частотою односемянної подачі насіння дозувальними елементами Y , діаметром отворів для виходу повітря з дозувальних елементів висівного диска X_1 , частотою обертання висівного диска X_2 та величиною надлишкового тиску в камері X_3 .

Було виконано оцінювання однорідності дисперсії за критерієм Кохрена [2].

Значущість коефіцієнтів регресії та відповідна гіпотеза були підтверджені згідно з критерієм Стьюдента [27].

За допомогою критеріїв Фішера [27, 117, 130] було проаналізовано показники математичних моделей: $F_p = 87,059$, $F_{\text{табл}} = 3,03$. Встановлено, що модель є адекватною, оскільки $F_p \geq F_{\text{табл}}$.

Таким чином, були отримані рівняння відгуку перерізів поверхонь у натуральному та кодованому вигляді. Дане рівняння складено на основі геометричної інтерпретації математичної адекватної моделі.

Рівняння перерізів поверхні відгуку у кодованому вигляді:

$$Y = 0,9688 - 0,0139X_2 + 0,0061X_3 + 0,0051X_2X_3$$

(при $X_1 = 0$). (3.2)

$$Y = 0,9688 + 0,0273X_1 + 0,0061X_3 - 0,0064X_1X_3$$

(при $X_2 = 0$). (3.3)

$$Y = 0,9688 + 0,0273X_1 - 0,0139X_2 + 0,0126X_1X_2$$

(при $X_3 = 0$). (3.4)

Рівняння поверхні відгуку в натуральному вигляді:

$$a_1 = 0,99353 - 0,02665n - 0,00078p + 0,00255np$$

(при $d = 3,7 \text{ мм}$). (3.5)

$$a_1 = 0,82005 + 0,03608d + 0,01292p - 0,00267dp$$

(при $n = 1,5 \text{ с}^{-1}$). (3.6)

$$a_1 = 0,96375 + 0,007d - 0,05275n + 0,0105dn$$

(при $p = 5,0 \text{ кПа}$).

На зображенні 3.1–3.3 показано криві рівного відгуку дозувальних елементів однонасіневої подачі з однаковою частотою.

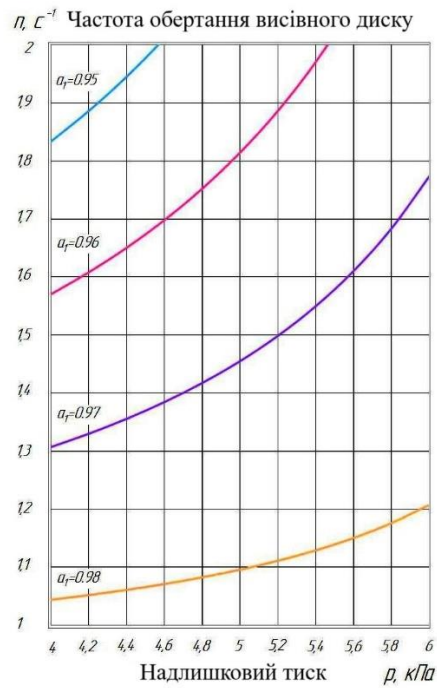


Рис. 3.1. Ізолінії частоти однонасіневої подачі насіння сої дозувальними елементами за постійного діаметра отворів для виходу повітря з дозувальних елементів висівного диска апарата $d = 3,7 \text{ мм}$ ($X_1 = 0$).

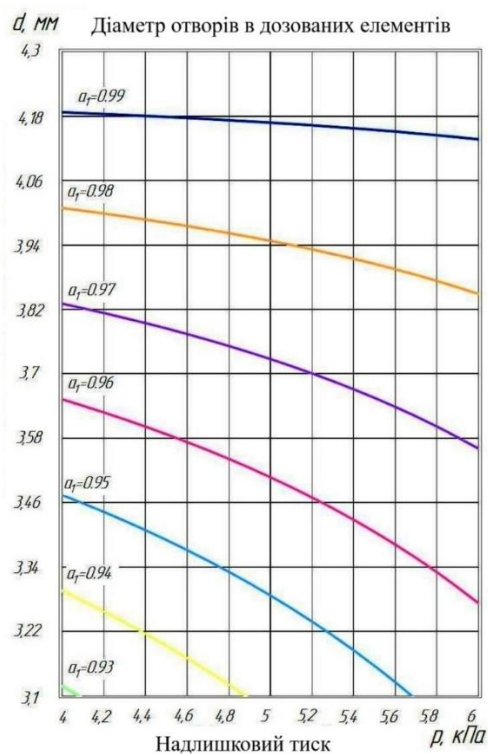


Рис. 3.2. Ізолінії частоти однонасіневої подачі сої дозувальними елементами за постійної частоти обертання висівного диска апарата $n = 1,5 \text{ с}^{-1}$ ($X_2 = 0$)

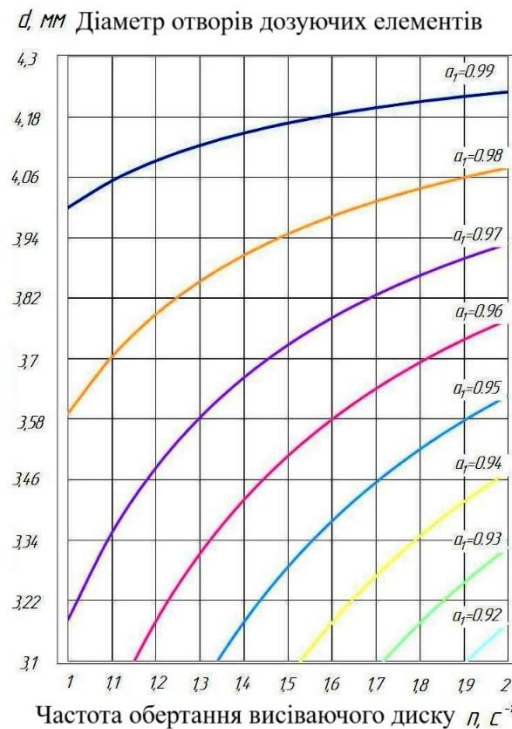


Рис. 3.3. Ізолінії частоти однонасіневої подачі сої дозувальними елементами висівного диска за постійного тиску в камері апарата $p = 5,0$ кПа ($X_3 = 0$).

Проведений аналіз даних цих рисунків дав змогу зробити такі висновки:

- зі збільшенням частоти обертання висівного диска від $1,0$ s^{-1} до $2,0$ s^{-1} частота односемянної подачі насіння дозувальними елементами зменшується;
- зі збільшенням надлишкового тиску в насіннєвій камері висівного апарата від $4,0$ до $6,0$ кПа частота односемянної подачі насіння дозувальними елементами зростає;
- зі збільшенням діаметра отворів для виходу повітря з дозувальних елементів висівного диска від $3,1$ до $4,3$ мм частота односемянної подачі насіння також збільшується;
- із трьох факторів (d , n , p) у досліджених межах найбільший вплив на частоту односемянної подачі сої має діаметр отвору для виходу повітря з дозувального елемента висівного диска, найменший — надлишковий тиск в апараті;

– при одночасному збільшенні діаметра отвору дозувального елемента від 3,1 до 4,3 мм і надлишкового тиску в апараті від 4 до 6 кПа, пропорційно їхнім інтервалам варіювання, частота односемянної подачі насіння дозувальними елементами підвищується з 0,929 до 0,997;

– при одночасному збільшенні частоти обертання висівного диска з 1,0 до 2 с⁻¹ і діаметра отвору для виходу повітря з дозувального елемента від 3,1 до 4,3 мм, пропорційно їхнім інтервалам варіювання, частота односемянної подачі насіння збільшується з 0,967 до 0,993;

– при одночасному збільшенні частоти обертання висівного диска з 1,0 до 2 с⁻¹ і надлишкового тиску в апараті з 4 до 6 кПа, пропорційно їхнім інтервалам варіювання, частота односемянної подачі насіння дозувальними елементами зменшується з 0,993 до 0,975.

Найбільший інтерес для практичного застосування становить область двовимірних перерізів, розташована за ізолінією $a_1 = 0,97$, оскільки кількість нульових і подвійних подач разом становитиме 3%. Використовуючи синтезовану закономірність, обирають раціональні параметри роботи апарата з нагнітальним повітряним потоком для забезпечення необхідної частоти односемянної подачі насіння дозувальними елементами висівного диска.

На кафедрі проведено дослідження процесу дозування апаратом із нагнітальним повітряним потоком із використанням серійного та експериментального висівних дисків.

Умови проведення дослідження були такими:

1. положення висівного диска під час роботи апарата – вертикальне;
2. рівень насіння в бункері – 1/2;
3. вимкнений скидатель «зайвого» насіння;
4. використано некаліброване насіння сої сорту Комсомолка;
5. діаметр кола розташування всмоктувальних отворів – 160 мм;
6. діаметр всмоктувального отвору – 4,0 мм;
7. рівномірне розташування одного ряду всмоктувальних отворів.

Процес дозування в експериментальному дослідженні здійснювали за подачі дозувальних елементів – 34, 45 і 56 шт./с, що відповідало частотам обертання n висівного диска $1,03 \text{ с}^{-1}$, $1,37 \text{ с}^{-1}$ і $1,70 \text{ с}^{-1}$.

Дослідження процесу дозування апаратом із нагнітальним повітряним потоком із використанням серійного висівного диска проведено за тиску 3,5 кПа.

Експериментальний висівний диск апарата мав 40 дозувальних елементів, діаметр отворів для виходу повітря з дозувальних елементів – 4,3 мм, діаметр кола розташування дозувальних елементів – 160 мм, рівномірне розміщення дозувальних елементів в один ряд. Частота обертання n становила $0,85 \text{ с}^{-1}$, $1,13 \text{ с}^{-1}$, $1,40 \text{ с}^{-1}$, що відповідало секундній подачі q дозувальних елементів апаратом 34, 45, 56 шт./с.

Надлишковий тиск p під час дозування становив 4,5 кПа. Отже, у кожному з наведених висівних дисків переважає однакова подача дозувальних елементів під час проведення цього дослідження.

Показниками подачі насіння дозувальними елементами були:

a_0 – частота нульових подача, %;

a_1 – частота однонасінних подача, %;

a_2 – частота двонасінної подачі, %;

M – середня подача насіння дозувальними елементами апарата, шт.;

σ – середнє квадратичне відхилення подачі насіння дозувальними елементами апарата, шт.;

V – коефіцієнт варіації подачі насіння дозувальними елементами апарата, %.

Результати оброблення експериментальних досліджень наведено в таблиці 3.2.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити такі висновки:

– висівний апарат із серійним висівним диском забезпечує кількість одиничних подач насіння дозувальними елементами в межах від 90 до 97%. Так, за кількості дозувальних елементів у висівному диску 33 шт., частоти обертання

1,03 с⁻¹ (секундна подача 34 шт./с) та тиску 3,5 кПа, середня подача насіння дозувальними елементами становила $M = 0,98$ шт., а частота однонасінних подач $a_1 = 0,969\%$. При підвищенні частоти обертання до 1,70 с⁻¹ (секундна подача 56 шт./с) якість подачі насіння дозувальними елементами апарата з серійним висівним диском погіршується: середня подача M зменшується до 0,91 шт., частота однонасінних подач знижується до $a_1 = 90,4\%$, частота нульових подач зростає до $a_0 = 9,44\%$, коефіцієнт варіації V підвищується до 32,0%, що не відповідає агротехнічним вимогам;

Таблиця 3.2 – Характеристики подачі насіння сої висівними дисками

Висівний диск	k , шт.	n , с ⁻¹	q , шт./с	p , кПа	Частота подачі			M , шт.	σ , шт.	V , %
					a_0	a_1	a_2			
Серійний	33	1,03	34	3,5	0,025	0,969	0,006	0,98	0,183	18,4
Серійний	33	1,37	45	3,5	0,051	0,938	0,0111	0,96	0,243	25,4
Серійний	33	1,70	56	3,5	0,094	0,904	0,001	0,91	0,29	32,0
Експериментальний	40	0,85	34	4,5	0,002	0,996	0,002	1,0	0,065	6,55
Експериментальний	40	1,13	45	4,5	0,013	0,987	0,000	0,99	1,1	11,56
Експериментальний	40	1,40	56	4,5	0,020	0,980	0,000	0,98	1,5	15,38

– висівний апарат з експериментальним висівним диском порівняно з серійним забезпечує краще якість подачі насіння сої дозувальними елементами. Так, за кількості дозувальних елементів 40 шт., надлишкового тиску 4,5 кПа та частот обертання від 0,85 до 1,4 с⁻¹, що відповідає секундній подачі q від 34 до 56 шт./с, усі показники подачі насіння дозувальними елементами високі й відрізняються незначно. При найбільшій частоті обертання 1,4 с⁻¹ (56 шт./с) частота однонасінних подач становить $a_1 = 98\%$, частота двонасінних подач $a_2 =$

0%, частота нульових подач $a_0 = 2\%$, середня подача $M = 0,98$ шт., а коефіцієнт варіації $V = 15,38\%$;

– якісні показники подачі насіння дозувальними елементами серійного висівного диска при секундній подачі $q = 34$ шт./с та апарата з експериментальним диском при $q = 56$ шт./с є співставними. Це дозволяє збільшити швидкість висіву з 5,4 км/год до 9 км/год (при нормі висіву 500000 шт./га та міжрядді 0,45 м) без погіршення його якості.

3.2. Результати польового експерименту

Результати польового експерименту процесу посіву апаратом із нагнітальним повітряним потоком із використанням серійного та експериментального висівних дисків отримано в Житомирському районі з метою перевірки їх відповідності даним лабораторних досліджень (рисунок 4.8).



Рис. 3.4. Посів насіння сої.

У ході дослідження було встановлено переваги розподілу сої під час висіву апаратом із нагнітальним повітряним потоком за умови використання висівного

диска експериментального виконання з нормою висіву 22,5 шт./м при швидкості руху апарата 9 км/год. Коефіцієнт варіації при цьому становив 24,8%.

Коефіцієнт варіації під час висіву апаратом зі швидкістю посівного агрегату 5,4 км/год і за тієї ж норми висіву із застосуванням серійного висівного диска становив 29,1%.

У результаті посів сої апаратом із нагнітальним повітряним потоком та експериментальним висівним диском забезпечив підвищення врожайності цієї культури на 0,8 ц/га (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Результати польових досліджень.

Тип висівача	Середня відстань між рослинами, см	Середньоквадратичне відхилення, см	Коефіцієнт варіації, %	Похибка дослідження абсолютна, %	Похибка дослідження відносна, %	Середня урожайність, ц/га
Серійний	4,71	1,1	29,2	3,4	1,46	32,1
Експериментальний	4,48	0,7	24,7	2,7	1,01	32,9

Аналіз отриманих даних показує, що застосування апарата з нагнітальним повітряним потоком із використанням експериментального висівного диска дозволяє проводити посів на швидкості до 9 км/год.

Результати лабораторно-польового дослідження підтвердили, що використання апарата з нагнітальним повітряним потоком та експериментального висівного диска дає можливість підвищити робочу швидкість посівного агрегату з 5,4 до 9 км/год, зберігаючи якість висіву насіння (коефіцієнт варіації 24,8%).

Висновки по розділу.

Результатом проведеного дослідження ПФЕ 2³ є адекватна математична модель і математичне рівняння регресії. Це рівняння характеризує вплив діаметра отвору в дозувальному елементі для виходу повітря, тиску в камері нагнітання апарата та частоти обертання висівного диска на параметр оптимізації a_1 . Виявлені закономірності наочно подано в рівняннях та на графіках.

Серед основних факторів (p , n , d) найбільший вплив на частоту однонасінної подачі має діаметр отвору для виходу повітря з дозувального елемента висівного диска, а найменший — надлишковий тиск в апараті.

Для практичного застосування найбільший інтерес становлять ділянки двовимірних перерізів, що розташовані за ізолінією $a_1 = 0,97$, оскільки сума нульових і подвійних подач становить лише 3%.

Порівняльна оцінка середньої кількості висівного насіння експериментальним і серійним висівними дисками в лабораторних умовах свідчить, що співставні результати якісної подачі насіння серійним диском отримані при секундній подачі 34 шт./с, а експериментальним диском — при секундній подачі 56 шт./с. За норми висіву 500000 шт./га з міжряддям 0,45 м, секундну подачу серійного диска 34 шт./с можна реалізувати при робочій швидкості 5,4 км/год, тоді як експериментальний висівний диск за такої самої секундної подачі дозволяє підвищити швидкість посіву до 9,0 км/год.

Результати лабораторно-польового дослідження підтвердили, що застосування апарата з нагнітальним повітряним потоком та експериментального висівного диска дає змогу збільшити робочу швидкість посівного агрегату з 5,4 до 9 км/год за умови збереження якості висіву насіння (коефіцієнт варіації 24,7%).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результати аналітичного дослідження показали, що подальший розвиток конструкцій пневматичних висівних апаратів має бути спрямований на підвищення якості дозування насіння сої до таких показників: частота односем'яних подач $a_1 = 98\%$, частота двосем'яних подач $a_2 = 0\%$, частота нульових подач $a_0 = 2\%$, а також забезпечення робочої швидкості посіву до 9 км/год. Цим критеріям відповідають апарати поштучного висіву з нагнітальним повітряним потоком, оскільки вони використовують пневмомеханічні дозувальні елементи, які сприяють більш точному дозуванню насіння і забезпечують якісний висів за високої частоти обертання висівного диска. Це є необхідним для норм висіву від 200 000 до 1 000 000 шт./га.

Розроблені функціональна та принципова схеми апарата дали можливість синтезувати конструкцію, яка за діаметра отворів для виходу повітря з дозувальних елементів висівного диска 4,3 мм, надлишкового тиску в насіннєвій камері висівного апарата 4,0 кПа, частоти обертання висівного диска $2,0 \text{ с}^{-1}$ забезпечує такі показники якості роботи:

- частота однонасінної подачі – 99,34%,
- частота двонасінної подачі – 0,13%,
- частота нульової подачі – 0,53%.

На основі трьохфакторного експерименту типу ПФЕ 2^3 побудовано адекватну математичну модель у вигляді рівняння регресії, яке встановлює залежність параметра оптимізації a_1 – частоти однонасінної подачі насіння сої дозувальними елементами – від діаметра отворів для виходу повітря з дозувальних елементів, частоти обертання висівного диска та тиску в нагнітальній камері.

Найбільший інтерес для практичного застосування становить область двовимірних перерізів, що розташована за ізолінією $a_1 = 0,97$, оскільки частка

нульових і подвійних подач разом становить лише 3%. За цих умов діапазони варіювання факторів мають такі значення:

- діаметр отворів для виходу повітря з дозувальних елементів висівного диска: 3,7–4,3 мм;
- надлишковий тиск у насіннєвій камері висівного апарата: 4,0–6,0 кПа;
- частота обертання висівного диска: 1,0–1,6 с⁻¹.

Результати лабораторно-польового дослідження підтвердили, що застосування апарата з нагнітальним повітряним потоком у поєднанні з експериментальним висівним диском дає змогу збільшити робочу швидкість посівного агрегату з 5,4 до 9 км/год, забезпечуючи якісний висів насіння (коефіцієнт варіації 24,7%).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ASABE Standard S572.3: Testing and Reporting of Seed-Vernier Meters. St. Joseph : ASABE, 2018. 12 p.
2. Karayel D., Özmerzi A. Effect of precise seed metering on emergence and yield of soybean. Precision Agriculture. 2016. Vol. 17. P. 45–56.
3. Shinnars K. J., Mari J. Mechanical and pneumatic seed metering systems: performance comparison. Transactions of the ASAE. 2018. Vol. 61, No. 3. P. 721–730.
4. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
5. Бузило В. І., Грабара І. Г. Машини для сівби та садіння. Київ : НУБіП України, 2020. 356 с.
6. Дмитрик В. І., Лук'яненко І. В. Механіко-технологічні основи процесу висіву насіння. Харків : ХНАУ, 2017. 212 с.
7. Кравченко В. М., Бойко І. В. Дослідження параметрів дозувальних апаратів пневматичних сівалок точного висіву. Техніка і технології АПК. 2020. № 5. С. 35–42.
8. Грабовецький В. В. Шляхи підвищення точності висіву в сучасних пневматичних сівалках. Вісник аграрної науки. 2021. № 7. С. 58–66.
9. ISO 7256-1:1984. Sowing equipment — Test methods — Part 1: Single seed drills (precision drills). Geneva : ISO, 1984. 19 p.
10. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
11. Кобзистий М. В. Дослідження роботи пневматичних висівних апаратів із нагнітальним повітряним потоком. Технічні науки АПК. 2018. № 2. С. 72–79.

12. Свириденко В. І., Дубровін В. В. Вплив фізико-механічних властивостей насіння сої на процес точного дозування. Збірник наук. праць УДАУ. 2022. № 31. С. 90–97.
13. Porterfield M. D. Soybean Seed Properties and Their Impact on Precision Planting. *Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 9(3). P. 155–163.
14. Хайлі С., Павленко Ю. В. Особливості роботи висівних апаратів точного висіву при великих швидкостях. *Інженерія сільського господарства*. 2020. № 3. С. 12–19.
15. Костенко О. О., Сухенко А. І. Математичне моделювання процесу дозування насіння в пневматичних висівних апаратах. *Механізація та електрифікація АПК*. 2021. № 2. С. 45–53.
16. Rajabipour A., Ghobadian B. Development and evaluation of a pneumatic seed metering device for soybean. *Agricultural Engineering International*. 2017. Vol. 19(4). P. 112–125.
17. Singh S., Sharma R. Optimization of seed metering parameters in pneumatic planters using response surface methodology. *Biosystems Engineering*. 2015. Vol. 129. P. 80–94.
18. Molin J. P., Milan M. V. Performance of pneumatic seed metering units in high-speed planting. *Applied Engineering in Agriculture*. 2019. Vol. 35(2). P. 215–224.
19. Черняк В. П., Литвиненко О. Г. Вдосконалення конструкцій дозувальних елементів для пневматичних сівалок. *Інженерія аграрних систем*. 2021. № 4. С. 27–35.
20. Кириченко В. В., Мороз Г. М. Проблеми та перспективи високошвидкісного точного висіву зернобобових культур. *Аграрна техніка*. 2023. № 1. С. 41–49.
21. Куликівський В.Л., Дармограй М.М., Кусковський О.П., Пархомчук М.П. Аналіз конструкцій сівалок для просапних культур. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та

кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

22. Куликівський В.Л., Дармограй М.М., Зінченко Р.О. Конструкція та функціонування запропонованого висівного апарату. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 153-156.

23. Дармограй М. М. Аналіз сівалок для висіву сої. Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 8-11.