

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Коцюба Іван Іванович

УДК 621.793

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення технологічного процесу посіву сої
пунктирно-смуговим способом**

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 _____ **І. І. Коцюба**

Керівник роботи

Борак К.В.

кандидат технічних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Коцюба Іван Іванович. Удосконалення технологічного процесу посіву сої пунктирно-смуговим способом. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі встановлено, що найбільшому розширенню функціональних можливостей висіву насіння сої відповідають присмоктувальні отвори тороїдальної форми. Встановлення відбивача зайвого насіння суттєво поліпшує точність висіву сої. Коефіцієнт варіації зменшується на 6–10%.

Оптимальним розміром присмоктувального отвору, який ефективно утримує насіння сої і не заважає його своєчасному скиданню, є отвір з прохідним діаметром в межах $2\text{мм} \leq d_{\text{отв}} \leq 4\text{мм}$

Зі зростання швидкості руху висівного диска, точність посіву сої прямолінійно зменшується. Найбільша точність (стабільність процесу) висіву досягається для тороїдальної форми присмоктувального отвору. Точність зменшується для конічної форми і ще менше для циліндричної.

Розподіл насінин сої по довжині рядка може бути з достатньою точністю описаний нормальним законом розподілення випадкової величини.

Ключові слова: посів, сівалка, висіваючий апарат, оптимізація, форма, отвір, швидкість.

ANNOTATION

Kotsyuba Ivan Ivanovich. Improving the technological process of soybean sowing by the dotted-strip method. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

In the master's work it is established that the suction openings of toroidal shape correspond to the greatest expansion of functional possibilities of sowing of soybean seeds. Installing an extra seed reflector significantly improves the sowing accuracy of soybeans. The coefficient of variation decreases by 6-10%.

The optimal size of the suction hole, which effectively holds soybean seeds and does not interfere with its timely discharge, is a hole with a through diameter within 2mm 4mm

As the speed of the seeding disc increases, the accuracy of soybean sowing decreases in a straight line. The highest accuracy (stability of the process) is achieved for the toroidal shape of the suction hole. The accuracy decreases for the conical shape and even less for the cylindrical.

The distribution of soybean seeds along the length of the row can be described with sufficient accuracy by the normal law of distribution of a random variable.

Keywords: sowing, seeder, sowing machine, optimization, shape, hole, speed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ІСНУЮЧИХ ПНЕВМАТИЧНИХ АПАРАТІВ ТОЧНОГО ВИСІВУ ДЛЯ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР.....	7
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	21
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Розмаїтість фізико-механічних властивостей насінин просапних культур і засобів їхнього посіву потребують розробки широкої номенклатури сівалок. Їхні висівні апарати відрізняються за принципом роботи, культурам, що висіваються, і іншим ознакам. До апаратів точного висіву прийнято відносити ті, що спрямовують окремі насінини або групи насінин до органів, що загортають, через задані приблизно рівні проміжки часу. У залежності від використання енергії повітряних потоків у технологічному процесі виділяють механічні і пневматичні висівні апарати. Численні дослідження і порівняльні випробування дозволили встановити, що пневматичні висівні апарати (ПВА) у порівнянні з механічними більш універсальні (можуть висівати некаліброване і недражоване насіння) і різко знижують пошкодження насінин.

Мета і задачі досліджень. Мета досліджень підвищити якість технологічного процесу посіву сої пунктирно-смуговим способом за рахунок удосконалення конструктивних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- Огляд конструкцій існуючих пневматичних апаратів точного висіву для просапних культур;
- Розробити конструкційні зміни та методикку проведення досліджень;
- Провести експлуатаційні дослідження.

Об'єкт дослідження: процес виконання технологічної операції посіву сої.

Предмет дослідження: закономірності впливу конструктивних параметрів висівного диску та режимів роботи на якість виконання технологічної операції посіву.

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням методів землеробської механіки, прикладної фізики та теорії ймовірності. Обробку

експериментальних даних виконано за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних комп'ютерних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Коцюба І. І.** Огляд конструкцій існуючих пневматичних апаратів точного висіву для просапних культур. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 294-295.

2. **Коцюба І. І.** Фізико-механічні властивості насіння просапних культур. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 210-211.

3. **Коцюба І. І.** Огляд впливу елементів конструкції ВПМВА на процес висіву. IX Міжнародної науково-технічної конференції *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, 5-24 жовтня 2020 року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути використанні при експлуатації сівалок точного висіву для підвищення якості посіву.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 13 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 39 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 18 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ІСНУЮЧИХ ПНЕВМАТИЧНИХ АПАРАТІВ ТОЧНОГО ВИСІВУ ДЛЯ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

Використання аеродинамічних сил у сполученні з механічними дозволяє значно активізувати процес дозування насінин, підвищити швидкість посіву і якість розподілу насінин у рядку. Тому для вибору оптимального типу універсального висівного апарата для точного висіву просапних культур достатньо обмежитись аналізом конструкцій пневматичних апаратів. На рис. 1.1 подана їхня класифікація [1-9].

Якщо у процесі роботи ПВА використовують також механічні сили, то доцільно назвати їх пневмомеханічними. [4] Найбільше поширення одержали вакуумні пневмомеханічні висівні апарати (ВПМВА), у яких для дозування насінин використовується розрідження повітря. Серед них самою численною є група висівних апаратів з дисковим дозатором (рис.1.2). Барабанний дозатор використовувався в перших моделях вакуумних ПВА: апараті конструкції Слуцького І.Л., сівалці Isaria Pneumatic фірми Hans Glas GmbH (Німеччина), апараті конструкції Вальянова Д.І. [8, 11] та ін.

В даний час ВПМВА з присмоктувальними отворами на зовнішній поверхні барабана використовується в молдавській овочевій сівалці СОПГ-4,8 [85]. Розміщення присмоктувальних отворів на внутрішній циліндричній поверхні дозволяє полегшити захоплення насінин за рахунок використання відцентрових сил [43]. Проте, при цьому ускладнюється відділення насінин від барабана і збільшується висота їхнього падіння в борозну. У дискових і барабанних вакуумних ПМВА використовується однаковий принцип виділення одиночних насінин із загальної маси, тому вони рівноцінні по показнику універсальності. Дискові апарати простіші по конструкції, більш надійно виконують технологічний процес, компактні і дозволяють одержувати міжряддя малої ширини.



Рис. 1.1. Класифікація пневматичних висівних апаратів

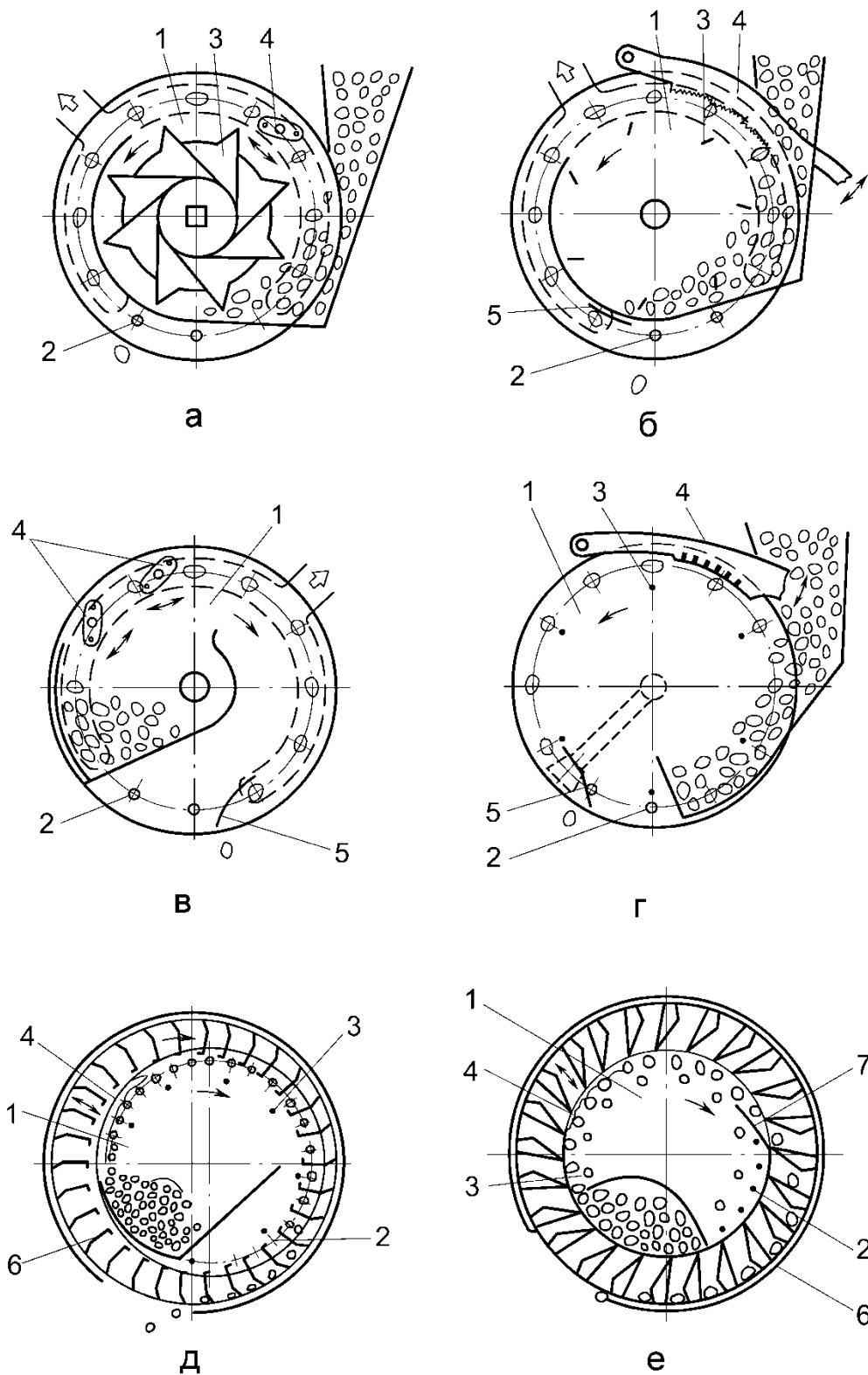


Рис. 1.2. Схеми вакуумних ПМВА з вертикальним диском: а–СУПН–8, SPC –6; б– Pneumasem II; в–Unisem; г– Monoair; д–Monosem P; е–Multikorn; 1 – висівний диск; 2 – присмоктувальний отвір; 3 – ворушилка; 4 – відбивач зайвого насіння; 5 – скидач насіння у борозну; 6 – лопаті; 7 – спрямовувач.

ПВА, у яких для захоплення і переносу насінин використовується вакуум, а для видалення зайвих насінин, продування присмоктувальних отворів або транспортування насінин у борозну – стиснуте повітря, віднесемо до комбінованого типу.

ПВА надлишкового тиску можна розділити по типу дозуючого елемента на дискові, барабанні і лункові. Похилий диск ПВА сівалки А-697 Fortshrit (Німеччина) [3] виділяє з загальної маси насінини, що у нижній точці траєкторії видуваються з наскрізних чарунок стиснутим повітрям і по трубках транспортуються в борозну, набуваючи швидкість, близьку до швидкості сівалки. Він має великі габарити і складний у виготовленні.

Подібний принцип роботи має ПВА сівалки Germil фірми Herriau (Франція) [3]. Його дозуючий диск розташований горизонтально і має великий діаметр, що дозволяє створювати одночасно декілька однозернових потоків насінин і спрямовувати їх по пневмонасіннепроводам до органів, що загортають.

Аеродинамічні, фрикційні і пружні властивості насінин змінюються в широких межах, тому вони рухаються в повітряному потоці з різними швидкостями. Відповідно, різний і час їхнього руху в борозну. Рівні інтервали між моментами скидання насінин, сформовані дозатором, при прямуванні по пневмонасіннепроводу випадковим чином змінюються, що призводить до погіршення розподілу інтервалів між насінинами в ряду.

Чарунки ПВА моделей 600 і 770 фірми Allis Chalmers (США) [9] і Plant/Air фірми White [7] виконані на бічній поверхні вертикального диска. Зайві насінини видаляються струменем стиснутого повітря. Коли чарунка виходить із зони надлишкового тиску, насінини падають у борозну.

Розроблено експериментальні конструкції ПВА надлишкового тиску з похилим [4] і горизонтальним [18] диском. У першого чарунки розташовані на верхній поверхні диска, у другого – на нижній. Кожний апарат дозує насіння в декілька рядків. Для переміщення насінин до органів, що загортають,

використаний пневмотранспорт. У апараті сівалок сімейства Aeromat фірми Karl Becker (Німеччина) [5] роль дозуючого елемента виконує барабан із глибокими наскрізними конусоподібними чарунками на зовнішній циліндричній поверхні. Чарунка виносить із насінневої камери групу насінин, а потужний потік повітря, що спрямовується соплом складної форми, видуває з неї зайві. Клиновидна пластинка в нижній частині апарата виштовхує насіння в борозну. Запатентовано також пневматичний виштовхувач насінин.

Дозатором централізованої висівної системи сівалки Cyclo Air 800 фірми International Harvester (США) [9] служить барабан із горизонтальною віссю обертання, на внутрішній поверхні якого виштамповано декілька рядів конічних чарунок, сполучених наскрізними отворами з атмосферою. Щітковий відбивач знімає зайві насінини. Еластичні ролики перекривають отвори, насінини падають у горловини пневмонасіннепроводов і транспортуються повітряним потоком до органів, що загортають.

Істотною ознакою класифікації ПВА є положення дозуючого елемента у просторі. Він визначає конструктивні особливості багатьох елементів апарата і його приводу. За цією ознакою можна виділити апарати з вертикальною, горизонтальною і похилою віссю обертання.

У залежності від кількості однозернових потоків, створюваних одним дозатором, розрізняють одноканальні та багатоканальні ПВА. Одноканальний апарат спрямовує потік насінин в один рядок, а багатоканальний – спрямовує насіння в два і більше рядків.

Лункові ПВА надлишкового тиску працюють одночасно з органами, що загортають [5]. Дозування, розподіл і подача насінин у ґрунт через лункоутворювачі здійснюється в них стиснутим повітрям.

Робота пневмоструменевих ПВА (їх називають також "ПВА без рухомих частин" [5]) заснована на принципах пневмоніки (пнеumoавтоматики). У них дозування і транспортування насінин здійснюється імпульсним повітряним потоком. Можна виділити два типи пневмоструменевих ПВА: із

двостабільними елементами і без двостабільних елементів [5]. Вони поки що знайшли обмежене застосування через складність повітряних розподільних пристроїв, нестабільність аеродинамічних властивостей насінин і складність синхронізації частоти висіву зі швидкістю руху посівного агрегату.

Аналіз конструкцій ПВА точного висіву показав, що найбільші можливості для універсалізації мають вакуумні висівні апарати з дисковими дозаторами, з горизонтальною віссю обертання (ВПМВА). Універсальність ВПМВА забезпечується змінними висівними дисками, конструктивні параметри яких залежать від фізико-механічних властивостей насінин і норм висіву. Тому доцільно при розробці конструкції універсального апарата для висіву просапних культур вибрати вакуумний принцип дозування з використанням вертикального диска.

Висновки по розділу 1

Різноманітність вакуумних дискових апаратів потребує глибокого системного аналізу особливостей їхніх конструкцій і впливу параметрів окремих елементів на якість виконання технологічного процесу висіву.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У відповідності до задач дослідження програмою експериментальних досліджень передбачається:

1. Уточнення раціональних розмірів присмоктувальних отворів та форми їх поверхні.
2. Визначення раціональної форми, параметрів і положення відбивача зайвого насіння.
3. Перевірка на адекватність математичної моделі відокремлення насінин від поверхонь присмоктувальних отворів.
4. Випробування сівалки з модернізованими висівними апаратами у польових умовах.

На основі огляду літератури (розділ 1) за базову конструкцію обрано вакуумний ПМВА серійної сівалки СУПН-8А. Він складається з корпусу, у якому обертається висівний диск з розташованим по колу присмоктувальними отворами; кришки з підковоподібною вакуумною камерою; відбивача зайвого насіння; ворушилки насіння. У корпусі розміщено камеру для насіння, яке надходить до неї через вікно з бункера, приєднаного до верхньої частини корпусу. Зазор між диском та кришкою ущільнено пластиковою прокладкою відповідної форми. Відбивач зайвого насіння має форму пластини з дугоподібною робочою поверхнею. Положення відбивача регулюють відповідно до розмірів насінин і швидкості обертання диска поворотом його навколо осі.

Лабораторні експериментальні дослідження ВПМВА проводяться на стенді (рис. 2.1), розробленому кафедрою машиновикористання та сервісу технологічних систем Поліського національного університету. Загальний вигляд стенда та його схема представлені на рис. 2.1 і 2.2 відповідно.

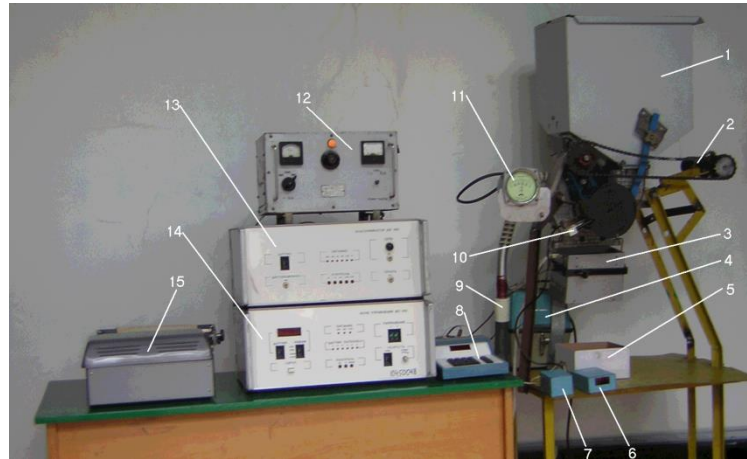


Рис. 2.1. Загальний вигляд станда для дослідження 1 – висіваючий апарат; 2 –електродвигун; 3 –датчик висіву; 4 –пилосос; 5 – ємність для насіння; 6 – тахометр; 7 – блок живлення; 8 – пульт управління; 9 – регулятор розрідження; 10 – датчик; 11 – мановакууметр; 12 – блок живлення електродвигуна; 13 – блок управління.

Стенд складається з висівного апарата, який приводиться в дію від регульованого електродвигуна через систему передач, вентилятора з приводом від електродвигуна, регулятора розрідження, мановакууметра, електронного класифікатора потоку насіння ЕКПС – 03 МП з датчиком висіву ПДС – 03 та інтерфейсу для приєднання класифікатора до вхідних портів персонального комп'ютера.

Пристрій ПДС-03 є цифровим датчиком прямої дії, призначеним для реєстрації насінин у потоці. Він представляє собою прямокутний корпус з вікном розміром 40х90 мм, у якому встановлено перпендикулярні лінійки дискретних випромінювачів (інфрачервоних світлодіодів) та розташованих навпроти фотоприймачів (фотодіодів).

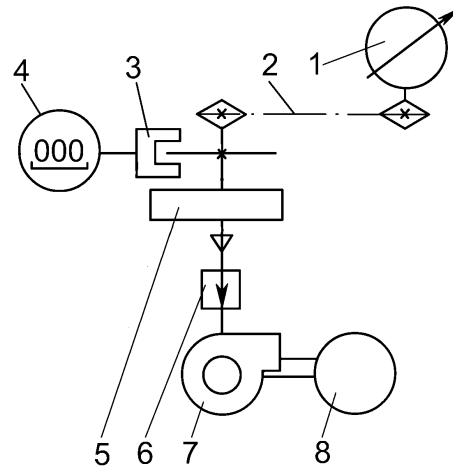


Рис. 2.2. Схема стенда для дослідження ВПМВА: 1 – електродвигун привода висівного апарата з регульованою частотою обертання; 2 – ланцюгова передача; 3 – фотоелектричний датчик; 4 – цифровий тахометр; 5 – висівний апарат; 6 – регулятор розрідження; 7 – відцентровий вентилятор; 8 – електродвигун вентилятора.

Висока здатність фіксації насінин забезпечується моделюванням паралельного світлового потоку шляхом організації багаторазового циклового сканування з частотою 5,2 кГц дискретних світлових променів вздовж координат x і y у контрольованого перерізу датчика.

Принцип його дії ґрунтується на вимірюванні інтервалів часу між вхідними імпульсами, положення яких у часі відповідає розташуванню насінин на дні борозни.

Класифікатор може працювати у трьох режимах:

- реєстрація відстаней між насінинами (інтервалів між імпульсами);
- класифікація заданих інтервалів за кількістю насінин;
- класифікація за щільністю.

При дослідженні висівних апаратів точного висіву використовується режим класифікації відстаней між насінинами. Максимальна кількість насінин, які можуть бути зафіксовані в одному інтервалі – 65535 шт.

Пристрій ПДС-03 та класифікатор ЕКПС-03МП пройшли державні випробування та випускалися дрібними серіями у складі комплексу для

дослідження та випробування висівних апаратів просапних сівалок під маркою ИП 195.

Для проведення досліду бункер висівного апарата завантажується насінням не менше ніж на половину його об'єму. Встановлюється необхідна швидкість обертання висівного диска. Вмикається класифікатор потоку насіння і електродвигун привода висівного апарата. Вибирається необхідний рівень розрідження та положення відбивача зайвого насіння. Коли висівний апарат виходить на стабільний режим, класифікатор переводиться до режиму реєстрації потоку насіння. Після відлічування необхідної кількості інтервалів (насінин) класифікатор автоматично зупиняється.

Кількість інтервалів визначається на основі попередніх дослідів за формулою [4]

$$N = k_b^2 t^2 / m^2, \quad (2.1)$$

де k_b – коефіцієнт варіації інтервалів між насінинами;

t – табличне значення критерію Стьюдента.

Досліди проводяться у відповідності до стандарту РД10.5.1-91.

Для визначення раціональної форми і параметрів присмоктувальних отворів висівного диска ВПМВА використовується метод багатофакторного експерименту. Вибір факторів базується на даних, які були отримані на основі власних досліджень. Головними з них, які впливають на процес захвату насінин присмоктувальними отворами ВПМВА циліндричної форми, слід вважати: X_1 – діаметр присмоктувального отвору (d_{oms}); X_2 – кількість присмоктувальних отворів (Z); X_3 – розрідження у вакуумній камері (ΔP); X_4 – продуктивність (дозуюча здатність) висівного апарата (Π).

Критерій оптимізації (позначимо його Y) - середньоквадратичне відхилення інтервалів між насінинами у рядку.

Основні рівні та інтервали варіювання факторів для висіву цукрового буряка наведено у табл. 2.1.

Розрідження у вакуумній камері вибрано на основі рекомендацій досліджень [1, 7].

Дозуюча здатність на основному рівні ($X_4=П=16$ шт/с) відповідає середній господарській нормі висіву 10 шт/м при швидкості агрегату 2 м/с.

Крім серійних дисків з циліндричною поверхнею (гострою кромкою) присмоктувальних отворів планом досліджень передбачаються експерименти з дисками конічної та тороїдальної (закругленої) форм поверхонь. Експериментальні диски з різною формою присмоктувальних отворів представлені на рис. 2.3.

Кількість присмоктувальних отворів на висівних дисках (Z) обирається як і прийнято у серійному висівному апараті сівалки СУПН-8 ($Z=14; 22$) та також додатково $Z=30$.

Діаметри присмоктувальних отворів (мінімальні діаметри для циліндричної та тороїдальної поверхонь) встановлені таких розмірів: $d_{отв}=1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0$ і $5,5$ мм. Величини діаметрів обґрунтовано на основі рекомендацій попередніх дослідників.

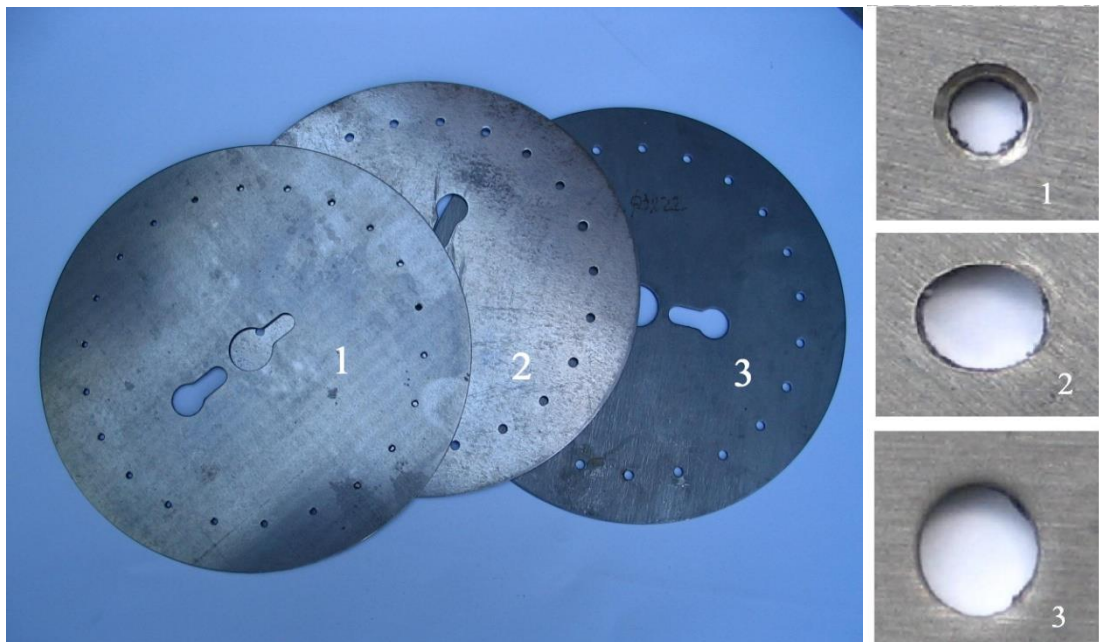


Рис. 2.3. Загальний вид дослідних висівних дисків: 1 – конічна форма отворів; 2 – з циліндрична форма отворів ; 3 – тороїдальна форма отворів.

Для оцінки якості розподілу насінин просапних культур по довжині рядка використовуються такі показники:

- 1) для овочевих сівалок – коефіцієнт варіації інтервалів між насінинами у рядку;
- 2) для бурякових сівалок – середньоквадратичне відхилення інтервалів;
- 3) для сівалок, що призначені для висіву кукурудзи, соняшника, сої, рицини, сорго, – частка інтервалів, які потрапили до заданого інтервалу з допустимим відхиленням.

При створенні та дослідженні універсального висівного апарата може виникнути необхідність порівнювати ці показники, а також здійснювати перехід від одного до іншого показника.

Для середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації виконується таке відоме [3] співвідношення

$$k_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (2.2)$$

Встановити співвідношення між першим та третім або другим та третім показниками дещо складніше. Рівномірність розподілу насінин кукурудзи, соняшника, рицини та інших культур оцінюють відсотком інтервалів T , які потрапили у заданий проміжок $[\bar{x} - \delta; \bar{x} + \delta]$. Як відомо з математичної статистики [4],

$$T = P(|x - \bar{x}| < \delta) = 2\Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right), \quad (2.3)$$

де δ - допустиме відхилення інтервалу між насінинами від середнього значення \bar{x} ;

\bar{x} - середнє арифметичне значення інтервалу між насінинами;

x – значення випадкової величини (інтервали між насінинами);

σ – середньоквадратичне відхилення інтервалів між насінинами у рядку.

Отримані математичні залежності дозволяють порівняти якість розподілу насінин по довжині рядка, оцінену різними показниками.

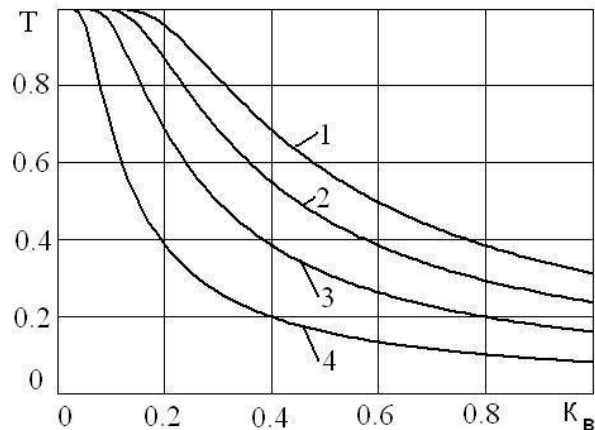


Рис. 2.4. Залежність ймовірності попадання інтервала між насінинами у задані межі від коефіцієнта варіації: 1 – $k=0,1$; 2 – $k=0,2$; 3 – $k=0,3$; 4 – $k=0,4$.

Експериментальні дослідження відбивача зайвого насіння проводяться з метою виявлення його параметрів, при яких проявляється максимальна його ефективність.

Для проведення дослідів виготовляється зразок відбивача зі змінними робочими поверхнями. Загальний вигляд відбивача і його деталей представлено на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Відбивач зайвого насіння зі змінними експериментальними робочими секторами

Робоча поверхня відбивача складається з трьох секцій, кожна з яких займає сектор з центральним кутом в 30° . Для дослідів приймаються три рівня радіусів, які складають загальну робочу поверхню у вигляді частини кола: $R_{c1} = 56$ мм; $R_{c2} = 60$ мм; $R_{c3} = 64$ мм.

Виявлення впливу кута нахилу робочої поверхні ψ на якість впливу проводиться випробуванням експериментальних зразків секцій поверхонь виконаних під кутами $\psi_1 = 30^\circ$; $\psi_2 = 60^\circ$; $\psi_3 = 90^\circ$.

Результати обробляються математично і представляються у вигляді графічних залежностей виду $\kappa_g = f(R_c)$ і $\kappa_g = f(\psi)$.

Висновки по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи розроблено методику проведення експериментальних досліджень процесу висіву насіння з можливістю контролювання точності його виконання

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Якість розподілу насіння просапних культур у рядку оцінюється формуванням закономірностей появи випадкових величин, якими є відстань між насінинами і коефіцієнтом варіації цього параметра.

Дослідження проводились на стенді в лабораторних умовах, де моделювався реальний процес висіву насіння з можливістю контролювання точності його виконання.

Експерименти виконувались згідно методики, викладеної у розділі 2.

Матриця планування серій експериментів приведена в табл. 3.1.

Значення величини Y середньоквадратичного відхилення інтервалів між насінинами у рядку визначалися згідно алгоритму розрахунку факторних експериментів і приведені в табл. 3.1.

Розрахункові і табличні значення критерію Кохрена для цукрового буряка дорівнюють $G_{\text{розр}} = 1,103$; $G_{\text{табл}(2,29)_{0,05}} = 1,745$.

Так як $G_{\text{розр}} < G_{\text{табл}}$, то гіпотеза про однорідність построккових дисперсій відтворюваності підтверджується.

Значення коефіцієнтів рівняння регресії (4.8), розраховані за допомогою ЕОМ, становлять: $b_0 = 0,62$; $b_1 = 0,019$; $b_2 = -0,03$; $b_3 = 0,015$; $b_4 = -0,011$; $b_{12} = 0,009$; $b_{13} = +0,0093$; $b_{14} = 0,0064$; $b_{23} = -0,0141$; $b_{24} = 0,0013$; $b_{34} = -0,0021$; $b_{11} = 0,00014$; $b_{22} = -0,007$; $b_{33} = 0,0048$; $b_{44} = -0,001$.

Визначалась значимість отриманих коефіцієнтів. З урахуванням того, що

$t_{\text{табл}(17)_{0,05}} = 2,045$, величина довірчих інтервалів для для цукрового буряка складає

$$\Delta \sigma_i = 0,00879$$

Таблиця 3.1 – Матриця планування і результати експериментів

№ досліду	Кодоване значення факторів				Значення функції відгуку Y
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	2	3	4	5	6
1	-	-	+	+	0,384
2	-	+	-	+	0,282
3	+	-	-	+	0,356
4	+	+	+	+	0,301
5	-	-	+	-	0,202
6	-	+	-	-	0,393
7	+	-	-	-	0,412
8	+	+	+	-	0,274
9	0	0	0	0	0,782
10	+	0	0	0	0,734
11	-	0	0	0	0,201
12	0	+	0	0	0,745
13	0	-	0	0	0,693
14	0	0	+	0	0,492
15	0	0	-	0	0,534
16	0	0	0	+	0,453
17	0	0	0	-	0,832

Таким чином, рівняння регресії на основі отриманих даних має вигляд

$$Y = 0,62 + 0,019X_1 - 0,03X_2 + 0,015X_3 - 0,011X_4 + 0,009X_1X_2 + 0,0093X_1X_3$$

Адекватність отриманих моделей перевірена по критерію Фішера.

Розрахункове значення критерію Фішера менше за табличні

$$F_{\text{роз}} = 1,42;$$

$$F_{\text{табл}} = 1,71,$$

тому одержане рівняння адекватно описує якість розподілу насіння цукрового буряка у рядку для прийнятого інтервалу варіювання факторів.

Із аналізу рівнянь регресії можна зробити висновок про вплив факторів, які

вивчаються. В числі значимих факторів виявилися діаметр присмоктувального отвору, кількість присмоктувальних отворів, розрідження у вакуумній камері.

Аналіз отриманих математичних моделей виконаний за допомогою функції MAXIMIZE пакету Mathcad. Для експериментальної перевірки адекватності математичної моделі виконано порівняння теоретичних залежностей з експериментальними при тих же умовах (рис.3.1). Розходження між теоретичними і експериментальними даними не перевищують 8,2%, на основі чого можна зробити висновок про адекватність залежностей.

Якість посіву (рівномірність розподілу насінин по довжині рядка) – є основний результат роботи висівного апарата. Чіткість скидання насінин багато в чому визначається контактною взаємодією присмоктувального отвору і насінини. Площа контакту між насіниною і отвором може бути різною в залежності від форми присмоктувального отвору і форми насінини. Якщо ідеалізувати форму насінини до сферичної, як це було зроблено в теоретичному дослідженні (розділ 2), то, в такому випадку, площа контакту однозначно визначається формою поверхні присмоктувального отвору. Ця форма може мінятися від циліндричної до конічної з можливими проміжними варіантами тороїдальної, виконаної в перерізі згідно прийнятих кривих.

На сьогодні широко випускаються промисловістю диски висівних апаратів з отворами циліндричної форми. В даному дослідженні ведеться пошук такої форми, яка б забезпечувала присмокткування насінин різних просапних культур, тобто різних розмірів і форми, і сприяла їх чіткому відокремленню, що і повинно задовольнити процес якісного посіву.

Проведеними дослідженнями впливу форми присмоктувального отвору на точність висіву встановлені графічні залежності, які представлені на рис. 3.1.

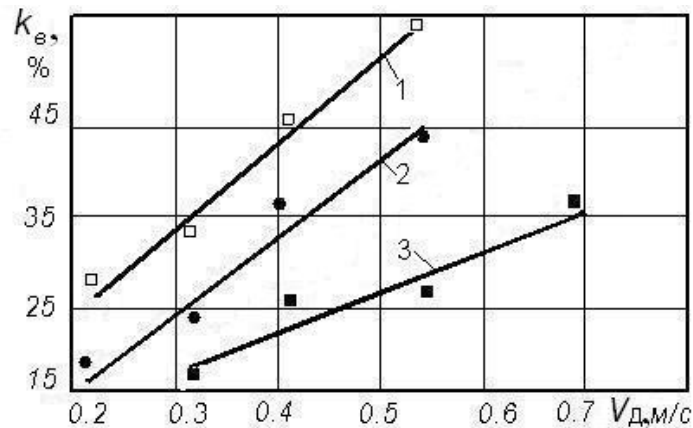


Рис. 3.1. Вплив форми присмоктуючих отворів на точність висіву в залежності від швидкості руху висівного диска: 1 – циліндрична; 2 – конічна; 3 – тороїдальна.

Як видно з залежностей, зі збільшенням швидкості руху висівного диска V_d , коефіцієнт варіації k_v також збільшується, практично по лінійному закону. Циліндрична форма присмоктувального отвору дає меншу точність (рис.3.1), ніж інші, які досліджувалися. Ця форма найбільш чутлива і до змін швидкості висівного диска, про що свідчить кут нахилу графіка до осі швидкостей.

Очевидно, точність висіву насінин отворами циліндричної форми суттєво залежить від співвідношення діаметрів отвору і насінини $v=d_{отв}/d_{сем}$ (геометричного параметра). Вказане співвідношення визначає ступінь занурення насінини в отвір (рис. 3.2).

Це створює умови, коли певний циліндричний отвір може забезпечити якісне дозування тільки в деякому інтервалі діаметрів насінин. При цьому повинна виконуватися компромісна умова між достатнім присмоктанням насінин (утримуюча сила P) і силою тяжіння G , яка залежить від маси (розміру) насінин.

Таким чином, з підвищенням діаметра насінини маса суттєво зростає, умова утримання погіршується, що веде до зниження точності дозування (рис. 3.3 права частина графіків).

При відносно малих діаметрах насінин, коли $v=d_{\text{отв}}/d_{\text{сем}}\approx 1$, вони глибоко заходять в отвір, що ускладнює їх відокремлення при скиданні. В цьому випадку не тільки сила тяжіння, внаслідок невеликої маси, має невелике значення, але й плече (h) дії цієї сили, яке сприяє викочуванню, також зменшується. Вплив вказаних факторів сприяє погіршенню якості висіву.

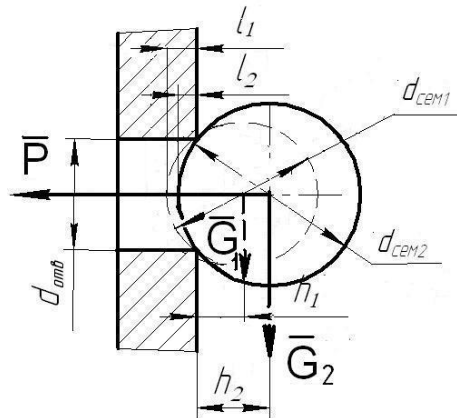


Рис. 3.2. Схема занурення насінини сферичної форми у циліндричний отвір.

Таким чином, якщо у першому випадку спостерігається недостатнє утримання насінин присмоктувальною силою, як наслідок – нечітке дозування, то в другому, коли діаметр насінини близький до діаметра отвору, також спостерігається зниження якості дозування.

Результати досліджень впливу діаметра присмоктувального отвору на точність висіву описується кривими з екстремумом (рис. 3.3).

Крива зміни точності висіву екстремум–мінімум визначає оптимальний діапазон значень діаметрів присмоктувальних отворів.

Слід зауважити, що отриманий інтервал оптимальних значень характерний для фіксованого в експерименті діаметра насінини, як зразка. Для ефективного дозування має значення співвідношення діаметрів $v=d_{\text{отв}}/d_{\text{сем}}$, яке згідно встановлених теоретично даних дорівнює $v=0,1\dots 0,2$. Використовуючи його для насіння будь-яких висіваємих просапних культур і моделюючи їх у вигляді сфери, можна розрахувати відповідні оптимальні значення діаметрів присмоктувальних отворів.

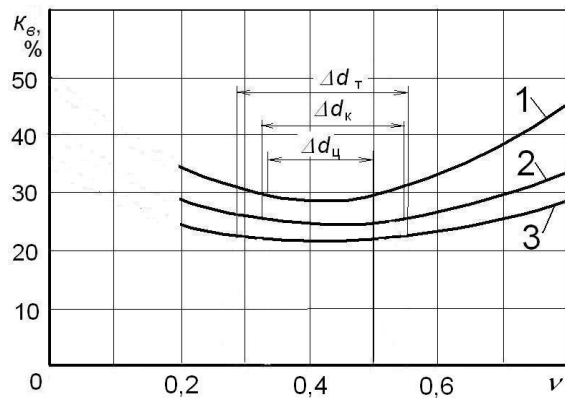


Рис. 3.3. Залежність точності висіву сої від діаметра присмоктувального отвору: 1 – циліндрична поверхня; 2 – конічна поверхня; 3 – тороїдальна поверхня.

Як відомо з представлених результатів досліджень (рис. 3.3, залежність 2), конічна форма отвору сприяє поліпшенню точності висіву, а збільшення кута нахилу графіка вказує на стабілізацію виконання процесу. Конічна форма отвору дає змогу присмоктувати і утримувати насіння в більш широкому діапазоні змін їх діаметрів. Дрібні насінини глибше заходять в отвір, а насінини більших розмірів не так далеко заглиблюються в отвір. Однак, в будь-якому випадку, контактна лінія спряження між насінням і присмоктувальним отвором представляє собою лінію, близьку до кола. Діаметр лінії спряження залежить від глибини проникнення насінини в присмоктувальний отвір. В зв'язку з розглянутим, зона ефективного дозування насіння сої (форм) розширюється. Вона представлена на рис. 3.3 (крива 2). Це розширює функціональні можливості апарата стосовно його універсалізації і застосування для висіву різних культур.

Виділення насінини з отвору конічної форми в основному обумовлено його коченням по конічній поверхні. Результуюча при складанні відцентрової сили, сили тяжіння і опору переміщення в розкладанні дає нормальну і тангенціальну складову, спрямовану уздовж твірної конуса. Співвідношення цих складових, в залежності від кута конусності отвору, може бути змінено на користь сили, яка сприяє викочуванню насінини.

Це може бути досягнуто шляхом раціонального вибору кута нахилу опорної поверхні (кута конусності отвору). Тоді тангенціальна складова збільшується, а нормальна, навпаки, зменшується. Обидва ці фактори сприяють кращому відокремленню насіння з отвору. Тангенціальна складова спрямована на виділення насінини, а зменшення нормальної приводить до зменшення сили тертя зернини по поверхні отвору, що також покращує умови його скидання висівним диском.

Найбільша точність висіву отримана для отворів тороїдальної форми (рис. 3.3, залежність 3). Вона знаходиться в межах зміни коефіцієнту варіації від $v=23\%$ до $v=35\%$. Перепад точності в діапазоні змін швидкостей висівного диска, прийнятих в досліді ($\Delta V_{\delta} = 0,7\text{ м/с} - 0,2\text{ м/с} = 0,5\text{ м/с}$), найменший для розглянутих форм висівних отворів. Це вказує на відносну стійкість процесу висіву при використанні отворів тороїдальної форми. Така форма отвору не тільки знижує дисперсію відстаней висіваємих зернин навколо середніх їх значень, обумовлених агротехнічними вимогами, але й зменшує вплив швидкості обертання диска. Про це свідчить менший нахил графіка відносно горизонтальної осі швидкостей диска. Зменшення коефіцієнту варіації для отвору тороїдальної форми обумовлене механікою контактної взаємодії зернини з отворами, особливо при їх відокремленні. Тобто пошук і оптимізація форми отвору є перспективною науковою задачею досліджень для підвищення точності висіву і універсалізації апаратів.

Схема контактної взаємодії насінини сферичної форми з тороїдальними отворами в перерізі, виконаними по колу радіуса r_{ϕ} , представлена на рис. 3.4.

Фізично пояснити більш ефективну роботу тороїдального отвору можна таким чином. Враховуючи, що напрями відцентрової сили, сили тяжіння і сили опору переміщення насінини, які формують результуючу силу R , не залежать від форми поверхні присмоктувального отвору, то можна прийняти, що напрям сили R є постійним. Тоді в розкладанні цієї сили на нормальну і тангенціальну складові відносно тороїдальної поверхні (рис. 5.4) маємо, що співвідношення

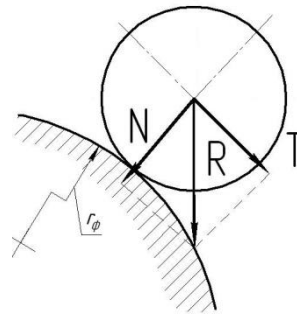


Рис. 3.4. Схема взаємодії насінини з отвором тороїдальної форми при відокремленні.

між ними залежить від форми тороїдальної поверхні в перерізі. Очевидно і те, що змінюючи кут нахилу лінії скочування, можна керувати зусиллями і процесом відокремлення зернини від отвору. В протилежність конічній поверхні, коли на протязі процесу руху зернини по поверхні отвору співвідношення нормальної і тангенціальної складових не міняються, в даному випадку, навпаки, міняючи ці співвідношення за рахунок вибору форми тороїдальної поверхні, відкривається можливість скидання насінин в більш короткий час. Тобто процес скидання стає більш дискретним, чітким у виконанні і, як результат, сприяє підвищенню точності висіву.

При цьому універсальність апарата не втрачається, оскільки всі переваги, притаманні апарату з конічною формою отвору, зберігаються. Як і в попередньому випадку, контакт насінини з поверхнею тороїдального отвору відбувається по лінії спряження, близькій до кола. Невелике збільшення зони оптимальних значень діаметра отворів тороїдальної форми практично мало впливає на розширення функціональності висівного апарата порівняно з конічними. Основна перевага тороїдальної форми отвору проявляється в підвищенні точності висіву.

Відбивач зайвого насіння є елементом конструкції ВПМВА, який призначений для поліпшення якості висіву.

Важлива роль в ефективності скидання зайвого насіння належить формі робочої поверхні спеціально встановленого відбивача. Комбінуючи

параметрами секторів, в експерименті змінювали загальний радіус скруглення робочої поверхні відбивача, її довжину і кут нахилу.

Дослідженнями впливу форми робочої поверхні відбивача на якість висіву

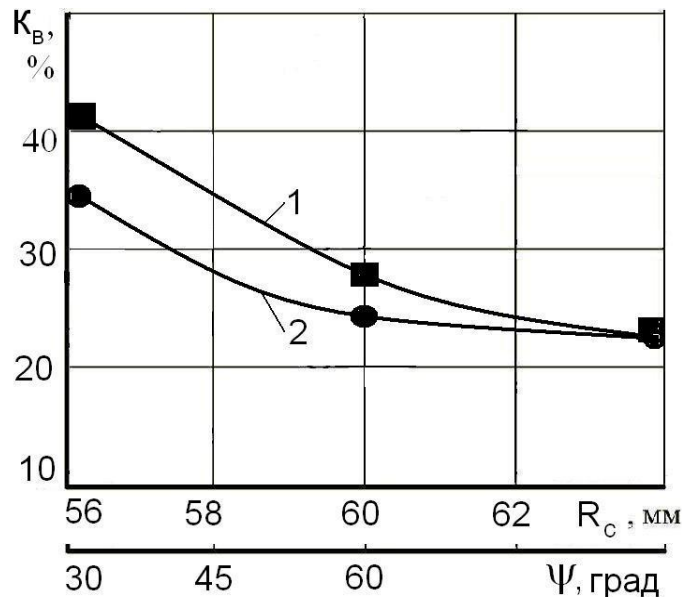


Рис. 3.5. Вплив конструктивних параметрів відбивача на точність посіву сої: 1 – вплив радіуса кривизни робочої поверхні ($\psi = 90^\circ$; $\omega = 10\text{с}^{-1}$; $z = 22$); 2 – вплив кута нахилу поверхні ($R_c = 64\text{мм}$; $\omega = 10\text{с}^{-1}$; $z = 22$).

Вивченням впливу кута нахилу робочої поверхні ψ на ефективність скидання зайвого насіння і точність виконання технологічного процесу, встановлено, що зі зменшенням кута нахилу точність висіву падає. Тобто, найкраще відповідає призначенню відбивач, у якого робоча поверхня виконана під прямим кутом до площини висівного диску. Пояснити це, очевидно, можна тим, що основним діючим актом при скиданні зайвого присмоктуваного до отвору насіння є його зсув по поверхні висівного диску. При цьому зайве насіння виходить із поля дії присмоктувальної сили і відокремлюється від диску, а те, до якого прикладено зусилля відбивача, заходить в присмоктувальний отвір. В результаті дій формується рівномірний потік висіваємого насіння.

Нахил робочої поверхні відбивача під кутами $\psi < 90^\circ$ призводить до розподілу зусилля, прикладеного з його боку до зернини, на складові, які спричиняють не тільки зсув, але й відрив зернини від поверхні диска.

Але, як показують результати досліджень, вплив відривної сили не є вирішальним у скиданні зайвого зерна. Це пояснюється тим, що, як правило, зайвим буває і скидається не те зерно, до якого прикладено зусилля відбивача, а суміжне з ним, яке виштовхується із зони дії присмоктувальної сили. Тому, без ускладнення конструкції і для кращого виконання процесу доцільно виконувати відбивачі з робочою поверхнею перпендикулярною до площини висівного диска ($\psi = 90^\circ$).

Дослідження роботоздатності експериментального висівного апарата проводились в реальних експлуатаційних умовах сівалкою СУПН-8А на висіві насіння трьох культур.

Загальний вигляд посівного агрегату з модернізованими апаратами представлений на рис. 3.6, а сам апарат зі встановленими експериментальними елементами – на рис. 3.7.

Основні фізико-механічні властивості і розмірні характеристики насіння висіваємих культур приведені в таблиці 3.2.

На основі узагальнення даних вимірювань лінійних розмірів насінин побудовані відповідні гістограми розподілення розмірних характеристик, які представлені на рис. 3.8.



Рис. 3.6. Загальний вигляд посівного агрегату для проведення польових досліджень

Таблиця 3.2 – Основні розмірні характеристики насіння висіваємих культур

Показник	Культура		
	кукурудза	соняшник	соя
1. Середні розміри насінин, мм:			
довжина l	15,2	12,08	7,1
ширина h	9,4	6,45	6,9
товщина δ	5,3	3,96	6,6
2. Середнє квадратичне відхилення розмірів, мм:			
σ_l	1,1	0,98	0,52
σ_h	0,7	0,59	0,48
σ_δ	0,6	0,54	0,47
3. Коефіцієнт варіації			
v_l	0,072	0,081	0,073
v_h	0,074	0,091	0,070
v_δ	0,113	0,136	0,71

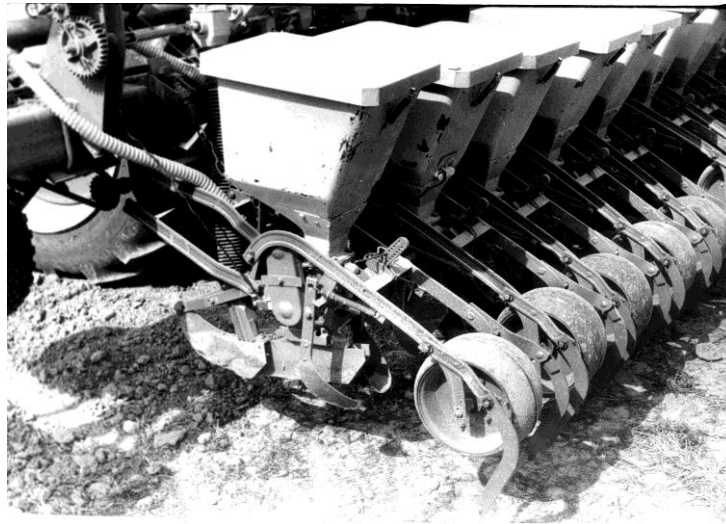


Рис. 3.7. Висівний апарат з установленим дослідним висівним диском і відбивачем зайвого насіння

Відповідно, для насіння сої розбіжність розмірних параметрів знаходиться в межах $l=6,2\div 8,1$ мм, $h=5,8\div 7,9$ мм, $\delta=5,7\div 7,6$ мм.

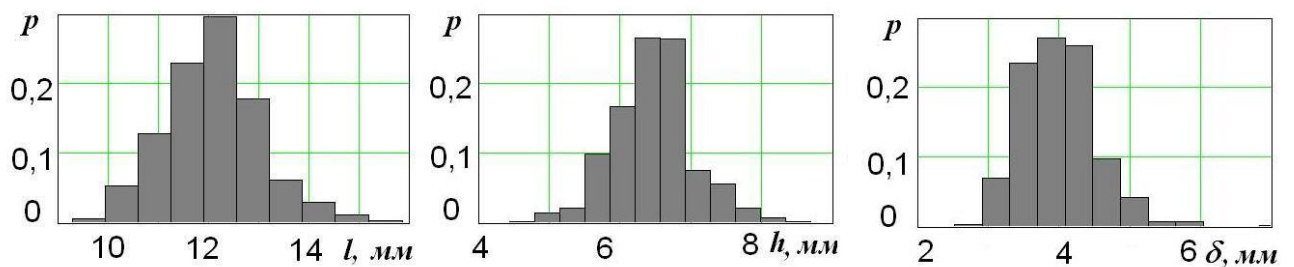


Рис. 3.8. Гістограма розподілу розмірних характеристик насінин сої

В стані підготовлених до висіву насінин вологість знаходилась в межах 8...15%, що відповідає необхідним вимогам для виконання весняного посіву.

Представлені показники і характеристики посівного матеріалу свідчать про те, що насіння сої відповідає вимогам для проведення дослідів з експериментальним висівним апаратом.

Попередніми пробними висівами встановлено, що сівалка відповідає вимогам до виконання технологічного процесу посіву просапних культур. Візуальна оцінка якості посіву вказала на достатній рівень попередньої підготовки борозни, формування потоку насіння, загортання і прикочування поля після посіву.

Дослідженнями встановлено вплив швидкості руху висівного диска, кількості отворів і розрідження в присмоктувальній камері на точність висіву насіння.

Раціональні значення діаметра присмоктувального отвору і його форма вибрані, виходячи з попереднього виконання експериментальних досліджень. Для експлуатаційних випробувань використовувались диски з отворами тороїдальної форми і прохідним діаметром присмоктувального отвору $d_{\text{отв}}=2\text{мм}$ (для соняшника) та $d_{\text{отв}}=4\text{мм}$ (для кукурудзи та сої). Всі інші параметри варіювалися в процесі проведення польового експерименту. Порівняльне дослідження проведено на диску з циліндричними отворами, розміри яких вибрано за рекомендаціями [7].

Причому, у всіх випадках при збільшенні перепаду тиску спостерігається тенденція до стабілізації продуктивності на рівні характерній до форми насіння висіваємих культур. Однак, незалежно від культури, продуктивність апарата прямує до деякої стабільної величини, обумовленої його конструктивними особливостями: кількістю присмоктувальних отворів, швидкістю обертання висівного диска. Це вказує на те, що зі збільшенням перепаду тиску зменшується кількість пропусків (не заповнених насінням отворів). Їх значно більше, коли тиск знаходиться на межі мінімально допустимого для роботи апарата.

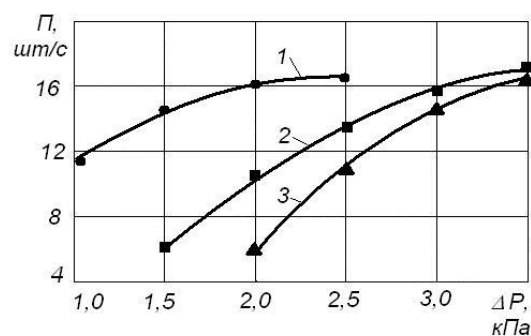


Рис. 3.9. Залежність продуктивності висівного апарата від перепаду тиску:
1 – соняшник; 2 – соя; 3 – кукурудза

З лівої частини графіків, де розбіжність в продуктивності більша, видно, що зі зниженням перепаду тиску продуктивність апарату знижується, тобто збільшується кількість пропусків – незаповнених насінинами отворів.

Якість виконання технологічного процесу посіву характеризується точністю розподілення насінин уздовж рядка.

Рівномірність розподілення насінин по довжині рядка залежить від конструктивних і технологічних параметрів апарата.

На основі отриманих даних побудовані гістограми розподілення насінин просапних культур (рис. 3.10).

Перевірка адекватності представлених результатів згідно критерію Фішера ($F_p < 0,015$) показала, що розподілення з достатньою точністю описується усіченим нормальним законом.

Розрахункові значення середніх інтервалів між насінинами в рядку складають: $x_{\text{ср.кук.}}=19,7\text{см}$, $x_{\text{ср.сон.}}=19,9\text{см}$, $x_{\text{ср.сої}}=19,7\text{см}$, коефіцієнтів варіації: $v_{\text{кук.}}=29,3\%$, $v_{\text{сон.}}=28,1\%$, $v_{\text{сої}}=24,5\%$.

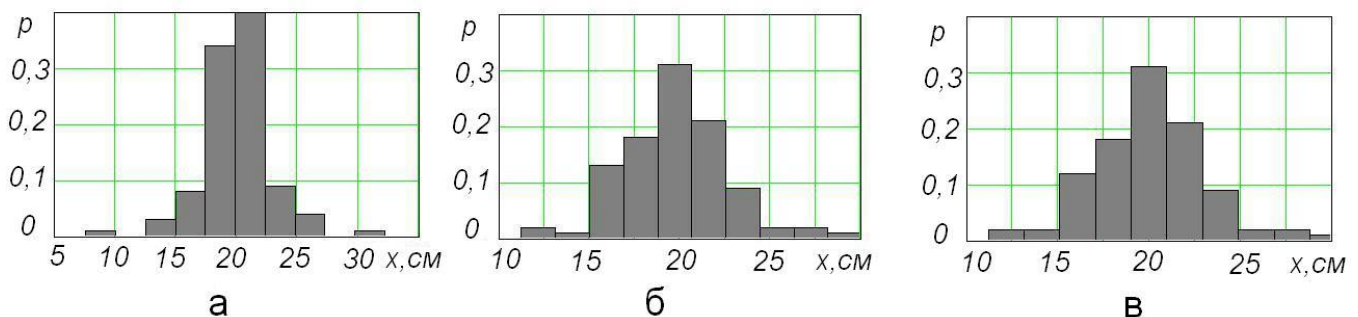


Рис. 3.10. Розподіл насіння просапних культур по довжині рядка: а – соя; б – кукурудза; в – соняшник.

В основному, отворами диска присмоктується по одній насінини. При підвищеному перепаді тиску на верхній межі можуть присмоктуватись і по дві насінини, але завдяки ефективній роботі відбивача зайвого насіння їх частка не перевищує 1%.

В більшій мірі на втрату рівномірності висіву впливає зниження перепаду тиску, який веде до незаповнення отворів насінинами і пропусків в рядках.

Зниження перепаду тиску спостерігається в результаті недостатньої герметизації вакууму в апараті і попаданні в систему атмосферного повітря.

Таким чином, величина вакууму $3,2 \pm 0,2$ кПа, який задається системою сівалки СУПН-8А, задовольняє потребам висіву з необхідною точністю.

Для практики використання просапних сівалок важливим є виявлення їх здатності до висівання насіння різних культур. Попередніми дослідженнями в лабораторних умовах встановлено, що найкращою з вивчених форм присмоктувальних отворів (циліндричної, конічної і тороїдальної) є тороїдальна. Результати перевірки на практиці точності висіву дисками з циліндричною і тороїдальною формами присмоктувальних отворів приведені на рис. 3.11.

Характерним для отриманих залежностей є загальне зниження розсіювання випадкової величини, якою є відстань між насінинами в рядку при застосуванні дисків з тороїдальними отворами. Тобто точність висіву для тороїдальних отворів вища, а розсіювання координати висіву в залежності від висіваємої культури зменшується. Як видно з представлених графіків, для тороїдальної форми отвору вони розташовані щільніше, ніж при використанні дисків з циліндричними отворами.

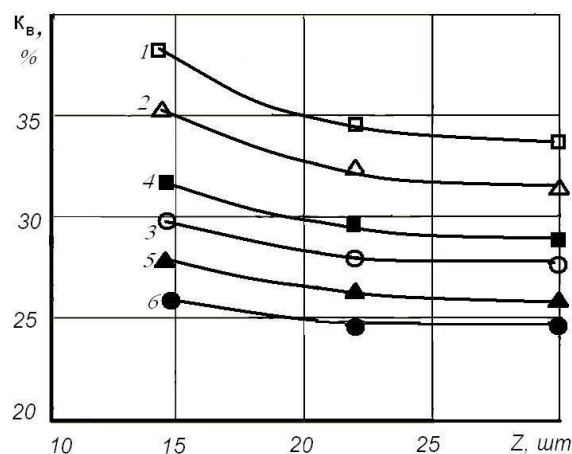


Рис. 3.11. Вплив кількості отворів на точність висіву для присмоктувальних отворів різної форми: 1, 2, 3 – висів диском з циліндричними отворами (кукурудза, соняшник, соя відповідно); 4, 5, 6 – висів диском з тороїдальними отворами (кукурудза, соняшник, соя відповідно).

Висновки по розділу 3

Проведений польовий дослід підтверджує результати лабораторно-стендових досліджень про раціональність використання тороїдальних отворів, які розширюють функціональні можливості висівного апарата в напрямку його універсалізації. Рівень отриманих значень коефіцієнтів варіації (рис. 3.11) вказує на можливість і доцільність використання єдиного універсального висівного диска для висіву ряду просапних культур, насіння яких в межах своїх розмірних характеристик і фізико-механічних властивостей можуть бути висіяні без заміни висівного елемента і переналагодження висівного апарата. Це дозволяє скоротити необхідну кількість і номенклатуру висівних дисків, якими комплектуються випускаємі промисловістю сівалки для висіву різних просапних культур.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи встановлено, що:

1. Нерівномірність висіву насіння сої по довжині рядка за коефіцієнтом варіації не перевищує 24–32%.
2. Найбільшому розширенню функціональних можливостей висіву насіння сої відповідають присмоктувальні отвори тороїдальної форми.
3. Встановлення відбивача зайвого насіння суттєво поліпшує точність висіву сої. Коефіцієнт варіації зменшується на 6–10%.
4. Оптимальним розміром присмоктувального отвору, який ефективно утримує насіння сої і не заважає його своєчасному скиданню, є отвір з прохідним діаметром в межах $2\text{мм} \leq d_{\text{отг}} \leq 4\text{мм}$
5. Зі зростання швидкості руху висівного диска, точність посіву сої прямолінійно зменшується. Найбільша точність (стабільність процесу) висіву досягається для тороїдальної форми присмоктувального отвору. Точність зменшується для конічної форми і ще менше для циліндричної.
6. Розподіл насінин сої по довжині рядка може бути з достатньою точністю описаний нормальним законом розподілення випадкової величини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Басін В. Про напрямки розвитку конструкції висівних апаратів для насіння просапних культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб.* 1999. Вип.27. С. 190–193.
2. Бузенков Г.М., Ма С. А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. Москва : Машиностроение, 1976. 271 с.
3. Василенко П. М. Теория движения материальной частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев : Изд-во Украинской академии с.-х. наук, 1960. 283 с.
4. Гусев В. М. Исследование универсального высевающего аппарата для пропашных культур. *Тракторы и сельхозмашины.* 1986. №6. С.32–34.
5. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1, Ч.2. Машины для сівби та садіння. Харків : Око, 2002. 452 с.
6. Комаристов В. Е., Петренко Н. Н., Игнатенко Л. Д. Исследование пневматического аппарата для высева семян пропашных культур. *Конструирование и технология производства с.-х. машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб.* 1975. Вып.5. С.31–35.
7. Корнєв Ю. Дослідження заповнення присмоктувальних отворів пневматичного висівного апарата. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. збірник.* 1999. Вип.27 С.114–119.
8. Лушников В. М., Курзов Ю. П., Олейник В. И. Экспериментальное исследование высевающего диска сеялки СУПН-8. *Автоматизация мобильных с.-х. агрегатов и их систем управления: Науч. тр.* 1978. Т.352. С.48–50.
9. Полонецкий С. Д. Статистическое моделирование урожайности по точности распределение семян. *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства.* 1975. №5 С.52–54.

10. РД 10.5.1-91 Випробування сільськогосподарської техніки. Машина посівні. Програма і методи випробувань.

11. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки /За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Коваля.– К.: Аграрна наука, 2004.–396 с.

12. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Коваля. Київ : Аграрна наука, 2004. 396 с.

13. Юзбашев В. А., Гусев В. М., Амосов В. В., Хорунженко В. Е. Направления совершенствования универсальных пневматических аппаратов пропашных сѣялок. *Тракторы и сельхозмашины*. 1986. №. 10. С.31–33.