

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою СГМ
к.т.н., професор
_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ
« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Модернізація універсальної просапної сівалки з дослідженням
пневмомеханічного висівного апарата»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Аршинов Іван Вікторович
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Володимир АМОСОВ
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент
професор, д-р техн. наук
_____ Віктор АУЛІН
« ____ » _____ 2026 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма ОНП «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Аршинов Іван Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Модернізація універсальної просапної сівалки з дослідженням пневмомеханічного висівного апарата»
2. Керівник роботи (проекту) Амосов Володимир Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 12.05.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) Підвищення врожайності просапних культур шляхом покращення рівномірності розміщення насіння по площі живлення. Оцінка існуючих дозуючих дисків вакуумних пневмомеханічних висівних апаратів. Обґрунтувати раціональні геометричні параметри присмоктувальних отворів дозуючого диска.
5. Перелік графічного матеріалу Мета та завдання. Аналіз конструкцій ВПМВА. Методика досліджень. Результати експерименту. Схема УПС-8. Висівний апарат. Деталювання. Висновки і пропозиції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1–6	Доцент Амосов В.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та оформлення розділів 1 та 2	21.03.2026 р.	
2	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділу 3	04.04.2026 р.	
3	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділу 4	18.04.2026 р.	
4	Оформлення графічної частини КР	02.05.2026 р.	
5	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділів 5 та 6	09.05.2026 р.	
6	Захист КР на засіданні ДЕК	Згідно з графіком	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника

_____ Амосов В.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Аршинов І.В.
(прізвище та ініціали)

Анотації

Аршинов Іван Вікторович
Arshynov Ivan

Модернізація універсальної просапної сівалки з дослідженням пневмомеханічного висівного апарата

Modernization of the universal row-type seeder with the study of the pneumatic-mechanical sowing device

Проведено експериментальні дослідження впливу параметрів висівного диска ВПМВА на якість розподілу насіння по довжині рядка. Підтверджено теоретичний висновок про доцільність використання тороїдальної форми поверхні присмоктувального отвору висівного диска для підвищення якості висіву. Вдосконалена конструкція вакуумного пневмомеханічного висівного апарата. Проведені технологічні, кінематичні і енергетичні розрахунки сівалки, розрахунки на міцність. Запропоновано заходи по покращенню умов праці механізатора.

Experimental studies were conducted on the influence of the parameters of the VPMVA seeding disc on the quality of seed distribution along the row. The theoretical conclusion regarding the advisability of using a toroidal shape for the suction opening surface of the seeding disc to improve seeding quality has been confirmed. The design of the vacuum pneumatic-mechanical seeding unit has been improved. Technological, kinematic, and energy calculations for the seeder, as well as strength calculations, have been performed. Measures have been proposed to improve the working conditions of the operator.

просапна сівалка, висівний апарат, присмоктувальний отвір, якість висіву

row-crop seeder, seeding unit, suction opening, seeding quality

Аршинов, І. В. Модернізація універсальної просапної сівалки з дослідженням пневмомеханічного висівного апарата: кваліфікаційна магістерська робота : спец. 133 «Галузеве машинобудування» / наук. кер. В.В. Амосов; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2026. – 60 с.

ЗМІСТ

	стор.
ЗМІСТ	5
1 ВСТУП	6
2 СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
3 НАУКОВА ЧАСТИНА.....	19
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	55
6 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59
ДОДАТКИ.....	61

1 ВСТУП

Актуальним напрямом підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва є впровадження сучасних технологічних процесів, а також технічних і організаційних рішень, спрямованих на раціональне використання прогресивних машин і робочих органів.

Посів належить до ключових агротехнічних операцій у технологічному циклі вирощування сільськогосподарських культур, оскільки саме від якості його виконання та дотримання оптимальних строків значною мірою залежить майбутня врожайність. Нерівномірний розподіл насіння вздовж рядка призводить до необхідності збільшення норми висіву, а також виконання додаткових операцій для вирівнювання густоти сходів.

У зв'язку з цим до сучасних посівних машин висуваються підвищені вимоги щодо точності та стабільності процесу висіву. Вони повинні забезпечувати такі якісні та кількісні параметри роботи, які гарантують високу схожість насіння та подальший рівномірний розвиток рослин.

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення точності висіву насіння кукурудзи та інших просапних культур за рахунок удосконалення універсального пневмомеханічного висівного апарата. Практична реалізація цієї мети передбачає модернізацію сівалки універсальної пневматичної начіпної УПС-8.

2 СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Огляд конструкцій існуючих пневматичних апаратів точного висіву для просапних культур

Різноманітність фізико-механічних характеристик насіння просапних культур, а також способів їх висіву, зумовлює необхідність створення широкого спектра посівних машин. Висівні апарати таких машин відрізняються між собою за принципом дії, типами культур, для яких вони призначені, а також за іншими конструктивними особливостями. До апаратів точного висіву відносять пристрої, що забезпечують подачу окремих насінин або їх невеликих груп до загортальних органів через приблизно однакові інтервали часу.

Залежно від того, чи використовується енергія повітряних потоків у процесі роботи, висівні апарати поділяються на механічні та пневматичні. Результати численних досліджень показують, що пневматичні висівні апарати мають суттєві переваги над механічними: вони є більш універсальними, оскільки можуть працювати з некаліброваним і недражованим насінням, а також значно зменшують рівень його пошкодження.

Поєднання аеродинамічних і механічних сил у процесі висіву дозволяє підвищити ефективність дозування насіння, збільшити швидкість роботи агрегату та покращити рівномірність розміщення насінин у рядку. З огляду на це, при виборі оптимального універсального висівного апарата доцільно зосередитися саме на аналізі пневматичних конструкцій.

У випадках, коли поряд із повітряними потоками використовуються і механічні впливи, такі апарати називають пневмомеханічними. Найбільш поширеними є вакуумні пневмомеханічні висівні апарати, в яких процес дозування насіння здійснюється за рахунок розрідження повітря. Серед них переважають конструкції з дисковими дозаторами.

Барабанні дозатори застосовувалися переважно у перших моделях таких апаратів. У цих конструкціях отвори для присмоктування насіння

розміщувалися на зовнішній поверхні барабана, часто у спеціальних заглибленнях конічної форми. Для видалення зайвих насінин використовувалися різні типи скидачів – механічні, вібраційні або пневматичні. Дослідження показали, що найбільш ефективними серед них є фрикційні та ступінчасті пристрої. Водночас основним недоліком таких апаратів є недостатня стабільність висіву через відсутність досконалих механізмів відокремлення зайвого насіння.

На сьогодні подібні конструкції зберегли обмежене застосування, зокрема у деяких моделях овочевих сівалок.

Розміщення присмоктувальних отворів на внутрішній поверхні барабана сприяє кращому захопленню насіння завдяки дії відцентрових сил. Однак це ускладнює процес відокремлення насінин і призводить до збільшення висоти їх падіння у борозну.

Дискові та барабанні вакуумні апарати працюють за подібним принципом виділення одиничних насінин із загальної маси, тому мають близькі показники універсальності. Водночас дискові конструкції є простішими, компактнішими, надійнішими в роботі та дозволяють здійснювати посів із меншими міжряддями.

Окрему групу становлять комбіновані пневматичні апарати, у яких вакуум використовується для захоплення і утримання насіння, а стиснене повітря – для очищення отворів, видалення зайвих насінин або їх транспортування до борозни.

Пневматичні висівні апарати, що працюють за рахунок надлишкового тиску, класифікують залежно від конструкції дозуючого органа на дискові, барабанні та лункові. Наприклад, у сівалці типу А-697 Fortshrit (Німеччина) використовується похилий диск, який відбирає насінини із загальної маси. У нижній точці траєкторії вони видувуються зі спеціальних наскрізних чарунок потоком стисненого повітря та через насіннепроводи подаються у борозну, при цьому їх швидкість наближається до швидкості руху агрегату. Однак така конструкція має значні габарити і є складною у виготовленні.

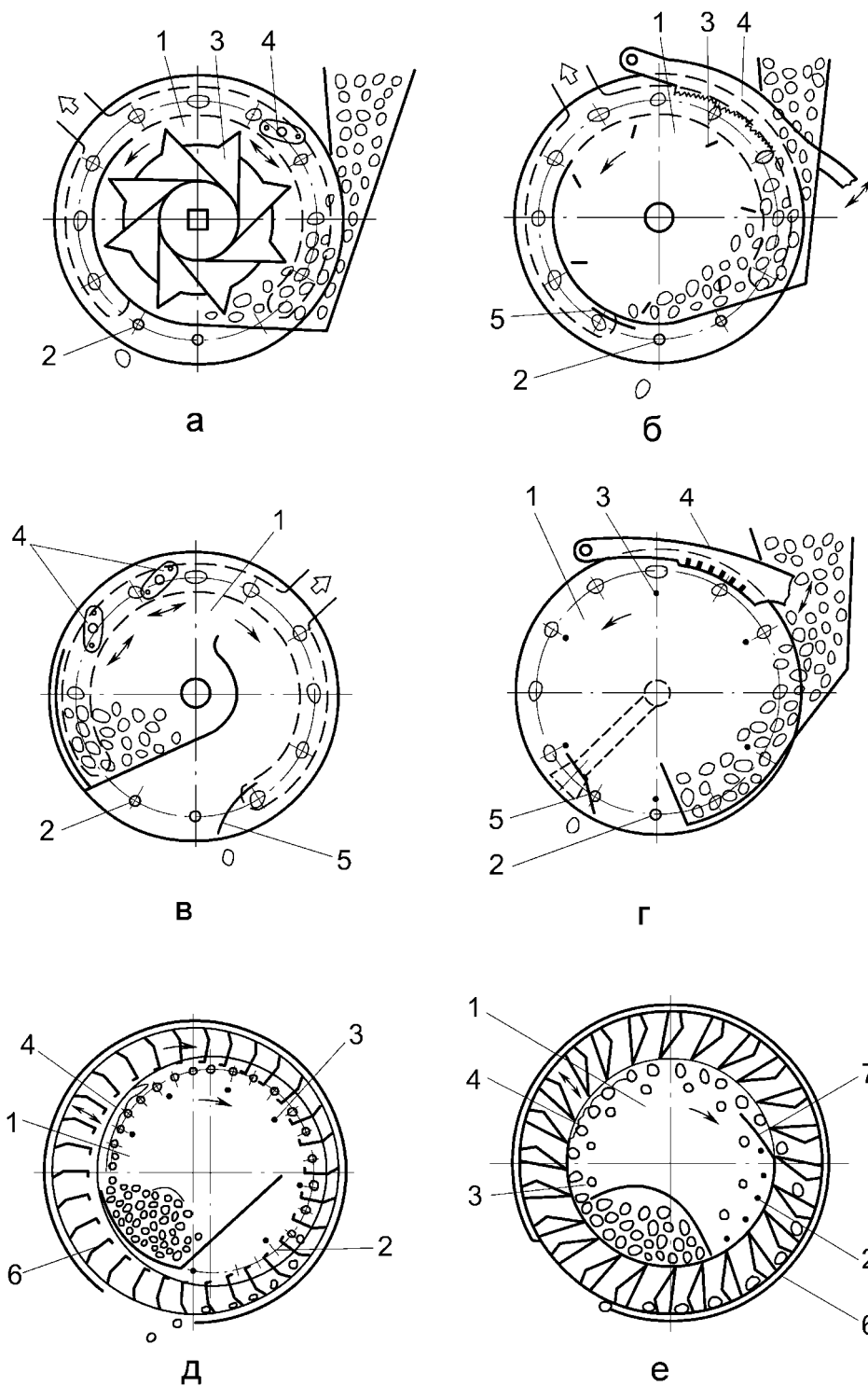


Рис.2.1. Схеми вакуумних ПМБА з вертикальним диском: а – СУПН-8, SPC-6; б – Pneumasem II; в – Unisem; г – Monoair; д – Monosem P; е – Multikorn; 1 – висівний диск; 2 – присмоктувальний отвір; 3 – ворушилка; 4 – скидач зайвого насіння; 5 – скидач насіння у борозну; 6 – лопаті; 7 – спрямовувач.

Схожий принцип дії реалізовано в сівалках Germil французької фірми Herriau. У цьому випадку дозуючий диск розміщений горизонтально та має

великий діаметр, що дає можливість формувати одночасно кілька потоків насіння та транспортувати їх до загортальних органів через пневматичну систему.

Через те, що насіння має різні аеродинамічні, фрикційні та пружні властивості, його рух у повітряному середовищі відбувається з неоднаковою швидкістю. Це призводить до різниці в часі потрапляння насінин у борозну. У результаті початково рівномірні інтервали між насінинами, сформовані дозуючим пристроєм, можуть порушуватися під час транспортування, що негативно впливає на рівномірність висіву.

У моделях 600 і 770 компанії Allis Chalmers, а також у сівалках Plant/Air фірми White, чарунки виконані на бічній поверхні вертикально розташованого диска. Видалення зайвого насіння здійснюється за допомогою струменя стисненого повітря, а після виходу чарунки із зони підвищеного тиску насінини вільно падають у борозну.

Крім серійних машин, розроблено також експериментальні варіанти пневматичних апаратів із надлишковим тиском, які можуть мати як похилий, так і горизонтальний диск. У першому випадку чарунки розміщуються на верхній поверхні, у другому – на нижній. Такі апарати здатні одночасно висівати насіння у кілька рядків, а його подача до сошників здійснюється за допомогою пневмотранспорту.

У конструкціях сівалок сімейства Aeromat (фірма Karl Becker, Німеччина) застосовано барабанний дозуючий орган із глибокими конусоподібними отворами, розташованими на зовнішній поверхні. Кожна чарунка захоплює певну кількість насіння, після чого потужний повітряний потік видаляє зайве. Додатково в нижній частині апарата встановлено клиноподібний елемент, який спрямовує насіння у борозну. Також відомі конструкції, де використовується спеціальний пневматичний механізм для виштовхування насінин.

У сівалці Cyclo Air 800 компанії International Harvester (США) як дозуючий орган централізованої висівної системи використовується барабан із горизонтально розташованою віссю обертання. На його внутрішній поверхні

сформовано кілька рядів конічних чарунок, які через наскрізні отвори сполучаються з атмосферою. Видалення надлишкового насіння здійснюється за допомогою щіткового механізму. Під час роботи еластичні ролики перекривають отвори, після чого насінини потрапляють у приймальні частини пневмонасіннепроводів і транспортуються повітряним потоком до загортальних органів.

Важливою ознакою класифікації пневматичних висівних апаратів є просторове розташування дозуючого елемента, оскільки саме воно визначає особливості конструкції як самого апарата, так і його приводу. За цією характеристикою розрізняють апарати з вертикальною, горизонтальною або похилою віссю обертання.

Також пневматичні апарати поділяють залежно від кількості потоків насіння, які формуються одним дозатором. Одноканальні пристрої забезпечують подачу насіння в один рядок, тоді як багатоканальні здатні одночасно висівати у два і більше рядків.

Лункові апарати, що працюють за принципом надлишкового тиску, функціонують у поєднанні з загортальними органами. У таких системах дозування, розподіл і подача насіння в ґрунт через спеціальні лункоутворювачі здійснюється за допомогою стисненого повітря.

Окрему групу становлять пневмоструменеві висівні апарати, які інколи називають апаратами без рухомих частин. Їх робота базується на принципах пневмоавтоматики, а подача і транспортування насіння здійснюється імпульсними потоками повітря. Виділяють два різновиди таких апаратів: із двостабільними елементами та без них. Однак на практиці вони поки що не набули широкого поширення через складність конструкції повітророзподільних систем, нестабільність поведінки насіння в повітряному потоці та труднощі узгодження частоти висіву зі швидкістю руху агрегату.

Проведений аналіз сучасних конструкцій пневматичних висівних апаратів свідчить, що найбільш перспективними з точки зору універсальності є вакуумні апарати з дисковими дозаторами та горизонтальною віссю обертання. Їх

універсальність досягається завдяки використанню змінних висівних дисків, параметри яких підбираються відповідно до фізико-механічних властивостей насіння та заданих норм висіву. З огляду на це, при розробці універсального висівного апарата для просапних культур доцільно застосовувати вакуумний принцип дозування з використанням диска.

Водночас різноманіття конструкцій вакуумних дискових апаратів потребує детального та системного аналізу їх будови, а також вивчення впливу окремих конструктивних параметрів на якість виконання процесу висіву.

2.2. Огляд впливу елементів конструкції ВПМВА на процес висіву

Незважаючи на значну різноманітність конструкцій, дискові вакуумні пневмомеханічні висівні апарати мають подібну будову та працюють за близькими технологічними схемами. Основним робочим елементом такого апарата є висівний диск із рівномірно розміщеними по колу отворами для присмоктування насіння. З одного боку диска розташовується насіннева камера, а з іншого – вакуумна. Під дією розрідження повітря насінини притискаються до отворів і разом із диском виносяться із камери. Для покращення процесу захоплення використовуються ворухильні елементи, які надають насінню додаткового руху.

Оскільки один отвір може захоплювати одразу кілька насінин, для забезпечення однозернового висіву застосовуються спеціальні скидачі, які повертають зайві насінини назад у камеру. У нижній частині апарата відбувається відокремлення насіння від диска – під дією сили тяжіння, додаткових скидачів або спеціальних лопаток – після чого воно потрапляє у борозну.

Загалом пневматичний висівний апарат можна розглядати як механічну систему, призначену для відбору із загальної маси насіння окремих порцій заданого розміру (найчастіше – однієї насінини) та їх подачі через однакові проміжки часу до робочих органів, що здійснюють загортання.

Робочий процес вакуумного апарата включає кілька послідовних етапів: подача насіння з бункера до насінневої камери; захоплення насінин отворами

диска; їх переміщення до зони очищення від зайвих насінин; відбір однієї насінини; подальше транспортування разом із диском; відокремлення від диска та падіння у борозну.

Щоб уникнути перекочування насіння по дну борозни, необхідно забезпечити такі умови, за яких горизонтальна складова швидкості насінини дорівнює швидкості руху сівалки, але має протилежний напрямок. Водночас вертикальна складова швидкості повинна бути мінімальною, щоб забезпечити точність укладання насіння.

Формування рівномірного потоку насіння у рядку пов'язане з певними суперечностями у роботі апарата. Зокрема, один і той самий отвір використовується як для захоплення, так і для скидання насіння. Це створює різницю між необхідною швидкістю скидання (яка може досягати 3,5 м/с) та обмеженою швидкістю захоплення (близько 0,5 м/с). У сучасних конструкціях цю проблему вирішують двома основними способами.

Перший варіант передбачає використання двох співвісних дисків із системою радіальних і спіральних прорізів. У такій схемі насіння захоплюється поблизу центру диска і переміщується до периферії зі зростанням швидкості. У крайній точці дія вакууму припиняється, і насінина падає у борозну вже з більшою швидкістю. Подібні рішення застосовуються у сівалках ряду зарубіжних виробників.

Другий підхід полягає у створенні так званого активного шару насіння в зоні захоплення. Для цього використовують різні механічні елементи – лопатки, штифти або ворушилки, які надають насінню додаткового руху, що покращує умови його захоплення отворами диска.

2.3. Захоплення насінин присмоктувальним отвором

Основною метою процесу захоплення є заповнення кожного присмоктувального отвору однією або кількома насінинами. При цьому бажано, щоб максимальна кількість отворів утримувала лише по одній насінині.

Наявність незаповнених отворів, так званих «пропусків», є недопустимою, оскільки це негативно впливає на рівномірність висіву.

У більшості сучасних вакуумних пневмомеханічних висівних апаратів закордонного виробництва використовуються висівні диски діаметром у межах 180–240 мм. Водночас компанія Fahse розробила швидкісну модель апарата Monoair із диском збільшеного діаметра – 300 мм [1]. У вітчизняних сівалках СУПН-6/8, СУПО-6/9, СКПП-12, а також у румунській моделі SЕМО-12 застосовуються диски меншого діаметра – близько 140 мм. Збільшення розміру диска дозволяє розмістити точку скидання насіння ближче до дна борозни, що позитивно впливає на якість висіву. Як правило, присмоктувальні отвори мають круглу форму, за винятком окремих конструкцій, наприклад краплеподібних отворів у апараті Multicorn (рис. 2.2, д).

Кількість і розміри присмоктувальних отворів визначаються видом культури та нормою висіву. За рекомендаціями дослідників [1], діаметр отвору доцільно приймати на рівні 0,5–0,6 середнього діаметра насінини або 0,6–0,7 її товщини. У різних моделях апаратів, що виробляються як в Україні, так і за кордоном, ці параметри для однакових культур є близькими. Зокрема, для кукурудзи діаметр отворів становить приблизно 5,0–5,5 мм, а для буряка – 2,0–2,1 мм. При цьому менші отвори зазвичай потребують більшого рівня розрідження у вакуумній камері.

Під час обертання диска або барабана у зоні, звідки вже були захоплені насінини, можуть утворюватися порожнини (так звані «склепіння»), які не завжди встигають заповнитися до підходу наступного отвору. Для запобігання цьому необхідно забезпечити примусове переміщення насіння до зони захоплення. Цю функцію виконують ворушители, які активізують рух насіння та надають йому швидкість, близьку до швидкості руху отворів. Вони можуть мати різну конструкцію: у вигляді зірочок (SPC-6/8, СУПН-6/8, СУПО-6/9, СКПП-12), лопаток (Pneumasem II) або пальців (Monoair, SV 255, Multisem та ін.).

Практика показує, що конструкція ворушителів, застосована у серійних сівалках СУПН-6/8 і СУПО-6/9, не забезпечує достатньої ефективності заповнення отворів [1]. Використання невеликих лопаток, закріплених безпосередньо на диску, дозволяє покращити цей процес [1]. Однак експериментальні дослідження свідчать, що при високих швидкостях обертання такі лопатки можуть викидати насіння за межі насінневої камери. Менш схильними до цього недоліку є апарати типу Monoair, Multisem, Multicorn, де ворушителі виконані у вигляді циліндричних пальців. Також позитивні результати при висіві насіння баштанних культур продемонстрував ворушитель із чотирма лопатями, виготовленими з пружних металевих пластин.

У висівному апараті SV 255 фірми Gaspardo (Італія) [1] ворушитель має вигляд диска з лопатями, центр якого зміщений відносно отворів. Він розташований безпосередньо в зоні захоплення, обертається навколо осі, паралельної осі висівного диска, і приводиться в рух за допомогою штифтів, закріплених на диску [1]. У конструкції апарата сівалки Special Legumes фірми Nodet Gougis (Франція) [1] ворушитель також оснащений лопатями, однак його обертання відбувається в площині, перпендикулярній до площини диска, а привід здійснюється через шестерню, яка взаємодіє з прорізами на диску.

Приймаємо до дослідження та подальшого удосконалення вакуумний пневмомеханічний висівний апарат просапної сівалки УПС-8.

2.4. Опис об'єкту розробки

Сівалка універсальна пневматична УПС-8 призначена для точного висіву каліброваного, дражованого та звичайного насіння цукрового і кормового буряка, кукурудзи, соняшника, ріпаци, сорго, кормових бобів та квасолі з одночасним внесенням у рядки гранульованих мінеральних добрив.

Сівалка (рис. 2.2) складається з таких основних частин:

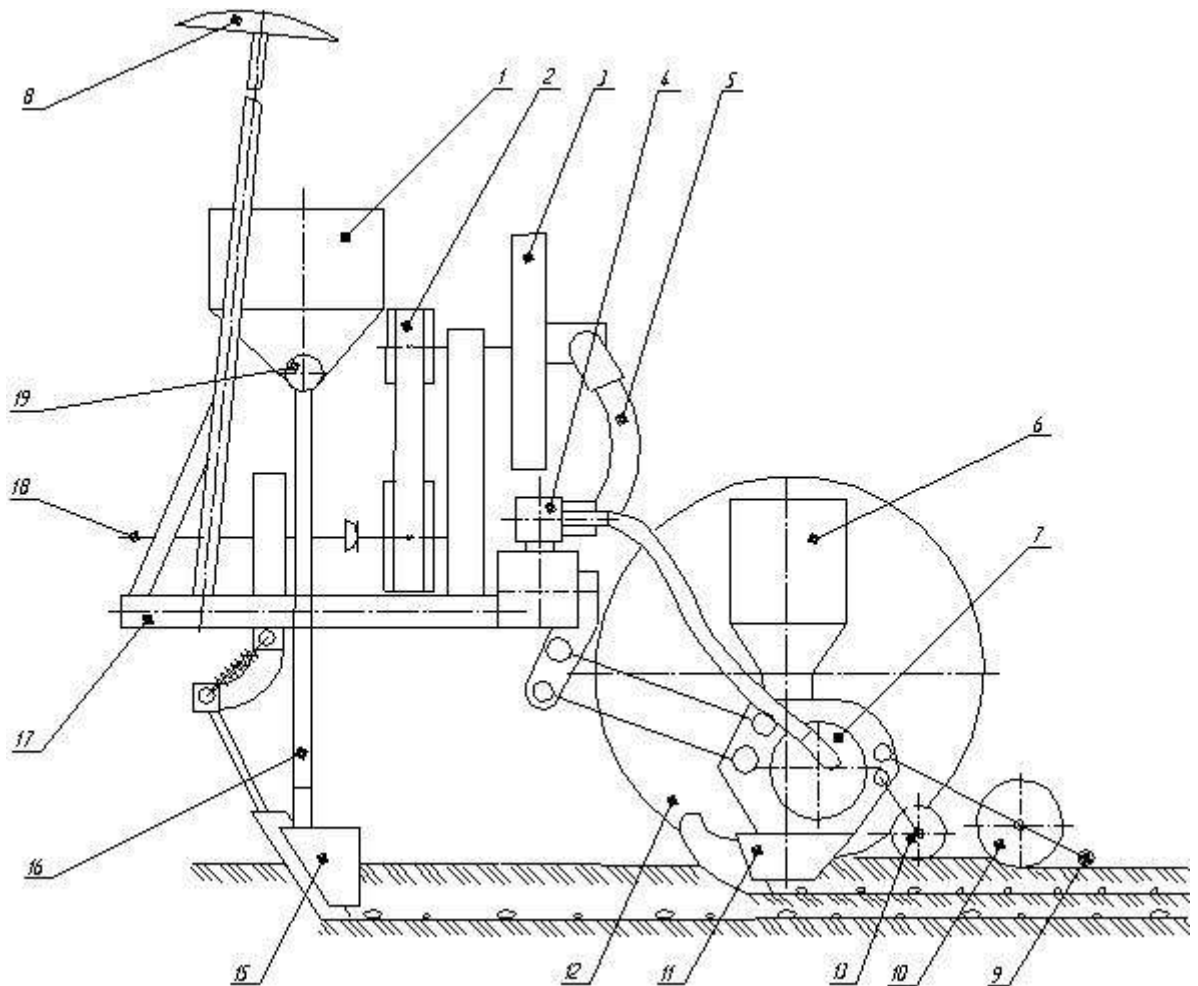


Рис. 2.2 Схема універсальної пневматичної сівалки УПС-8:

1 – бункер для туків; 2 – поліклинова пасова передача; 3 – вентилятор; 4 – ресивер; 5 – повітропроводи; 6 – бункер для насіння; 7 – пневматичний висівний апарат; 8 – маркер; 9 – планчастий шлейф; 10 – задній прикочувальний коток; 11 – наральниковий сошник; 12 – опорно-приводне колесо; 13 – загортач; 16 – тукопровід; 17 – рама; 18 – ВВП трактора; 19 – туковисівний апарат.

- туковисівного вузла, який включає бункер 1 для добрив, туковисівний апарат 19, тукопровід 16 та туковий сошник 15;
- насінневисівного вузла, що складається з бункера для насіння 6, пневматичного висівного апарата 7 та наральникового сошника 11;
- системи пневмозабезпечення, до складу якої входять відцентровий вентилятор 3, привідний механізм у вигляді поліклинової пасової передачі 2 від вала відбору потужності 18, ресивер 4 та повітропроводи 5;

- загортаючого комплексу, який містить загортач 13, прикочувальний коток 10 і шлейф 9;
- рами 17;
- двох маркерних пристроїв 8 (лівого та правого);
- двох опорно-приводних коліс 12.

Принцип роботи сівалки полягає у наступному.

Обертання висівних дисків насінневого апарата 7 та шнеків туковисівного апарата 19 забезпечується від опорно-приводних коліс через ланцюгову передачу та механізм зміни передаточного числа.

Розрідження у внутрішній порожнині кришок висівного апарата 7 створюється відцентровим вентилятором 3, який приводиться в дію від вала відбору потужності трактора 18 з частотою обертання 540 об/хв. Для контролю рівня вакууму на сівалці встановлено мембранний тягомір.

Насіння притягується до присмоктувальних отворів диска, що знаходиться в зоні розрідження та обертається, після чого переміщується із насінневої камери до зони скидання. Зайве насіння, яке потрапляє на один отвір у надлишковій кількості, повертається назад у камеру за допомогою спеціального скидача. У нижній частині апарата, при переході отворів із зони вакууму в зону атмосферного тиску, насінини по одній відокремлюються та падають на дно борозни, утвореної сошником 11. Сівалка може комплектуватися різними типами сошників залежно від культури – для кукурудзи або цукрового буряка.

Після висіву загортач 13 вирівнює поверхню ґрунту, а прикочувальний коток 10 ущільнює ґрунт з боків борозни, залишаючи верхній шар розпушеним, що сприяє кращим умовам проростання насіння. Планчастий шлейф 9, розташований за котком, додатково вирівнює поверхню поля після проходу агрегата. Для запобігання налипанню ґрунту на котки передбачені спеціальні очищувальні елементи (чистики).

Шнеки туковисівного апарата 19, виконані з лівою та правою навивкою, транспортують мінеральні добрива з бункера до воронок, звідки вони по

тукопроводу 16 надходять у туковий сошник і загортаються в ґрунт разом із посівним матеріалом.

Під час руху агрегата по полю маркер 8, опущений на необроблену частину поля, формує слід, який використовується механізатором як орієнтир для забезпечення рівномірного проходження сівалки при зворотному русі.

2.5. Висновки. Мета та задачі досліджень

1. Перспективним напрямом розвитку конструкцій просапних сівалок вважається застосування вакуумних пневматичних висівних апаратів, які забезпечують більш точне дозування насіння.

2. Зі збільшенням робочої швидкості сівалки спостерігається погіршення якості висіву, що проявляється у виникненні «пропусків» у рядку.

3. Одним із ключових чинників підвищення рівномірності розподілу насіння вздовж рядка є обґрунтований вибір форми та геометричних параметрів присмоктувальних отворів.

Метою даної магістерської роботи є підвищення врожайності просапних культур шляхом покращення рівномірності розміщення насіння по площі живлення. Це досягається за рахунок удосконалення процесу захвату насінин присмоктувальними отворами у вакуумних висівних апаратах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання дослідження:

1. Проаналізувати існуючі конструкції дозуючих дисків вакуумних пневмомеханічних висівних апаратів.

2. Обґрунтувати раціональні геометричні параметри присмоктувальних отворів дозуючого диска вакуумного висівного апарата, які забезпечить максимальну точність розподілу насінин по довжині рядка.

3 НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Актуальність роботи

Кукурудза та інші просапні культури мають важливе значення у забезпеченні населення продуктами харчування, а також у виробництві кормів для тваринництва і сировини для харчової промисловості. В Україні вони займають приблизно чверть загальної площі посівних земель сільськогосподарського призначення. Для висіву насіння таких культур застосовують сівалки, обладнані висівними апаратами різних конструкцій і принципів роботи.

Навіть у межах однієї культури насіння може суттєво відрізнятися за формою та розмірами, що негативно впливає на рівномірність його розміщення вздовж рядка. Нерівномірний розподіл у свою чергу призводить до необхідності збільшення норми висіву та проведення додаткових заходів для вирівнювання густоти сходів. Існуючі конструкції висівних апаратів не завжди забезпечують достатній рівень точності однозернового дозування насіння просапних культур.

У зв'язку з цим обґрунтування раціональної конструкції та параметрів універсального висівного апарата, здатного забезпечити якісний висів основних просапних культур, є актуальною задачею сучасного сільськогосподарського виробництва.

3.2. Теоретичне обґрунтування вдосконалення конструкції висівного апарата

Процес дозування насіння у пневматичному висівному апараті умовно поділяється на кілька послідовних етапів:

- а) подача насіння з бункера до насінневої камери;

б) захоплення однієї або декількох насінин присмоктувальним отвором висівного диска під дією повітряного потоку, що створює розрідження у вакуумній камері;

в) транспортування захопленого насіння разом із диском у напрямку скидача зайвого насіння;

г) видалення надлишкових насінин, які не відповідають вимогам однозернового висіву;

д) переміщення однієї насінини отвором до нижньої частини висівного апарата;

е) відокремлення насінини від отвору після виходу із зони дії вакууму;

є) вільне падіння насінини на дно борозни, утвореної сошником.

Найбільш відповідальним етапом у формуванні однозернового потоку на виході з висівного апарата є процес (б). Саме на цій стадії необхідно підібрати оптимальні параметри для кожної культури та норми висіву, зокрема форму і розміри поверхні присмоктувального отвору, характеристики ворушилки, кількість отворів, а також рівень розрідження. Усе це має забезпечити повне заповнення отворів і максимальну частку захоплення одиничних насінин.

Захоплення насіння присмоктувальним отвором відбувається під дією повітряного потоку, який утворюється внаслідок створення вакууму у відповідній камері. При русі висівного диска через шар насіння у насіннєвій камері повітря засмоктується через проміжки між насінинами до отворів. Якщо насінина перебуває у стані спокою, сила повітряного потоку повинна бути достатньою, щоб за час взаємодії розігнати її від початкової швидкості до швидкості руху отвору.

Для зменшення необхідного зусилля застосовують попереднє прискорення насіння у напрямку руху диска. Це досягається за допомогою ворушилок у вигляді лопатей, лопаток або штифтів, які обертаються разом із висівним диском і надають насінню додаткову швидкість. Водночас шари сусідніх насінин, особливо ті, що знаходяться попереду траєкторії руху, можуть гальмувати процес захоплення і знижувати ефективність присмоктування.

У міру наближення насіння до верхнього шару його взаємодія з іншими насінинами зменшується. Як показали експериментальні дослідження [4], отвори здатні захоплювати насіння з глибини приблизно 3–5 діаметрів насінини від поверхні шару у насіннєвій камері. Швидкісна кінозйомка [6] підтвердила, що у випадках захоплення двох насінин їх центри мас розташовуються вздовж кола присмоктувальних отворів.

При збільшенні відстані між насіниною та центром отвору сила впливу повітряного потоку різко зменшується. У зв'язку з цим захоплення відбувається переважно у вузькій кільцевій зоні навколо кола розташування отворів у межах насіннєвої маси.

У ситуації, коли насінина вже захоплена, але ще не вийшла з насіннєвої камери, існує ймовірність її зміщення або скидання під дією сусідніх насінин. Сила утримання залежить від форми насінини, величини перепаду тисків між камерами, діаметра отвору та його геометричної форми.

Підвищити силу утримання для одиничних насінин та одночасно зменшити ймовірність захоплення двох і більше насінин можна шляхом удосконалення геометрії поверхні присмоктувального отвору. Зокрема, ефективним є застосування отворів із закругленою формою поверхні, наприклад тороїдального профілю, що сприяє більш стабільному утриманню однієї насінини та підвищує точність дозування. Практичний інтерес представляють дослідження присмоктувальних отворів, які плавно розширюються від мінімального радіуса $r_{\text{отв}} = \nu r_{\text{сеп}}$ до максимального $r_{\text{max1}} \approx 0,9 r_{\text{сеп}}$ (рис. 3.3).

Завдяки тому, що мінімальний діаметр присмоктувального отвору набагато менший за діаметр насіння, то коли дві насінини знаходяться поблизу отвору, то його найбільша притягуюча сила дорівнює

$$F_{\text{max1}} = k A_{\text{отв}} \Delta p,$$

де $A_{\text{отв}}$ – мінімальна площа радіального перерізу отвору.

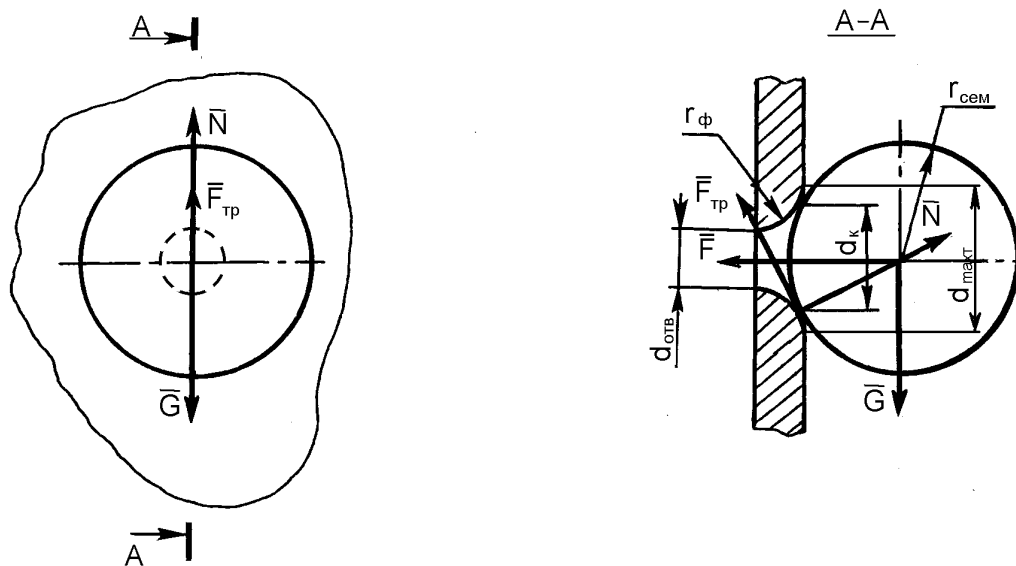


Рис. 3.3. Схема присмоктування насінини до отвору з тороїдальною поверхнею

Цієї сили не вистачає, щоб одночасно захопити дві насінини. Коли поблизу отвору одна насінина, то вона наближається до центра отвору ближче, ніж це можуть зробити дві насінини. На неї діє присмоктувальна сила, і вона притискається до отвору. Тиск у отворі зрівнюється з тиском у вакуумній камері, і присмоктувальна сила збільшується до

$$F_{\max 2} = kA_{\kappa} \Delta p,$$

де A_{κ} – площа кола, яку утворює лінія контакту насінини з поверхнею отвору ($A_{\kappa} = \pi d_{\kappa}^2 / 4$). Очевидно $A_{\text{вн.}} \ll A_{\kappa} < A_{\text{макт.}}$. Завдяки раціональній сформованій геометрії отвору унеможливується одночасне захоплення двох насінин, тоді як одна насінина фіксується більш надійно. Крім того, поступове збільшення діаметра отвору забезпечує низку додаткових переваг. Зокрема, відсутність різких кромek запобігає механічному пошкодженню насіння. За рахунок заокругленої форми зростає вертикальна складова нормальної реакції поверхні отвору, яка частково компенсує силу тяжіння насінини. Це сприяє підвищенню ефективності її утримання, а також полегшує процес відокремлення під час скидання у борозну (рис. 3.4).

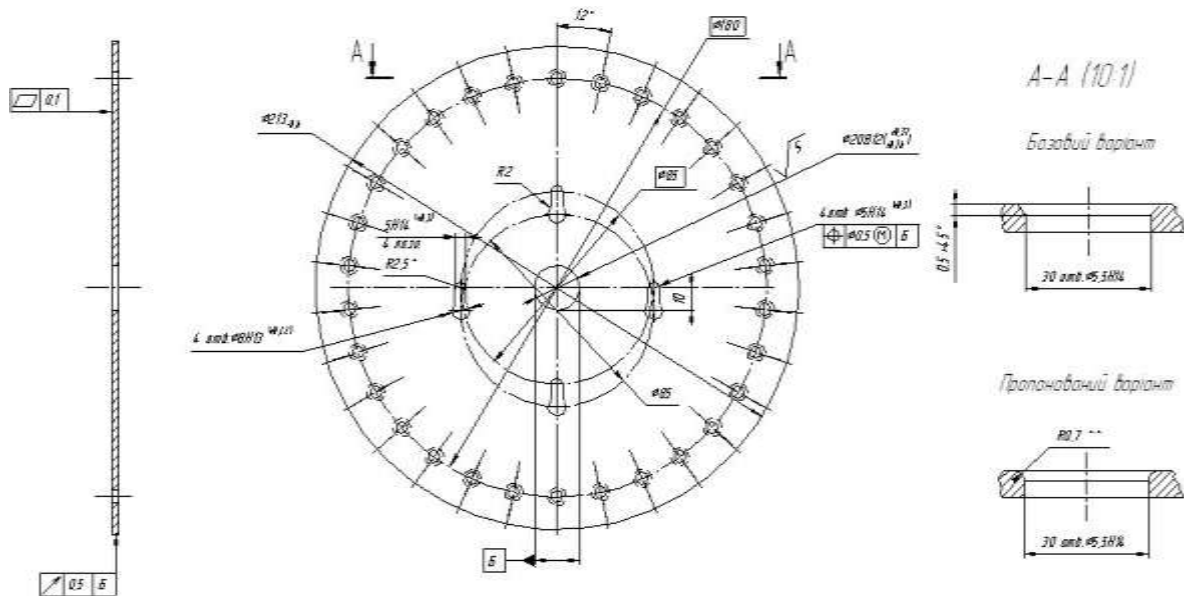


Рис. 3.4. Висівний диск для кукурудзи.

Таким чином, зміна форми поверхні присмоктувального отвору впливає не лише на якість заповнення отворів насінням, але й на характер їх відокремлення від диска в момент падіння на дно борозни.

3.3. Експериментальні дослідження

3.3.1. Програма експериментальних досліджень

У відповідності до задач дослідження та на основі результатів, отриманих аналітично, програмою експериментальних досліджень передбачається визначення раціональної форми і параметрів присмоктувальних отворів.

3.3.2. Загальна методика дослідження вакуумного ПМВА

На основі аналізу наукових джерел і проведених теоретичних досліджень за основу було прийнято конструкцію вакуумного пневмомеханічного висівного апарата серійної сівалки УПС-8. До його складу входять корпус, у якому здійснює обертання висівний диск із рівномірно розташованими по колу присмоктувальними отворами, а також кришка з вакуумною камерою підковоподібної форми, скидач зайвого насіння та ворушилка.

Усередині корпусу розташована насіннева камера, в яку насіння надходить із бункера через спеціальне вікно, що з'єднує його з верхньою частиною апарата. Простір між висівним диском і кришкою герметизується за допомогою пластикової прокладки відповідної конфігурації. Скидач зайвого насіння виконаний у вигляді пластини з дугоподібною робочою поверхнею. Його положення можна змінювати залежно від розмірів насіння та частоти обертання диска шляхом повороту навколо осі.

Лабораторні дослідження вакуумного пневмомеханічного висівного апарата проводяться на спеціальному стенді (рис. 3.5), який був розроблений на кафедрі сільськогосподарського машинобудування спільно з інформаційно-обчислювальним центром ЦНТУ [1]. Загальний вигляд цього стенда наведено на рис. 3.5.

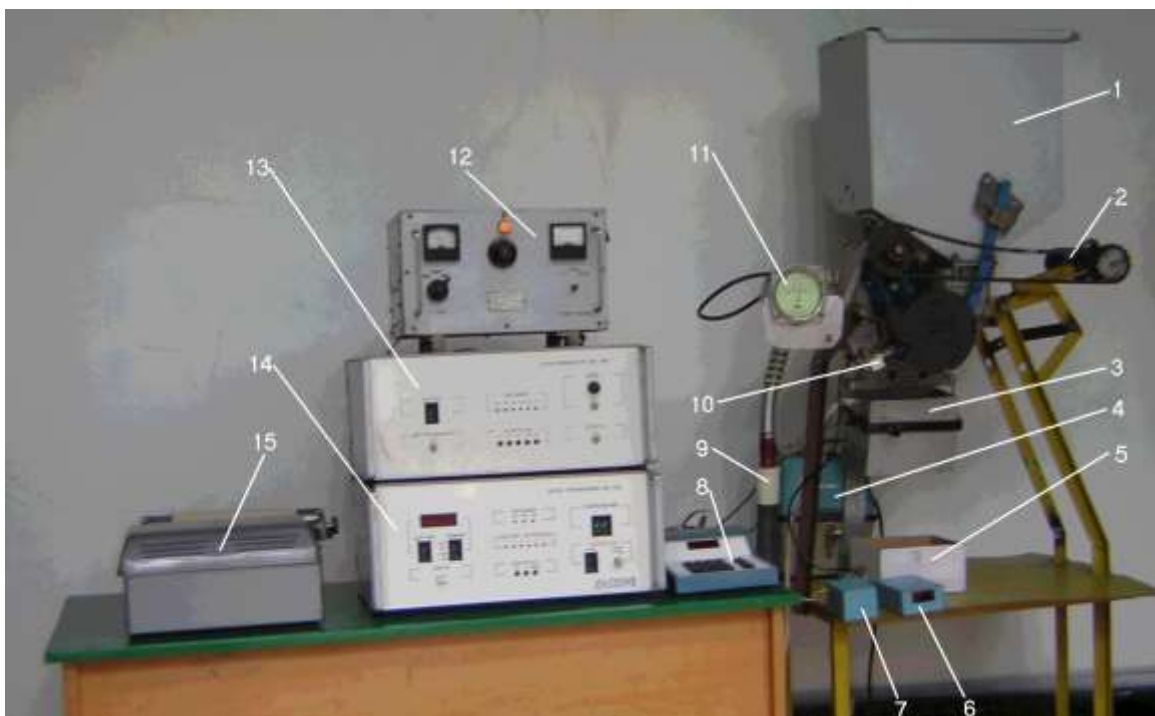


Рис. 3.5. Загальний вигляд стенда для дослідження ВПМВА:

1 – висівний апарат; 2– регульований електродвигун; 3–датчик висіву; 4 – пиросос; 5–місткість для насіння; 6 – цифровий тахометр; 7 –блок живлення тахометра; 8 – пульт управління класифікатором; 9–регулятор розрідження; 10– датчик тахометра; 11–мановакууметр; 12– блок живлення електродвигуна; 13– блок управління класифікатором; 14–електронний класифікатор; 15–друкуючий пристрій.

Експериментальний стенд включає висівний апарат, який приводиться в дію від регульованого електродвигуна через систему передач, вентилятор із окремим електроприводом, регулятор рівня розрідження, мановакууметр, електронний класифікатор потоку насіння ЕКПС-03 МП із датчиком висіву ПДС-03, а також інтерфейсний модуль для підключення класифікатора до персонального комп'ютера.

Датчик ПДС-03 являє собою цифровий пристрій прямої дії, призначений для реєстрації насінин у потоці. Конструктивно він виконаний у вигляді прямокутного корпусу з контрольним вікном розміром 40×90 мм. У цьому вікні змонтовані взаємно перпендикулярні лінійки джерел випромінювання (інфрачервоних світлодіодів) та фотоприймачів (фотодіодів), розташованих навпроти. Висока точність фіксації забезпечується формуванням умовно паралельного світлового потоку шляхом багаторазового циклічного сканування дискретних променів уздовж координат x та y контрольованого перерізу з частотою 5,2 Гц.

Сигнали з оптронних пар після підсилення передаються до блока обробки, який здійснює розпізнавання зображення. Імпульси, що формуються при проходженні насінин через зону контролю, надходять на лічильник-індикатор або до реєструвального пристрою ЕКПС-03МП. Крім того, ці сигнали можуть передаватися на персональний комп'ютер через спеціальний блок узгодження. Важливою особливістю системи є наявність модуля імітації руху сівалки, що дозволяє враховувати координати падіння насінин на дно борозни. При цьому контрольований переріз датчика повинен бути встановлений на рівні дна борозни.

Перед початком експерименту бункер висівного апарата заповнюють насінням щонайменше на 50 % його об'єму. Далі задають необхідну частоту обертання висівного диска, після чого вмикають класифікатор потоку насіння та електродвигун привода апарата. Встановлюють потрібний рівень

розрідження і регулюють положення скидача зайвого насіння. Після виходу системи на сталий режим роботи класифікатор переводять у режим реєстрації.

Після фіксації заданої кількості інтервалів (насінин) прилад автоматично припиняє роботу. Отримані результати можуть бути зчитані безпосередньо з індикатора у ручному режимі з подальшим виведенням на друк, або ж оброблені автоматично за допомогою персонального комп'ютера. Для цього використовують або стандартне програмне забезпечення, або спеціально розроблені алгоритми обробки експериментальних даних.

Кількість інтервалів визначається на основі попередніх дослідів за формулою [7]

$$N = k_b^2 t^2 / m^2, \quad (3.1)$$

де k_b – коефіцієнт варіації інтервалів між насінинами;

t – табличне значення критерію Стюдента.

Досліди проводяться у відповідності до стандарту СОУ 74.3-37-129:2004 [9].

3.3.3 Методика визначення раціональної форми і параметрів присмоктувальних отворів

Для встановлення оптимальної форми та параметрів присмоктувальних отворів висівного диска вакуумного пневмомеханічного висівного апарата застосовується метод багатofакторного експерименту. Вибір основних факторів здійснюється з урахуванням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, отриманих у попередніх роботах [1, 4, 12].

Серед досліджуваних параметрів особливу увагу приділяють тим, які мають найбільший вплив на процес захоплення насінин присмоктувальними отворами циліндричної форми. Саме ці фактори визначають ефективність роботи висівного апарата та якість однозернового дозування.

X_1 – діаметр присмоктувального отвору ($d_{отв}$);

X_2 – кількість присмоктувальних отворів (Z);

X_3 – розрідження у вакуумній камері (ΔP);

X_4 – продуктивність (дозуюча здатність) висівного апарата (Π).

Як критерій оптимізації (позначимо його) прийнято середньоквадратичне відхилення інтервалів між насінинами у рядку, яке характеризує рівномірність їх розміщення.

Базові рівні факторів та інтервали їх варіювання для умов висіву кукурудзи наведені у табл. 3.1. Значення розрідження у вакуумній камері обрано відповідно до рекомендацій, наведених у роботах [1, 12].

Продуктивність на основному рівні ($X_4 = \Pi = 16$ шт/с) відповідає типовій господарській нормі висіву – 10 насінин на метр рядка при швидкості руху агрегату 2 м/с.

Окрім стандартних висівних дисків із циліндричною формою присмоктувальних отворів (із гострою кромкою), програмою досліджень передбачено також випробування дисків із конічною та тороїдальною (заокругленою) поверхнею отворів. Зразки експериментальних дисків із різною геометрією отворів наведені на рис. 3.6.

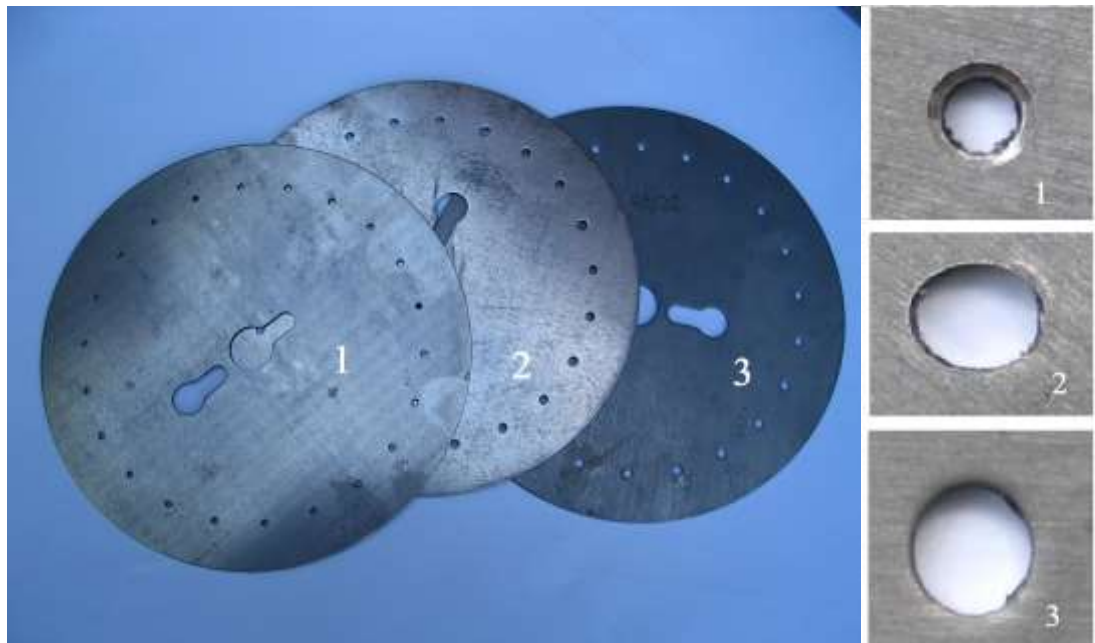


Рис. 3.6. Загальний вигляд дослідних висівних дисків:

1 – з конічною формою отворів;

2 – з циліндричною формою отворів;

3 – з тороїдальною формою отворів.

Кількість присмоктувальних отворів на висівних дисках (Z) прийнята відповідно до серійної конструкції висівного апарата сівалки УПС-8 і становить $Z = 30$ та 40.

Діаметри присмоктувальних отворів (для циліндричних і мінімальні для тороїдальних поверхонь) встановлені на рівні $d_{\text{отв}} = 4,0$ та 5,5 мм. Обґрунтування вибору цих значень базується на результатах теоретичних досліджень і рекомендаціях, наведених у працях попередніх дослідників [4, 12].

Максимальне значення діаметра конічної поверхні повинно визначатися таким чином, щоб більшість насінин контактувала саме з цією поверхнею, а не з її крайнім (максимальним) діаметром.

Радіус радіального перерізу тороїдальної поверхні прийнято на основі результатів теоретичних досліджень із урахуванням технологічних можливостей виготовлення присмоктувальних отворів методом пробивання. Його значення встановлено в межах $r_{\phi} = 0,5; 0,7$ та 0,9 мм.

Таблиця 3.1

Рівні факторів при висіві кукурудзи присмоктувальним отвором з циліндричною поверхнею

Позначення	Фактори			
	X_1 ($d_{\text{отв}}$, мм)	X_2 (Z)	X_3 (ΔP , кПа)	X_4 (П, шт/с)
Основний рівень	4,75	35	2,0	16
Інтервал варіювання	0,75	5	0,5	4
Нижній рівень	4,0	30	1,5	12
Верхній рівень	5,5	40	2,5	20

Окрім геометричних характеристик присмоктувальних отворів, до основних факторів дослідження віднесено величину розрідження у вакуумній камері Δp та продуктивність (дозуючу здатність) висівного апарата П.

Продуктивність роботи висівного апарата визначається кількістю присмоктувальних отворів на диску, а також частотою його обертання. За

умови рівномірного розміщення отворів по колу, центральний кут між сусідніми отворами може бути визначений за відповідною залежністю:

$$\varphi_{\text{ц}} = \frac{2 \cdot \pi}{Z} \quad (3.2)$$

Враховуючи кутову швидкість обертання диска, секундну продуктивність апарата визначаємо згідно формули

$$\Pi = \frac{\omega}{\varphi_{\text{ц}}} = \frac{Z \cdot \omega}{2 \cdot \pi}. \quad (3.3)$$

Або враховуючи оберти диска за хвилину роботи апарата, маємо

$$\Pi = Z \cdot \frac{n}{60}. \quad (3.4)$$

Відповідно, кутова швидкість обертання висівного диска, яка необхідна для забезпечення встановленої дозуючої здатності висівного апарата, визначаємо за формулою

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Pi}{Z}. \quad (3.5)$$

Планування та обробка результатів проводиться за стандартною методикою.

Експеримент проводиться для кожної культури та форми поверхні отвору окремо.

За отриманими значеннями критерію оптимізації (середньоквадратичне відхилення інтервалів між насінинами у рядку) розраховується коефіцієнт варіації.

3.4. Результати експериментальних досліджень впливу форми присмоктувального отвору ВПМВА на точність висіву

Оцінювання якості розміщення насіння просапних культур у рядку здійснюється на основі аналізу випадкових величин, зокрема інтервалів між насінинами, а також коефіцієнта варіації цього показника.

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на спеціальному стенді, який дозволяє відтворити реальний процес висіву з можливістю контролю точності його виконання.

Випробування виконувались відповідно до методики, наведеної у підрозділі 3.3.

Планування серій експериментів представлено у вигляді матриці, наведеної в табл. 3.2.

Значення параметра Y – середньоквадратичного відхилення інтервалів між насінинами в рядку – визначалися за алгоритмом обробки результатів факторного експерименту та наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Матриця планування і результати експериментів

№ досліджу	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

Значення критерію Кохрена для кукурудзи дорівнюють: розрахункове $G_{\text{розн}} = 1,103$; і табличне $G_{\text{табл}(2,29)_{0,05}} = 1,745$.

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

Значення коефіцієнтів рівняння регресії (3.8), 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 кукурудзи складає

$$\Delta \varepsilon_i = 0,00879$$

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 ($F_{\text{розн}} = 1,42$;) менше за табличне ($F_{\text{табл}} = 1,71$), тому одержане рівняння адекватно описує якість розподілу насіння кукурудзи у рядку для прийнятого інтервалу варіювання факторів.

Аналіз отриманих рівнянь регресії дозволяє оцінити ступінь впливу досліджуваних факторів на результат процесу. До числа найбільш вагомих параметрів віднесено діаметр присмоктувального отвору, кількість отворів на диску, а також величину розрідження у вакуумній камері.

Обробка та аналіз математичних моделей виконувалися з використанням функції MAXIMIZE у середовищі Mathcad. Для перевірки адекватності побудованих моделей проведено зіставлення теоретичних результатів із експериментальними даними за однакових умов. Встановлено, що відхилення між ними не перевищує 8,2 %, що свідчить про достатню адекватність отриманих залежностей.

Особливу увагу в роботі приділено дослідженню впливу форми присмоктувального отвору на точність висіву, тобто на рівномірність розміщення насінин у рядку.

Якість виконання посіву, яка характеризується рівномірністю розподілу насіння по довжині рядка, є основним показником ефективності роботи висівного апарата. Точність скидання насінин значною мірою залежить від характеру контактної взаємодії між насіниною та поверхнею присмоктувального отвору. Площа їхнього контакту змінюється залежно від геометрії як насінини, так і самого отвору. Якщо припустити, що насінина має сферичну форму, то площа контакту визначається виключно конфігурацією поверхні отвору.

Форма присмоктувального отвору може змінюватися від циліндричної до конічної, а також включати проміжні варіанти, наприклад тороїдальні профілі, виконані відповідно до заданих кривих у перерізі.

На сьогоднішній день у промисловості переважно застосовуються висівні диски з отворами циліндричної форми. Проте у даній роботі здійснюється пошук такої геометрії отвору, яка забезпечувала б ефективне захоплення насіння різних просапних культур (з урахуванням їх форми та розмірів) і сприяла б надійному та своєчасному відокремленню насінин, що є необхідною умовою якісного посіву.

За результатами проведених досліджень встановлено залежності впливу форми присмоктувального отвору на точність висіву, які подано у вигляді графіків на рис. 3.9.

Як показує аналіз отриманих залежностей, зі збільшенням швидкості обертання висівного диска V_d спостерігається зростання коефіцієнта варіації k_v , причому ця залежність має майже лінійний характер. При цьому отвори циліндричної форми забезпечують нижчу точність висіву порівняно з іншими дослідженими варіантами. Крім того, така форма є більш чутливою до зміни швидкісного режиму, що підтверджується більшим кутом нахилу відповідних графіків до осі швидкостей.

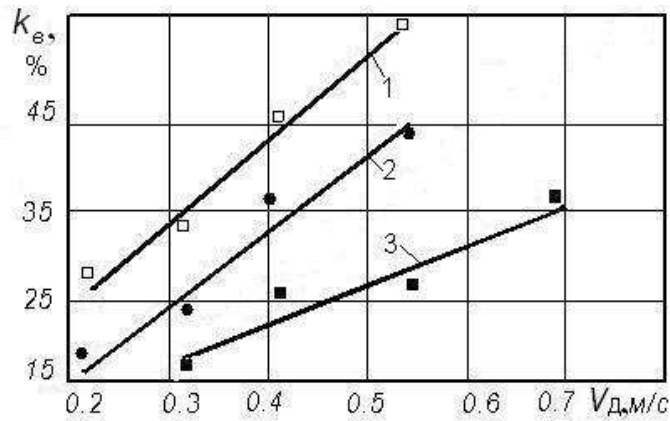


Рис. 3.9. Вплив форми отвору на точність висіву в залежності від швидкості руху висівного диска:

1 – циліндрична поверхня; 2 – конічна поверхня; 3 – тороїдальна поверхня.

Очевидно, що точність висіву при використанні циліндричних отворів значною мірою визначається співвідношенням діаметра отвору до діаметра насінини $v = d_{\text{отв}} / d_{\text{сем}}$, тобто геометричним параметром. Саме це співвідношення визначає глибину занурення насінини в отвір (рис. 3.10).

У результаті формується ситуація, за якої конкретний циліндричний отвір здатний забезпечити якісне дозування лише в обмеженому діапазоні розмірів насіння. При цьому необхідно дотримуватись компромісу між силою утримання насінини отвором P та силою тяжіння G , яка прямо залежить від маси, а отже і розміру насінини.

Зі збільшенням діаметра насінини її маса істотно зростає, що погіршує умови утримання і, відповідно, знижує точність дозування (рис. 3.11, права частина графіків).

У випадку малих розмірів насіння, коли $v = d_{\text{отв}} / d_{\text{сем}} \approx 1$, насінина занадто глибоко входить у отвір, що ускладнює її відокремлення під час скидання. За таких умов сила тяжіння має незначне значення через малу масу насінини, а також зменшується плече h її дії, яке сприяє викочуванню. Сукупність цих факторів негативно впливає на якість висіву.

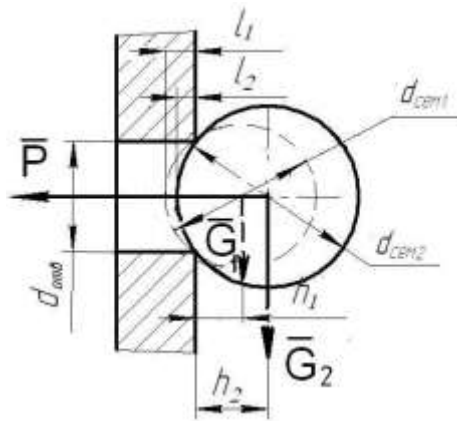


Рис. 3.10. Схема занурення насінини сферичної форми у циліндричний отвір.

Таким чином, у першому випадку спостерігається недостатня сила утримання насіння присмоктувальним отвором, що призводить до порушення стабільності дозування та появи пропусків. У другому випадку, коли діаметр насінини наближається до діаметра отвору, також фіксується зниження якості висіву через ускладнене відокремлення насіння.

Результати експериментального дослідження впливу діаметра присмоктувального отвору на точність висіву описуються кривими з екстремальним характером (рис. 3.11).

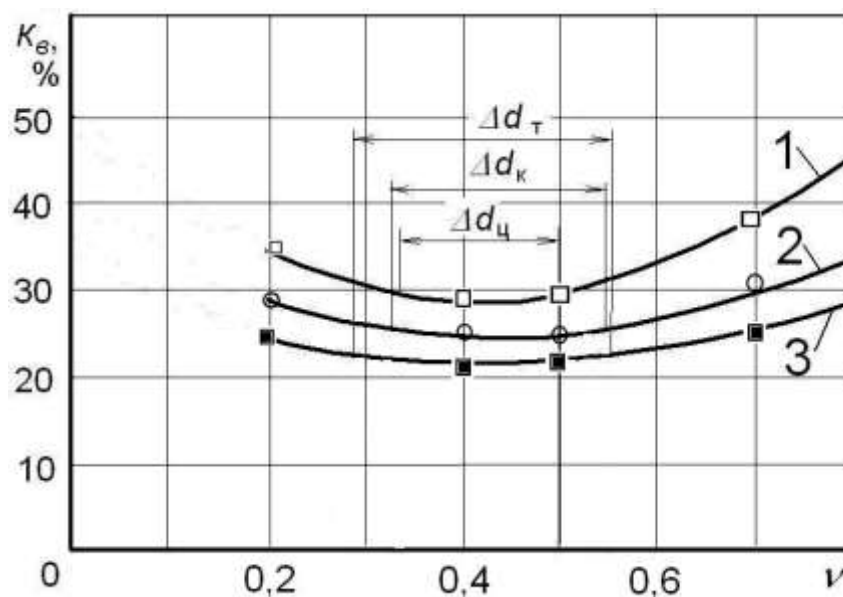


Рис. 3.11. Залежність точності висіву від діаметра присмоктувального отвору:

1 – циліндрична поверхня; 2 – конічна поверхня; 3 – тороїдальна поверхня.

Збіг експериментальних даних із теоретичними спостерігається лише в правій частині отриманих залежностей. Це пояснюється тим, що в експерименті розглядався ширший діапазон зміни геометричного параметра, зокрема випадки, коли малий діаметр отвору при сталому перепаді тиску не забезпечує достатнього утримання насінини. У таких умовах зниження точності висіву переважно зумовлене появою пропусків у рядку.

Характер зміни точності висіву у вигляді екстремальної кривої (мінімум–максимум) дозволяє визначити оптимальний діапазон значень діаметра присмоктувальних отворів.

Водночас слід зазначити, що отриманий інтервал оптимальних значень є характерним для фіксованого у досліді діаметра насінини. Для забезпечення ефективного дозування ключове значення має співвідношення $v = d_{\text{отв}} / d_{\text{сем}}$, яке згідно з теоретичними даними становить $v = 0,1 \dots 0,2$.

Використовуючи прийняте наближення насіння будь-яких просапних культур у вигляді сферичної форми, можна виконати розрахунок оптимальних значень діаметрів присмоктувальних отворів для відповідних умов висіву.

Одним із ключових завдань удосконалення висівних апаратів у напрямі їх універсалізації є розширення оптимальної зони роботи при забезпеченні необхідної точності висіву для різних культур. Одним із можливих шляхів досягнення цього є пошук такої геометрії присмоктувального отвору, яка б одночасно забезпечувала ефективне захоплення насінин і їх надійне скидання у борозну. У цьому контексті було запропоновано використання отворів конічної форми [4, 14].

Як впливає з результатів досліджень (рис. 3.11, залежність 2), застосування конічної форми отвору сприяє підвищенню точності висіву, а збільшення нахилу відповідної кривої свідчить про більш стабільний перебіг процесу. Така геометрія дозволяє ефективно захоплювати та утримувати насіння в ширшому діапазоні його розмірів. При цьому дрібні насінини глибше входять у отвір, тоді як більші – лише частково занурюються в нього.

Незважаючи на це, у всіх випадках контактна зона між насіниною та поверхнею отвору має форму, близьку до кола. Діаметр цієї контактної лінії залежить від глибини проникнення насінини в отвір. У результаті цього зона ефективного дозування насіння різних форм і розмірів розширюється, що відображено на рис. 3.11 (крива 2).

Зазначене розширення робочого діапазону підвищує функціональні можливості висівного апарата та сприяє його універсалізації для використання при сівбі різних просапних культур.

Виділення насінини з конічного присмоктувального отвору переважно відбувається внаслідок її перекочування по похилій поверхні. При цьому результуюча дія сил – відцентрової, сили тяжіння та опору руху – при розкладанні дає нормальну і тангенціальну складові, спрямовані вздовж твірної конуса. Співвідношення цих складових істотно залежить від кута конусності отвору і може бути змінене таким чином, щоб переважала складова, яка сприяє викочуванню насінини.

Досягти цього можливо шляхом обґрунтованого вибору кута нахилу робочої поверхні отвору. При збільшенні кута конусності зростає тангенціальна складова сили, тоді як нормальна, навпаки, зменшується. Обидва ці фактори позитивно впливають на процес відокремлення насіння: тангенціальна складова безпосередньо сприяє його виведенню з отвору, а зменшення нормальної складової знижує силу тертя насінини по поверхні, що полегшує її скидання висівним диском.

Найвищі показники точності висіву отримано для отворів тороїдальної форми (рис. 3.11, залежність 3). Для цього варіанта коефіцієнт варіації знаходиться в межах $K_v = 23\text{--}35\%$. При цьому перепад точності в усьому досліджуваному діапазоні швидкостей висівного диска є найменшим серед усіх розглянутих форм отворів. Це свідчить про підвищену стабільність процесу висіву при використанні тороїдальної геометрії.

Отвори такої форми не лише зменшують розкид відстаней між насінинами відносно середніх значень, визначених агротехнічними

вимогами[5], але й знижують вплив зміни швидкості обертання диска на якість висіву. Це підтверджується меншим нахилом відповідної кривої на графіку залежності.

Покращення показників точності пояснюється особливостями контактної взаємодії насінини з поверхнею отвору, особливо на етапі її відокремлення. Таким чином, подальший пошук та оптимізація форми присмоктувального отвору є перспективним напрямком досліджень, спрямованих на підвищення якості висіву та універсалізацію пневматичних висівних апаратів.

Схема контактної взаємодії сферичної насінини з тороїдальним присмоктувальним отвором у перерізі, виконаним по колу радіуса r_{ϕ} , наведена на рис. 3.12.

Пояснення підвищеної ефективності тороїдальної форми можна сформулювати таким чином. Оскільки напрями відцентрової сили, сили тяжіння та сили опору руху насінини, які формують рівнодійну силу R , не залежать від геометрії присмоктувального отвору, можна вважати, що напрям цієї рівнодійної є сталим. У такому випадку при розкладанні сили R на нормальну та тангенціальну складові відносно поверхні тороїдального отвору (рис. 3.12) їх співвідношення визначається виключно геометрією самої поверхні в даному перерізі.

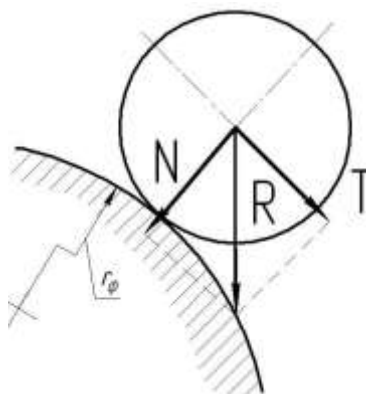


Рис. 3.12. Схема взаємодії насінини з поверхнею отвору тороїдальної форми при відокремленні.

З цього випливає, що зміною кута нахилу лінії скочування можна керувати величинами цих складових, а отже – і процесом відокремлення насінини від отвору. На відміну від конічної поверхні, де співвідношення нормальної і тангенціальної складових практично не змінюється вздовж траєкторії руху насінини, у випадку тороїдальної форми ці співвідношення варіюються. Це досягається за рахунок змінної кривизни поверхні, що дозволяє більш гнучко впливати на процес скидання.

У результаті час відокремлення насінини зменшується, а сам процес стає більш чітким і дискретним, що безпосередньо позитивно впливає на точність висіву. При цьому універсальність висівного апарата не погіршується, оскільки зберігаються всі переваги, характерні для отворів конічної форми.

Як і в попередніх випадках, контакт насінини з тороїдальною поверхнею відбувається по лінії спряження, близькій до кола. Незначне розширення області оптимальних значень діаметра отворів тороїдальної форми практично не змінює функціональні можливості апарата порівняно з конічними отворами.

Головною перевагою тороїдальної геометрії є саме підвищення точності процесу висіву, що підтверджується результатами досліджень.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Принцип дії пневмомеханічного висівного апарата

Сівалка УПС-8 використовується для точного висіву як каліброваного, так і звичайного насіння таких культур, як кукурудза, соняшник, буряк і соя.

Приведення в рух висівних дисків і шнеків туковисівних апаратів здійснюється від опорно-приводних коліс через систему ланцюгових передач і механізмів регулювання передаточного числа. Необхідне розрідження у кришці висівного апарата створюється вентилятором, ротор якого обертається від вала відбору потужності трактора з частотою $n = 540$ об/хв. Для контролю рівня розрідження в пневмосистемі передбачено встановлення мембранного тягоміра.

Під час роботи насіння під дією вакууму притягується до отворів висівного диска, що обертається, і переміщується із забірної камери до зони скидання. Надлишкові насінини, які утримуються одним отвором (більше однієї), відокремлюються та повертаються назад у камеру за допомогою спеціального скидача.

У нижній частині висівного апарата, коли отвори з насінням переходять із зони розрідження в зону атмосферного тиску, насінини поодиночки відокремлюються від диска і падають у борозну, сформовану сошником.

4.2. Технологічний розрахунок пневмомеханічного висівного апарата

Пневматичний висівний апарат точного однозернового висіву працює на принципі притягування насінин до отворів висівного диска за рахунок дії всмоктувального повітряного потоку.

Під час проходження диска через шар насіння на окремі насінини діє аеродинамічна сила, що виникає внаслідок руху повітря, яке засмоктується крізь отвори диска. Якщо ця сила перевищує сили інерції та зчеплення насінини

з іншими зернами, вона притягується до отвору, утримується на ньому та транспортується до зони висіву.

Для надійного захоплення насіння необхідно забезпечити достатній рівень розрідження у вакуумній камері висівного апарата, а також передбачити конструктивні елементи, які покращують процес заповнення отворів. До таких елементів належать воружилка, скидач зайвого насіння та інші допоміжні пристрої.

Ефективність роботи пневматичного висівного апарата значною мірою залежить від фізико-механічних та аеродинамічних характеристик насіння, зокрема відстані захоплення, початкової швидкості насінин відносно отворів диска, коефіцієнта тертя, питомої маси тощо.

Для забезпечення стабільного присмоктування насіння до отворів диска необхідно визначити оптимальне значення розрідження. При підвищенні частоти обертання диска під дією відцентрових сил насінини можуть відриватися від отворів і зміщуватися вздовж осі у.

Умова рівноваги насінини при цьому може бути записана у вигляді [4]

$$\begin{cases} \sum x = 0 \\ \sum y = 0 \end{cases} \begin{cases} R - N \cos \beta = 0 \\ F_{\text{ц}} - mg \sin \alpha - N \sin \beta = 0 \end{cases}, \quad (4.1)$$

де R – сила присмоктування насіння;

$F_{\text{ц}}$ – відцентрова сила інерції;

α – кутова координата насінини;

N – реакція ребра отвору;

β – кут між N і віссю x .

Величина R залежить від розрідження в вакуумній камері висівного апарата, а значення останнього визначає якість роботи пневматичного висівного апарата.

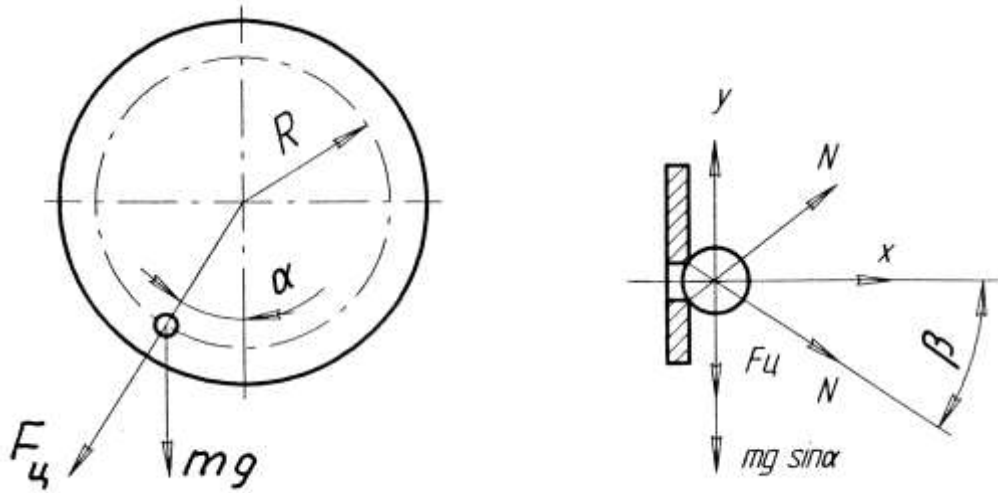


Рис. 4.1 Схема сил, діючих на насінину, присмоктану до отвору.

Розрахунок зводиться до визначення необхідного розрідження.

Розрізняють три характерні випадки присмоктування насіння до отворів присмоктуючого диска[4].

1. Насіння знаходиться в безпосередній близькості до отворів, кратній його розмірам

$$\Delta P_1 = \frac{[1 + 0,8 \cdot (\frac{d_{\text{нас}}}{2 \cdot d_{\text{отв}}}) - 1,4] \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot g_{\text{в}}^2 \cdot (\hat{E} - \sin \alpha \cdot \sqrt{d_{\text{нас}}^2 - d_{\text{отв}}^2})}{1,15 \cdot (2 \cdot \frac{d_{\text{нас}}}{d_{\text{отв}}}) - 2,8 \cdot \mu^2 \cdot g \cdot d_{\text{отв}}}, \quad (4.2)$$

2. Насіння знаходиться в стані присмоктування, захоплене у ребер отворів, потоком повітря, яке рухається

$$\Delta P_2 = \frac{\gamma_{\text{в}} \cdot g_{\text{в}}^2 \cdot (\hat{E} - \sin \alpha \cdot \sqrt{d_{\text{нас}}^2 - d_{\text{отв}}^2})}{2 \cdot g \cdot \mu^2 \cdot d_{\text{отв}}}, \quad (4.3)$$

3. Насіння присмокталося до отвору і обертається разом з диском

$$\Delta P_3 = \frac{4 \cdot m \cdot g \cdot (\hat{E} - \sin \alpha \cdot \sqrt{d_{\text{нас}}^2 - d_{\text{отв}}^2})}{\pi \cdot d_{\text{отв}}^3}, \quad (4.4)$$

В наведених вище рівняннях запроваджені позначення:

$d_{\text{нас}}$ – усереднений діаметр насіння кукурудзи, $d_{\text{нас}} \approx 8,3$ мм;

m – середня маса насінини $m = 334 \cdot 10^{-6}$ кг;

$d_{\text{отв}}$ – діаметр отворів у диску

$$d_{\text{отв}}=(0,6...0,7) \ d_{\text{нас}}=4,98...5,81 \text{ мм.}$$

$$\text{Приймаємо } d_{\text{отв}}=5,5 \text{ мм;}$$

$$\gamma_{\text{е}} - \text{щільність повітря, } \gamma_{\text{е}} = 1,24 \text{ кг/м}^3 \text{ при нормальних умовах}$$

$$\mu - \text{коефіцієнт витрат } \mu = 0,8$$

$$v_{\text{кр}} - \text{критична швидкість повітряного потоку, рівна швидкості витання}$$

насіння

$$v_{\text{кр}}^{\text{кук}} = 9,8...13,5 \text{ м/с, приймаємо } 12 \text{ м/с}$$

$$g - \text{прискорення вільного падіння}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$K = \frac{\varpi^2 \cdot r}{g} - \text{коефіцієнт кінематичного режиму руху диска}$$

$$\varpi = \frac{\pi \cdot n_{\text{д}}}{3 \cdot Q},$$

$$\text{де } n_{\text{д}} = \frac{Q \cdot g_{\text{а}}}{Z \cdot (1 - \xi)} - \text{частота обертання висівного диска при нормі висіву}$$

Q , шт/м

$$v_{\text{а}} - \text{швидкість руху посівного агрегату, м/с}$$

$$Z - \text{число отворів у диску, приймаємо по базовому варіанту } Z=30$$

$$\xi = 0,05-0,1 - \text{коефіцієнт проковзування.}$$

Розрахунки виконуються для найбільш поширеної норми висіву при висіві на зерно $Q=5,6$ шт/м і розрахункової швидкості посіву $v=3,3$ м/с

$$n_{\text{а}} = \frac{5,6 \cdot 3,3}{30 \cdot (1 - 0,08)} = 0,922 \text{ с}^{-1} \text{ або } n_{\text{д}} = 55,32 \text{ хв}^{-1}$$

$$\varpi = \frac{\pi \cdot n_{\text{д}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 55,32}{30} = 5,79 \text{ с}^{-1},$$

$$\text{Тоді } K = \frac{\varpi^2 \cdot r}{g} = \frac{5,79^2 \cdot 0,06}{9,81} = 0,205,$$

$$\text{де } r - \text{радіус розташування отворів диска, конструктивно } r = 0,09 \text{ м.}$$

Визначення необхідного розрідження для всіх трьох випадків при куті $\alpha=180^\circ$, коли виконується відрив насіння від отворів і коли створюються

умови, сприятливі передчасному відриву насіння, чого не повинно коїтися бо порушується якість висіву.

$$\Delta P_1 = \frac{[1 + 0,8 \cdot (\frac{8,3}{2 \cdot 5,5})^{-1,4}] \cdot 1,24 \cdot 12^2 \cdot (0,205 - \sin 180^\circ) \cdot \sqrt{(8,3^2 \cdot 10^{-3}) - (5,5^2 \cdot 10^{-3})^2}}{1,15 \cdot (2 \cdot \frac{8,3}{5,5})^{-2,8} \cdot 0,8^2 \cdot 9,8 \cdot 5,5} =$$

$$= 367,44 \text{ кгс/м}^2 \text{ або } \Delta P_1 = 3,67 \text{ кПа.}$$

$$\Delta P_2 = \frac{1,24 \cdot 12^2 \cdot (0,205 - \sin 180^\circ) \cdot \sqrt{(8,3 \cdot 10^{-3})^2 - (5,5 \cdot 10^{-3})^2}}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,8^2 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3}} = 9,7 \text{ кгс/м}^2$$

$$\text{або } \Delta P_2 = 0,1 \text{ кПа.}$$

$$\Delta P_3 = \frac{4 \cdot 334 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8 \cdot (0,205 - \sin 180^\circ) \cdot \sqrt{(8,3 \cdot 10^{-3})^2 - (5,5 \cdot 10^{-3})^2}}{3,14 \cdot (5,5 \cdot 10^{-3})^3} = 360 \text{ кгс/м}^2$$

$$\text{або } \Delta P_3 = 3,6 \text{ кПа.}$$

Розрідження в 4 кПа достатньо для роботи висівного апарата при висіві насіння кукурудзи.

4.3. Кінематичний розрахунок механізма привода висівних апаратів

Згідно агротехнічних вимог на просапні сівалки насіння кукурудзи висівають з міжряддям 70 см.

Норми висіву складають:

25 тис. шт./га – мінімальна

80 тис. шт./га – господарська

150 тис. шт./га – максимальна,

або відповідно 1,75; 5,6; 10,5 шт/м.

Частота обертання висівного диска визначається з відношення [8].

$$n = \frac{N \cdot g_a}{Z (1 - \xi)}, \quad (4.5)$$

де N – норма висіву насіння, шт./м;

v_a – швидкість руху агрегату, м/с;

ξ – коефіцієнт проковзування коліс – $\xi=0,07$;

Z – число присмоктувальних отворів диска.

При швидкості руху агрегату $v_a=2,78$ м/с (10 км/год) і нормі висіву 1,75 шт/м частота обертання висівного диска складає

$$n = \frac{1,75 \cdot 2,78}{22(1-0,07)} = 0,238 \text{ с}^{-1} \text{ або } n=14,27 \text{ хв}^{-1}$$

Для норми висіву 5,6 шт/м

$$n = \frac{5,6 \cdot 2,78}{22(1-0,07)} = 0,76 \text{ с}^{-1} \text{ або } n=45,65 \text{ хв}^{-1}$$

Для норми висіву 10,5 шт/м.

$$n = \frac{10,5 \cdot 2,78}{22(1-0,07)} = 1,43 \text{ с}^{-1} \text{ або } n=85,6 \text{ хв}^{-1}$$

Так як $v_a=2,78$ м/с або $v_a=10$ км/год є максимальною, то умови присмоктування соняшника при меншій швидкості будуть сприятливіші, тому подальші розрахунки виконуємо для максимальної швидкості.

Крутний момент на вал висівного апарата передається від опорно-приводного колеса за допомогою механізму передач (рис.4.2).

Необхідне передаточне відношення можна визначити з формули [11]

$$i = \frac{Q \cdot b \cdot \pi \cdot D}{9a \cdot \gamma \cdot 10^3 \cdot (1-\xi)}, \quad (4.6)$$

де Q – норма висіву, кг/га;

b – ширина міжряддя, м;

D – діаметр колеса, м

a – швидкість руху посівного агрегату, км/год;

γ – об'ємна вага насіння, кг/дм³;

ξ – коефіцієнт проковзування.

Знаючи число отворів у висівному диску і відстань між насінинами у рядку, виходячи з заданої норми висіву 25, 80, 150 тис. шт./га передаточне відношення також можна визначити з формули [8]

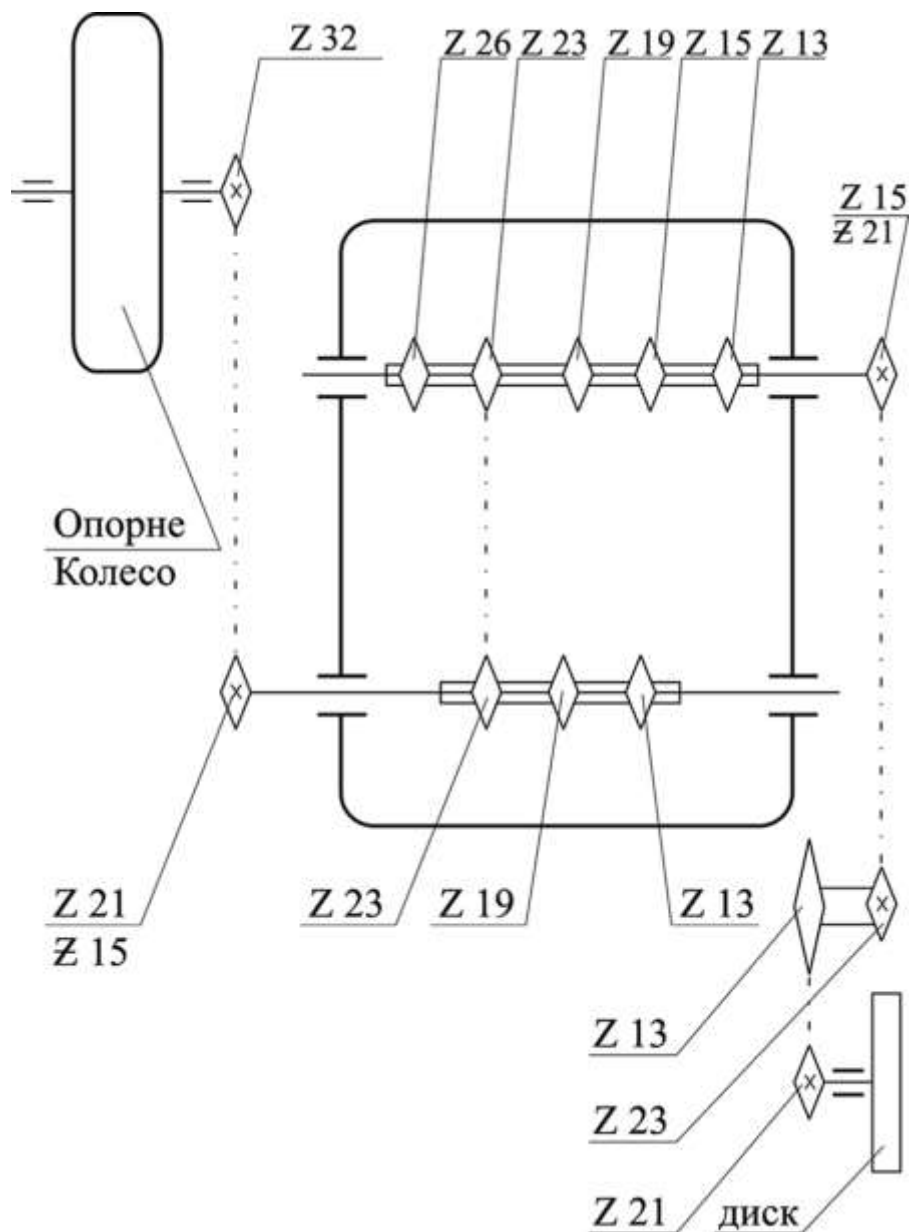


Рис.4.2. Схема механізму передач на висівні апарати.

$$i = \frac{\pi \cdot D}{Z \cdot a \cdot (1 - \xi)}, \quad (4.7)$$

де Z – число отворів у диску, шт.;

a – відстань між насінинами у рядку

$a = 57,1\text{см}, 17,9\text{см}, 9,5\text{см}$ відповідно для $N = 1,7; 5,6; i 10,5$ шт/м

$$i_1 = \frac{3,14 \cdot 0,78 \cdot 10^2}{22 \cdot 57,1 \cdot 0,93} = 0,137,$$

$$i_2 = \frac{3,14 \cdot 0,78 \cdot 10^2}{22 \cdot 17,9 \cdot 0,93} = 0,437,$$

$$i_3 = \frac{3,14 \cdot 0,78 \cdot 10^2}{22 \cdot 9,5 \cdot 0,93} = 0,823.$$

Виконуємо вибір зірочок для висіву основних норм насіння кукурудзи

$$i_1 = \frac{21}{21} \cdot \frac{12}{26} \cdot \frac{15}{23} \cdot \frac{13}{21} = 0,147,$$

$$i_2 = \frac{21}{21} \cdot \frac{21}{9} \cdot \frac{15}{23} \cdot \frac{13}{21} = 0,442,$$

$$i_3 = \frac{21}{21} \cdot \frac{23}{13} \cdot \frac{15}{23} \cdot \frac{13}{21} = 0,817.$$

Перевіряємо дійсну норму висіву по отриманим передаточним відношенням

$$a_1 = \frac{\pi \cdot D}{i_1 \cdot Z \cdot (1 - \xi)} = \frac{3,14 \cdot 51}{0,147 \cdot 22 \cdot 0,93} = 55,2 \text{ см};$$

$$a_2 = \frac{\pi \cdot D}{i_2 \cdot Z \cdot (1 - \xi)} = \frac{3,14 \cdot 51}{0,442 \cdot 22 \cdot 0,93} = 17,5 \text{ см};$$

$$a_3 = \frac{\pi \cdot D}{i_3 \cdot Z \cdot (1 - \xi)} = \frac{3,14 \cdot 51}{0,817 \cdot 22 \cdot 0,93} = 9,92 \text{ см}.$$

тоді $N_1 = 1,87$ шт/м

$N_2 = 5,71$ шт/м

$N_3 = 10,2$ шт/м

Визначимо похибку в розрахованому та потрібному передаточному відношенні

$$\Delta_1 = \frac{1,75 - 1,87}{1,87} \cdot 100 = 3,4\%,$$

$$\Delta_2 = \frac{5,6 - 5,71}{5,71} \cdot 100 = 1,9\%,$$

$$\Delta_3 = \frac{10,2 - 10,5}{10,5} \cdot 100 = 2,85\%,$$

що відповідає даним вихідних вимог – не більше 5%.

Отже, замінивши у механізмі передач зірочку Z-21 на Z-23 можна одним диском з кількістю отворів 30 забезпечити всі норми висіву насіння кукурудзи.

Визначаємо максимальну колову швидкість на максимальній нормі висіву

$$v_r = \pi \cdot n \cdot R / 30 = 3,14 \cdot 85,6 \cdot 0,06 / 30 = 0,537 \text{ м/с},$$

що перевищує граничну $v_r = 0,5 \text{ м/с}$, тому максимальну норму висіву насіння кукурудзи треба виконувати на швидкості до 9 км/год, коли

$$v_r = \pi \cdot n \cdot R / 30 = 3,14 \cdot 76,9 \cdot 0,06 / 30 = 0,48 \text{ м/с}.$$

4.4. Енергетичний розрахунок трактора

Тяговий опір сівалки складається з таких складових частин [11]

$$P_c = R_n + R_c + R_\alpha + R_{mp} + R_{yg} + R_g, \quad (4.8)$$

де R_n – опір коліс завантаженої сівалки перекочуванню по підготовленому ґрунту

R_c – опір сошників, занурених у ґрунт

R_α – опір висівних апаратів

R_{mp} – опір тертя в підшипникових вузлах

R_{yg} – опір від випадкових поштовхів та ударів

R_g – опір розрізаючих дисків

Із всіх складових найбільш суттєвими є опір перекочуванню коліс R_n , опір сошників R_c та опір розрізаючих дисків R_g .

Опір висівних апаратів, тертя у підшипниках та опір від поштовхів складає не більше – 2,5% від середнього тягового опору сівалки, тому для практичних розрахунків достатньо визначити опір перекочуванню коліс, опір сошників та розрізаючих дисків при роботі сівалки.

Тяговий опір на перекочування обумовлений роботою сівалки, яка витрачається на деформування зминання ґрунту колесом під дією ваги сівалки і залежить від розмірів колеса, навантаження та фізико-механічного складу ґрунту.

Припустимо, що питомий опір ґрунту зминанню пропорційний зануренню колеса

$$q = q_0 h, \quad (4.9)$$

де q – питомий опір ґрунту, м/см^2

q_0 – коефіцієнт об'ємного опору ґрунту, м/см^2

h – глибина занурення колеса.

Для визначення зусилля, яке потрібно на перекочування колеса, акад. Гарячкін отримав таку формулу[11]

$$R_n = 3 \sqrt{\frac{Q^4}{q_0 \cdot b \cdot D^2}}, \quad (4.10)$$

де Q – навантаження на колесо, м

b – ширина обода, см

D – діаметр колеса, см

Є і інша формула для визначення тягового зусилля на пересування колеса. Припустимо, що опір ґрунту перекочуванню пропорційний глибині занурення, тоді

$$R_n = \frac{0,958 \cdot Q^{3/2}}{\sqrt{q_0 \cdot D^{3/4}}}, \quad (4.11)$$

де $q_0 = \alpha \cdot (1 + 0,27 \cdot b)$, α – табличний коефіцієнт, $\alpha = 1,03 \dots 1,4$.

Для орієнтовного підрахування приймаємо, що середній опір перекочуванню по спущеному ґрунту складає 20...25% від ваги сівалки, тобто $R_n = (0,2 \dots 0,25) \cdot Q$. Маса завантаженої сівалки складає 2100 кг, тоді

$$R_n = 2100 \cdot 0,25 = 525 \text{ кгс} = 5250 \text{ Н}$$

Опір сошника залежить від його ширини, ваги, профілю наральника та фізичних властивостей ґрунту.

Середній опір одного полозоподібного сошника з дослідних даних складає 42,5 кгс або 425 Н, тоді загальний опір сівалки буде складати

$$P_c = R_n + 8R_c \quad (4.12)$$

$$\text{тоді } P_c = R_n + 8R_c = 5250 + 8 \cdot 425 = 8650 \text{ Н} = 8,65 \text{ кН}$$

Приймаємо для агрегування трактор МТЗ-82, у якого тягове зусилля на швидкості 8,4 км/год складає 14 кН.

Запас тягового зусилля складає

$$n = \frac{P_{mp}}{P_c} = \frac{14}{8,65} = 1,62 \text{ км}$$

що достатньо для якісної роботи сівалки УПС-8.

Порушення повздовжньої стійкості колісного трактора не буде, якщо [11]

$$P_c \leq \frac{G_m}{h_{кр}} (a \cos \alpha - h \sin \alpha) , \quad (4.13)$$

де G_m – вага трактора

$h_{кр}$ – відстань від поверхні поля до точки причепа сівалки

a – повздовжня відстань від зірочки трактора до центра тяжіння

α – кут нахилу поля.

для МТЗ-82 (табл. 10.1 [11])

$$P_c \leq \frac{36}{0,48} (0,724 \cos 8^\circ - 0,48 \sin 8^\circ) = 51,5 \text{ кН}$$

Таким чином $8,65 < 51,5$ і сівалка буде стійко виконувати технологічний процес на схилах до 8° .

4.5. Розрахунки на міцність

4.5.1. Розрахунок вала висівного апарата

Силовий розрахунок вала висівного апарата виконуємо по максимально можливому крутному моменту, що може розвинути приводне колесо.

Максимальний крутний момент, який може передати опорно-приводне колесо, буде

$$i = \frac{f \cdot Q \cdot D}{2k}, \quad (4.14)$$

де Q – вага сівалки з бункерами, наповненими насінням та добривами, $Q=2100$ Н;

D – діаметр опорно-приводного колеса, $D=0,78$ м;

k – кількість коліс на сівалці, $k=2$;

f – коефіцієнт зчеплення з ґрунтом для пневматичних коліс, приймаємо $f=0,4$;

$$M = \frac{0,4 \cdot 2100 \cdot 0,78 \cdot 10}{2 \cdot 2} = 1529 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на валу висівного апарата

$$M_a = \frac{M \cdot \eta}{i},$$

де η – ККД ланцюгової передачі, приймаємо $\eta=0,9$;

i – передаточне відношення з опорного колеса на вал апарата.

Необхідний розрахунок зусилля, що діє на зірочці висівного апарата

$$P_a = \frac{2M}{d_3}, \quad (4.16)$$

де d_3 – діаметр зірочки

$$d_3 = \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{Z}} \quad (4.17)$$

$$d_3 = \frac{15,875}{\sin \frac{180^\circ}{23}} = 113 \text{ мм}$$

тоді

$$P_a = \frac{229 \cdot 2}{0,113} = 3523 \text{ Н}$$

Так як від одного колеса виконується привід чотирьох висівних апаратів, то на валу кожного апарата зусилля буде складати

$$P_{a1} = \frac{P_a}{4},$$

$$P_{a1} = \frac{3523}{4} = 880 \text{ Н}$$

Малюємо схему навантаження вала висівного апарата.

Тут позначені $l_1=60$ см, $l_2=20$ см, $l_3=40$ см згідно інструкції.

Розраховуємо момент опору обертання диска

$$T_1=T_2=M_a=0,23 \text{ кН м}$$

Для побудови епюри згину в вертикальній площині знаходимо реакції опор в точках В і С

$$\sum M_B = 0$$

$$-R_c \cdot l_2 + P_{A2}(l_2 + l_3) = 0;$$

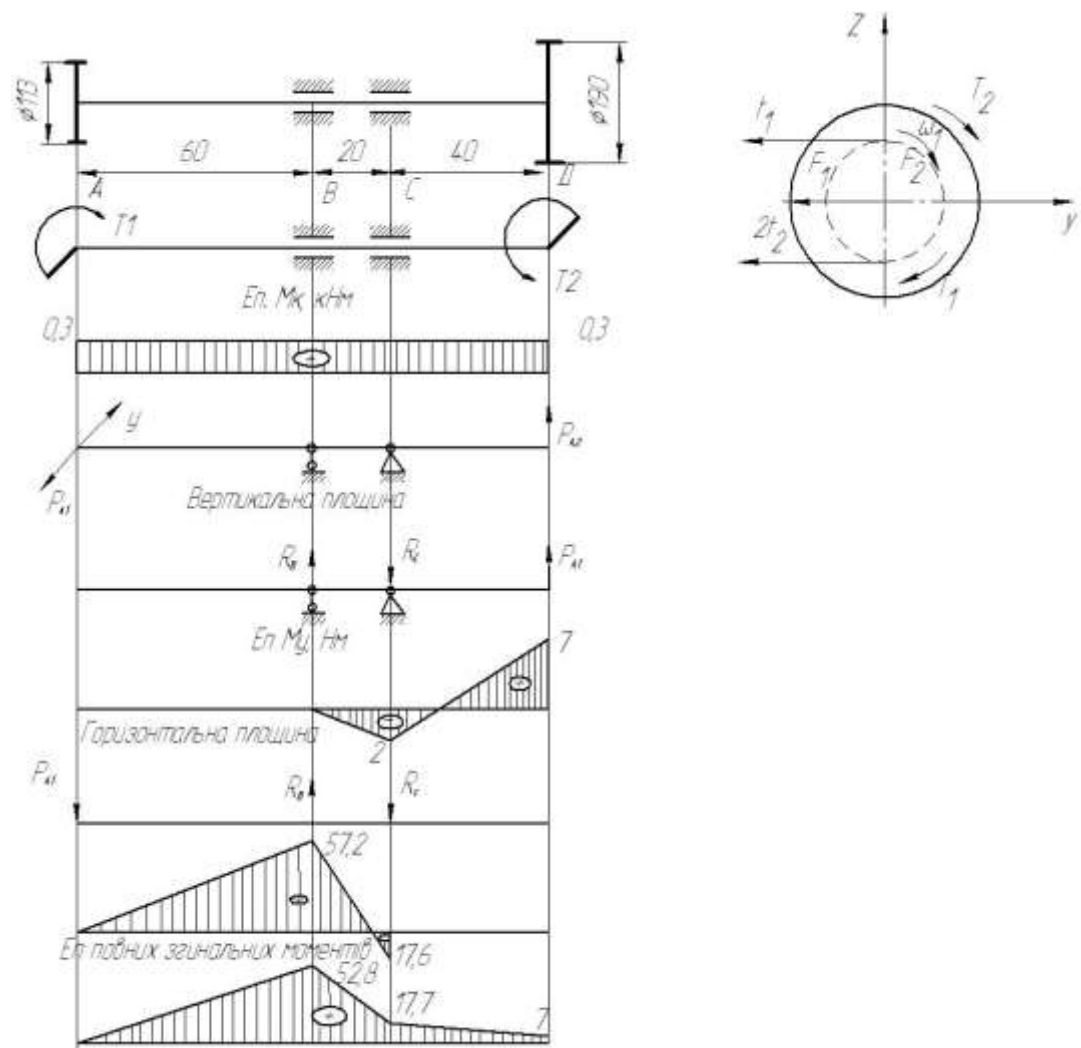


Рис. 4.3. Схема навантаження вала висівного апарата та епюр.

$$R_c = \frac{P_{A2} (l_2 + l_3)}{l_2}$$

$$R_c = \frac{50(0,02 + 0,04)}{0,02} = 150H_M$$

$$\sum M_C = 0$$

$$-R_B \cdot l_2 + P_{A2} l_3 = 0;$$

$$R_B = \frac{P_{A2} l_3}{l_2}$$

$$R_B = \frac{50 \cdot 0,04}{0,02} = 100H_M$$

Перевіряємо вірність розрахунків

$$R_B - R_c + P_{A2} = 0$$

$$100 - 150 + 50 = 0$$

Для побудови епюри згину в горизонтальній площині знаходимо реакції опор в точках В і С:

$$\sum M_B = 0$$

$$P_{A1} \cdot l_1 - R_c \cdot l_2 = 0;$$

$$R_c = \frac{P_{A1} l_1}{l_2}$$

$$R_c = \frac{880 \cdot 0,06}{0,02} = 2640H_M$$

$$\sum M_C = 0$$

$$-R_B \cdot l_2 + P_{A1} (l_1 + l_2) = 0;$$

$$R_B = \frac{P_{A1} (l_1 + l_2)}{l_2};$$

$$R_B = \frac{880 \cdot 0,08}{0,02} = 3520H_M$$

Перевіряємо вірність розрахунків:

$$-P_{A1} + R_B - R_c = 0$$

$$-880 + 3520 - 2640 = 0$$

Розраховуємо епюру повних згинальних моментів:

$$M_{зг} = \sqrt[3]{M_B^2 + M_I^2}$$

$$M_{зг}^A = 0$$

$$M_{зг}^B = \sqrt[3]{0^2 + (-52,8)^2} = 52,8 \text{ Н}$$

$$M_{зг}^C = \sqrt[3]{2^2 + (-17,6)^2} = 17,7 \text{ Н}$$

$$M_{зг}^D = \sqrt[3]{(-7)^2 + 0^2} = 7 \text{ Н}$$

Таким чином, розрахунки виконано вірно.

Будуємо епюру згинаючого моменту.

Визначаємо мінімальний діаметр вала в небезпечному перетині.

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_3}{0,1[\delta]_B}} \quad (4.26)$$

$$M_3 = P_{A1} \cdot r \quad (4.27)$$

$$M_3 = 880 \cdot 0,15 = 132 \text{ Нм}$$

Матеріал для вала приймаємо сталь 5, для якої $[\delta]_3 = 50 \text{ кгс/мм}^2$

Запасу міцності достатньо для працездатності висівного апарата.

4.5.2. Розрахунок підшипників

Проведемо перевірочний розрахунок підшипників опорно-приводного колеса на довговічність.

Для проведення розрахунку вибираємо підшипник радіальний однорядної серії з двох сторін з ущільнювачами [15] 180204 ГОСТ 882-75 з параметрами (рис. 4.4): зовнішній діаметр – 47 мм; внутрішній діаметр – 20 мм; ширина – 14 мм.

Динамічна вантажоспроможність – 12,7 кН.

Номінальна довговічність розраховується по формулі [15]

$$L_\gamma = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{c}{P} \right)^3, \quad (4.40)$$

де n – число обертів внутрішнього кільця підшипників [15]

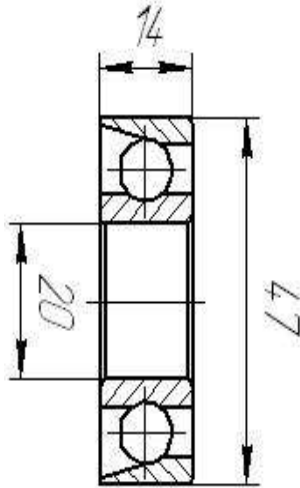


Рис. 4.4. Радіальний підшипник.

$$n = \frac{60 \cdot V_c}{7,2 \cdot 2 \cdot R_{cm}}, \quad (4.41)$$

де V_c – швидкість сівалки, $V_c=3,3$ м/с;

R_{cm} – статичний радіус колеса, $R_{cm}=0,241$ м;

P – еквівалент навантаження на підшипник[15]

$$P = F_2 \cdot \gamma \cdot k_\sigma \cdot k_t, \quad (4.42)$$

F_2 – навантаження на найбільш навантажений підшипник

$$F_2 = \sqrt{R_B^x{}^2 + R_B^y{}^2}, \quad (4.43)$$

$$F_2 = \sqrt{1055^2 + 836^2} = 1374 \text{ Н}$$

де γ – коефіцієнт обертання при обертанні внутрішнього кільця, $\gamma=1,0$;

k_σ – коефіцієнт безпеки вузлів, які потребують підвищення довговічності;

k_t – температурний коефіцієнт, $k_t=1,1$

$$P = 1347 \cdot 1,0 \cdot 1,8 \cdot 1,1 = 2668 \text{ Н}$$

$$n = \frac{60 \cdot 3,3}{7,2 \cdot 2 \cdot 0,241} = 77 \text{ об/хв}$$

$$L_\gamma = \frac{10^6}{60 \cdot 77} \left(\frac{12700}{2668} \right)^3 = 23345 \text{ год.}$$

Розрахункова довговічність задовольняє умови служби на весь строк експлуатації машини.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути під час експлуатації сівалки УПС-8

Відповідно до вимог ГОСТ 12.0.003, під час роботи модернізованого посівного агрегату з сівалкою на обслуговуючий персонал можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

До фізичних небезпечних і шкідливих факторів [16] належать:

- рух агрегату разом із сівалкою під час виконання робіт;
- підвищена запиленість і загазованість повітря в робочій зоні;
- відхилення температури поверхонь обладнання та матеріалів від нормативних значень;
- підвищена або знижена температура повітря;
- надмірний рівень шуму на робочому місці;
- підвищена вібрація;
- відхилення вологості повітря від оптимальних значень;
- надмірна або недостатня рухливість повітряних мас;
- накопичення статичної електрики;
- недостатність природного освітлення або його відсутність;
- низький рівень освітленості робочої зони;
- надмірна яскравість світла;
- знижена контрастність зорового сприйняття;
- наявність прямого та відбитого блиску;
- гострі кромки, виступаючі елементи робочих органів, задирки та шорсткості поверхонь [16].

До хімічних небезпечних і шкідливих факторів [16] відносять речовини, що можуть негативно впливати на організм людини, зокрема на репродуктивну функцію. Серед них — відпрацьовані гази двигунів, підвищені концентрації пилу, що містить діоксид кремнію (SiO_2), та інші шкідливі домішки [16].

Психофізіологічні фактори [16] включають різні види фізичних перевантажень, зокрема статичні та динамічні, які виникають у процесі виконання виробничих операцій.

- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці перевантаження) [16].

5.2. Розробка заходів по покращенню умов праці

5.2.1. Заходи по створенню нормальних та нешкідливих умов праці

Відповідно до вимог ГОСТ 12.2.019 та ГОСТ 12.2.111 для зменшення впливу шкідливих факторів на механізатора передбачено комплекс захисних заходів. Зокрема, усунення впливу пилу та шкідливих газів забезпечується застосуванням пилевідокремлювача, встановленого в кабіні трактора, який здійснює очищення повітря [16].

Посівний агрегат оснащений необхідними засобами для забезпечення безпеки та комфорту оператора: футляром для аптечки першої медичної допомоги, термосом для питної води об'ємом 3 л, дзеркалом заднього виду з можливістю регулювання, а також пристроєм для фіксації верхнього одягу тракториста. Рівень зовнішнього шуму під час роботи агрегату не перевищує допустимого значення 85 дБА.

Конструктивне розташування основних вузлів агрегату забезпечує достатню оглядовість як під час виконання технологічних операцій, так і при транспортуванні [16]. Це стосується:

- робочого простору в зоні огляду відповідно до вимог ГОСТ 12.2.019;
- конструктивних елементів (зокрема переднього колеса) та маркерної лінії, яка використовується для орієнтації руху агрегату;
- робочих органів, що потребують постійного візуального контролю [16].

Кути огляду через вікна кабіни трактора відповідають нормативним значенням і не є меншими за показники, наведені в таблиці 2 ГОСТ 12.2.019.

5.2.2. Заходи по забезпеченню безпечних умов праці

На підставі аналізу, виконаного в п. 5.1, для забезпечення безпечних умов праці при роботі посівного агрегату передбачено комплекс відповідних заходів.

Гідроприводи сконструйовані з урахуванням вимог ГОСТ 12.2.040 та ГОСТ 12.2.086. З'єднання гідросистеми машини з гідросистемою трактора здійснюється за допомогою розривних муфт, що запобігають розбризкуванню робочої рідини та її потраплянню на оператора. Регулювання робочих органів під час руху агрегату виконується безпосередньо з кабіни трактора [16].

У важкодоступних вузлах застосовано підшипники з одноразовим змащенням, розрахованим на весь міжремонтний період. Точки змащення позначені спеціальними кольоровими індикаторами, які контрастують із загальним кольором машини [16].

Агрегат додатково укомплектований набором інструментів, які відсутні в базовій комплектації трактора. Для очищення робочих органів вручну передбачені спеціальні чистики, а їх розташування забезпечує безпечний доступ і зручність обслуговування.

Рівень шуму на робочому місці оператора відповідає допустимим нормам і не перевищує значень, встановлених ГОСТ 12.2.019.

Кольорове оформлення сівалки виконано з урахуванням таких вимог [16]:

- загальний колір машини контрастує з фоном поля, на якому вона працює;
- поверхні, що постійно знаходяться в полі зору оператора, мають матове покриття для зменшення відблисків.

На сівалці нанесені попереджувальні та заборонні написи, які інформують обслуговуючий персонал про можливі небезпечні ситуації при порушенні правил експлуатації [16].

Параметри вібрації як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках на сидінні оператора відповідають вимогам ГОСТ 12.2.019.

6 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У науково-дослідній частині роботи проведено експериментальні дослідження впливу параметрів висівного диска ВПМВА на якість розподілу насіння по довжині рядка. Підтверджено теоретичний висновок про доцільність використання тороїдальної форми поверхні присмоктувального отвору висівного диска. Таке вдосконалення дозволить підвищити лінійну швидкість руху отворів висівного диска зі збереженням якості висіву.

На основі результатів наукових досліджень вдосконалена конструкція вакуумного пневмомеханічного висівного апарата. Проведені технологічні, кінематичні і енергетичні розрахунки сівалки, розрахунки на міцність.

Впровадження модернізованого висівного апарата у виробництво дозволить підвищити точність висіву та продуктивність посівного агрегату.

В розділі охорони праці проведений аналіз шкідливих факторів та запропоновані заходи для зменшення їх дії на оператора сівалки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Амосов, В. В. Обґрунтування параметрів універсального висівного апарата для просапних культур : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Кіровоградський національний технічний ун-т. Кіровоград, 2006. 151 с.
2. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / В. В. Адамчук, Г. Л. Баранов, О. С. Барановський та ін.; за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалю. Київ : Аграрна наука, 2004. 396 с.
3. Петренко М. М., Васильковський М. І., Васильковська К. В. Аналіз конструкцій висівних апаратів точного висіву. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Т. 1 «Механізація с.-г. виробництва»*. 2010. Вип. 93. С. 157–163.
4. Корнєв Ю.М., Шмат С.І. Підвищення рівномірності розподілу насіння у борозні. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки: зб. наук. праць*. Кіровоград : КІСМ, 1997. С.57–61.
5. Гайденко О. Основні агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту та сіви. *Механізація АПК*. 11 серпня 2020. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/18415-osnovni-ahrotekhnichni-vymohy-do-obrobitku-gruntu-ta-sivby.html>
6. Сисолін П. В., Свірень М.О. Висівні апарати сівалок (еволюція конструкцій, розрахунки параметрів): посібник для студ. вищих навч. закл. із спец. "Машина та обладнання с.-г. виробництва". Кіровоградський національний технічний ун-т. Кіровоград, 2004. 160 с.
7. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, К.В. Васильковська, Д.І. Петренко. Харків : Мачулін, 2019. 164 с.
8. Мартиненко С.А, Дранко М.В., Остапчук М.В. Модернізація висівального апарата пневматичної сівалки. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб.* Кіровоград : КДТУ, 2004. Вип. 34. С. 94–99.

9. СОУ 74.3-37-129:2004 Випробування сільськогосподарської техніки. Машини посівні. Методи випробувань. / М. Собчук, В. Погорілий, Л. Шустік та ін. Київ : Мінагрополітики України, 2006. 86 с.

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

11. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: підручник для студ. вищ. навч. закл. зі спец. “Машини та обладнання с.-г. виробн.” Кн.1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; за ред. М.І. Черновола. Київ : Урожай, 2001. 384 с.

12. Сухачов О.А., Мартиненко С.А., Цепя Н.І. Рух насіння від лопати ворошителя до отвору, що присмоктує. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб.* Кіровоград : КДТУ, 2002. Вип. 32. С. 44–49.

13. Басін В. Про напрямки розвитку конструкції висівних апаратів для насіння просапних культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб.* Кіровоград: КДТУ, 1999. Вип.27. С.190–193.

14. Амосов В.В. Аналіз процесу відокремлення насіння від присмоктувальних отворів вакуумного пневмомеханічного висівного апарата. *Техніка в с.-г. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту.* Кіровоград : КНТУ, 2004. Вип. 15. С.438–444.

15. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин : підручник. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг : Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

16. Войналович О.В., Білько Т.О., Марчишина Є.І. Охорона праці у сільському господарстві : навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 424 с.

ДОДАТКИ

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №	Перв. примен.	A1			Документація				
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № докл.	1	ВКА 00.120	Бункер для туків	4			
			2	ВКА 00.580	Поліклінова пасова передача	1			
			3	ВКА 00.600	Вентилятор	1			
			4	ВКА 00.630	Ресивер	1			
			5	ВКА 00.720	Повітропроводи	3			
			6	ВКА 00.1750	Бункер для насіння	8			
			7	ВКА 01.100	Апарат висівний	8			
			8	ВКА 00.1790	Маркер	2			
			9	ВКА 00.2400	Планчастий шлейф	8			
			10	ВКА 00.2560	Коток прикочувальний	8			
			11	ВКА 00.2590	Сошник наральниковий	8			
			12	ВКА 00.3010	Колесо	2			
			13	ВКА 00.3560	Загортач	8			
			15	ВКА 00.3590	Сошник туківий	8			
			16	ВКА 00.3100	Тукопровід	8			
			17	ВКА 00.3110	Рама	1			
			18	ВКА 00.4100	Кардан	1			
			19	ВКА 00.4110	Туковисівний апарат	4			
			Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № докл.				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.							
				ВКА 00.000					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сівалка універсальна УПС - 8		Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Аршинов								1
Пров.	Амосов								
Н.контр.									
Утв.	Васильковський						ЦНТУ гр. ГМ-24М-1		

[illegible]

[illegible]

Форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка
		26	ВКА 01.026	Фланець	1	
		27	ВКА 01.427	Заслінка	1	
		28	ВКА 01.628	Шатун	1	
		29	ВКА 01.429	Шайба	1	
		30	ВКА 01.630	Вал	1	
		31	ВКА 01.631	Штир	1	
		32	ВКА 01.632	Штир	1	
		33	ВКА 01.633	Гвинт	3	
		34	ВКА 01.634	Вісь	1	
		35	ВКА 01.635	Пружина	2	
		36	ВКА 01.636	Пружина	1	
		37	ВКА 01.637	Пружина	1	
		38	ВКА 01.638	Пружина	1	
		39	ВКА 01.639	Вісь	1	
		40	ВКА 01.640	Кільце	1	
						Арк.
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВКА 01.100	

Форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка
				<u>Стандартні вироби</u>		
		41		Болт М8-6gx25.58.019	4	
				ГОСТ 7796-70		
				Болти ГОСТ 7798-70		
		42		М6-6gx14.58.019	1	
		43		М6-6gx30.58.019	1	
		44		Болт М8х20.58.019	1	
				ГОСТ 7802-81		
				Гвинти ГОСТ 17473-80		
		45		ВМ4-6gx12.58.019	4	
		46		ВМ5-6gx20.58.019	2	
		47		ВМ6-6gx16.58.019	2	
		48		Гайка М8-6НК433-8-Ф	4	
				ГОСТ 3032-76		
				Гайки ГОСТ 5915-70		
						Арх.
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВКА 01.100	

Форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка
		49		М6-6Н.8.019	2	
		50		М8-6Н.8.019	3	
				Шайди ГОСТ 6402-70		
		51		6 65Г 019	5	
		52		8 65Г 019	5	
				Шайди ГОСТ 6958-78		
		53		С6.01.10.019	1	
		54		С8.01.10.019	6	
				Шайди ГОСТ 11371-78		
		55		С6.01.10.019	7	
		56		С10.01.10.019	1	
		57		С12.01.10.019	1	
		58		С20.01.10.019	1	

[illegible]