

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: **«Підвищення ефективності висіву насіння моркви за рахунок
удосконалення конструкції висівного апарату»**

КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»*
*спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти *магістр*
групи *133ГМмд_21*
НАДДОЛІННИЙ Юрій

Керівник: канд. техн. наук, доцент
КАНІВЕЦЬ Олександр

Полтава – 2026 року

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Овочівництво є однією з найбільших галузей сільського господарства України. У зв'язку з тенденцією постійного збільшення посівних площ зростає потреба в насінневному матеріалі. Вирішення проблеми економії насіння сприятиме збільшенню виробництва високоякісної продукції, оптимізації структури посівів культур, збільшенню площ посівів [1]. Тому на сьогоднішній день у сільському господарстві особливо актуальним є питання економії посівного матеріалу. В першу чергу, це стосується дрібного, малосипучого, важко висіваного насіння овочевих культур. У зв'язку з цим стоїть завдання створення сучасної вітчизняної універсальної посівної машини з висівним апаратом такої конструкції, яка забезпечить більш економічний посів дрібнонасінних культур, що відповідає агротехнічним вимогам, з нормою висіву 1,5...2,0 кг/га. Для посіву дрібного малосипучого насіння застосовують сівалки з висівними апаратами різних конструкцій, проте практично всі вони або не забезпечують достатньої рівномірності, або відрізняються складністю і громіздкістю конструкції. Перспективним є використання в роботі висівних апаратів явища вібрації, при якій маса насіння набуває властивостей рідини і тому вільно і рівномірно витікає через вихідне вікно з насінневого бункера [2]. Такі висівні апарати забезпечують хорошу рівномірність дозування і стійкість до забивання.

Дана робота присвячена вдосконаленню конструкції та роботи висівного апарату вібраційного типу для посіву дрібнонасінних культур шляхом обґрунтування його раціональних конструктивних і режимних параметрів.

Мета розробки – підвищення ефективності висіву дрібнонасінних культур за рахунок вдосконалення конструкції висівного апарату вібраційного типу.

Об'єктом розробки є технічний засіб для висіву дрібнонасінних культур, його робочі органи, елементи та технологічний процес висіву.

Предмет розробки – закономірності впливу конструктивних і режимних параметрів вібраційного висівного апарату на ефективність процесу висіву дрібнонасінних культур.

Методологічна, теоретична та експериментальна база досліджень. Вирішення проблеми здійснюється з використанням методів теоретичних та

експериментальних досліджень. При проведенні експериментальних досліджень висівного апарату вібраційного типу використані стандартні методики із застосуванням математичного моделювання, сучасних приладів та обладнання. Обробку експериментальних даних проводили з використанням пакету програм Microsoft Office, Statistica.

Наукову новизну кваліфікаційної роботи складають:

- технічне рішення конструкції висівного апарату вібраційного типу;
- математичні залежності, що дозволяють обґрунтувати геометричні параметри та режими роботи вібраційного висівного апарату;
- теоретичне та експериментальне обґрунтування конструкції висівного апарату для висіву дрібнонасінних культур з урахуванням їх фізико-механічних властивостей.

Практична значущість. Застосування запропонованої конструкції висівного апарату дозволяє забезпечити економію посівного матеріалу при висіві дрібного малосипучого насіння.

Апробація результатів дослідження. Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковані у статті у польському міжнародному журналі наукових публікацій Colloquium-journal №2(267) на тему «Обґрунтування конструктивних параметрів вібраційного висівного апарату».

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологія вирощування та агротехнічні вимоги до посіву моркви

Морква є однією з найцінніших овочевих культур. Вона вирощується повсюдно у відкритому ґрунті, найбільші площі вона займає в помірній смузі. За посівними площами морква посідає третє місце після капусти та цибулі, а за валовим виробництвом – п'яте після капусти, томатів, столового буряка та цибулі. Під морквою зайнято близько 50 тис. га ріллі [3], це понад 10% від усіх посівів овочів, її врожайність – 14...16 т/га.

Перед посівом зазвичай проводять обробку насіння [4]. Насіння моркви неоднорідне за розмірними характеристиками. Для підвищення схожості насіння його калібрують на решітках з шириною отворів 1,5 мм. Це дозволяє виділити у велику фракцію 60...70 % насіння. Оболонки насіння моркви насичені ефірними оліями. Це перешкоджає потраплянню вологи всередину насіння і затримує проростання. Для прискорення процесу проростання проводять 18-20-годинне барботування і обробку мікроелементами (борною кислотою – розчин 0,01% і марганцевокислим калієм – 0,02%). Для знезараження насіння проводять операцію протруювання.

Сіють моркву ранньою весною при досягненні середньодобової температури ґрунту +8 °С. Щоб уникнути затримки появи сходів, не можна допускати пересушування ґрунту.

Для отримання ранньої продукції широко застосовується посів під зиму пізньої осені, коли ґрунт вже злегка підмерз. Варто зазначити, що такі коренеплоди погано зберігаються, а посів краще здійснювати на піщаних і супіщаних ґрунтах, оскільки навесні важкий ґрунт дуже сильно ущільнюється.

Норма висіву насіння моркви визначається призначенням продукції. Для посіву на пучок при густоті стояння ~ 1,5 млн. рослин/га необхідно 5...6 кг/га, на зберігання – 1,5...4 кг/га (густина стояння ~ 1 млн. рослин/га). Для однієї рослини площа живлення зазвичай становить 66...100 см.

Застосовують різні схеми посіву моркви. Найчастіше це звичайний широкорядний спосіб посіву (ширина міжряддя 30 або 45 см). Також використовують стрічковий дворядковий – 10+30 (45) см (при цьому значно збільшується врожайність, але необхідна обробка гербіцидом між рядками). При стрічковому трирядковому способі схема розміщення рядків – 10+10+30(45) см, а врожайність вище майже в два рази, ніж при звичайному широкорядковому.

У рядку між двома сусідніми рослинами відстань повинна становити 3...5 см. Якщо ця відстань занадто велика, розмір коренеплодів може перевищити допустиму стандартом величину.

Урожай моркви в першу чергу залежить від рівномірності розподілу рослин у ряду та їх кількості. Моркву сіють на глибину 1,5...2 см на важких ґрунтах і на 2...4 см – на легких.

Після дощу при появі кірки проводять довсходове боронування для знищення бур'янів. Міжрядну обробку з цією ж метою протягом вегетації проводять кілька разів. У фазі 2-3 листків міжрядну обробку проводити вже не можна, тому для знищення бур'янів, особливо на великих площах, використовують гербіциди. Якщо добрива не були внесені до посіву, застосовують підживлення. Морква також потребує помірного поливу (100 м³ води на 1 т коренеплодів). Моркву на пучок збирають в останні дні серпня, на зберігання - у вересні, коли коренеплоди містять вже багато сухих речовин і цукрів і стають придатними для тривалого зберігання. Збирання проводять вручну, використовуючи бурякопідйомники або картоплекопачі. При цьому бадилля спочатку скошують косаркою або бадиллязбиральною машиною.

1.2 Аналіз конструкцій сівалок і висівних апаратів, що застосовуються для посіву дрібнонасінних культур

Для посіву дрібнонасінних культур застосовують посівні машини різних конструкцій. Сівалки зернотрав'яні СЗТ-3,6 (рис. 1.1) застосовуються для посіву зернових, овочевих культур, дрібного насіння трав [5] рядовим способом.

Сівалка гідрофікована, складається з рами на двох пневматичних колесах, відділення для насіння з ворошилками і нагнітачем, що використовуються при висіві малосипучих насіння. Висівні апарати котушкового типу розміщені в дні ящиків для насіння. Сівалка оснащена сошниками і насіннепроводами для зернових і насіння трав. Насіння закладається в ґрунт загортачами. Можна встановлювати різні передавальні відносини з урахуванням виду посівного матеріалу.

Важливим недоліком зазначених сівалок є складність налаштування на задану норму висіву і підвищена витрата дрібного насіння. При широкорядній сівбі зернотравними сівалками для зниження витрати насіння частину висівних апаратів закривають заслінками. З цією ж метою насіння перед посівом можуть бути змішані з наповнювачем у вигляді піску або деревної тирси. Тому завдання вдосконалення конструкції висівних апаратів для дрібнонасінних культур є досить актуальним [6].

Для посіву овочевих культур широко застосовуються сівалки італійської компанії Gaspardo серії Orietta-Olimpia (рис. 1.2). Ці сівалки відрізняються раціональністю конструкції і модульністю компонентів. Orietta має одиночний розподільник; Olimpia – подвійний. Пропонуються дві версії цих моделей: N, narrow – вузький висівний апарат і W, wide – широкий висівний апарат.

Висівний апарат таких сівалок має посилений корпус розподільника, в якому знаходиться висівний диск діаметром 22 см. Розподільник при однаковій швидкості руху трактора, потребує невеликої швидкості обертання висівного диска. Можна працювати з різною глибиною закладення. Стандартна комплектація включає

Вона призначена для дворядного посіву моркви, цибулі, столового буряка з міжряддями від 4 до 9 см. Ширина міжряддя встановлюється зміщенням розподільників у бічному напрямку. Сівалка овочева Orietta (рис. 1.4) включає 6 посівних секцій, має передні і задні гумові колеса, проміжні прикочувальні колеса.

Призначена для посіву моркви, цибулі, капусти, огірків, столового буряка. Мінімальна ширина міжряддя – 13 см. Сівалки овочеві «Клен» («Клен-5,6», «Клен-4,2», «Клен-2,8», «Клен-1,8») з електронним управлінням і контролем висіву [7] можуть бути застосовані для посіву овочевих культур (капуста, цибуля, морква, огірки, буряк столовий, томати) бобових (соя), трав і травосумішей (люцерна, амарант), лікарських рослин (валеріана, материнка, календула, мак, ромашка). Робоча швидкість такої сівалки – 7 км/год, ширина захвату до 5,6 м, кількість посівних секцій від 4 до 12 залежно від комплектації

Сівалка «Клен-5,6» (рис. 1.5) включає такі основні вузли: гідрофіковані маркерні пристрої; комплект посівних секцій з бункерами і дозаторами; два опорні-приводні колеса; силову балку з робочим трикутником; причіпний і транспортний пристрої, що дозволяють транспортувати сівалку по дорогах загального користування; електронну систему управління і контролю над процесом висіву.

Принцип роботи сівалки: приймальні камери дозатора заповнюються насінням із зернового бункера. Налаштовані на задану норму висіву дозатори вмикаються автоматично, коли сівалка починає рух. З дозатора через подільник насіння розподіляється по насіннепроводах, з яких воно потрапляє в борозну, утворену в ґрунті полозоподібним сошником. Загортачі та притискні колеса закладають насіння і вирівнюють рельєф.

Зсув посівних секцій і опорних коліс по балці здійснюється залежно від схеми посіву. Живлення системи управління контролюється автоматичним вимикачем. Норма висіву синхронізується зі швидкістю руху агрегату датчиком руху сівалки. Удосконалення посівних машин в даний час йде в напрямку універсалізації за висіваними культурами і виконанням різних операцій, підвищення продуктивності, підвищення якості посіву і надійності технологічного процесу, пошуку можливості висіву малосипучих і несипучих насіння, удосконалення автоматичних систем контролю і регулювання якості посіву [8].

Переваги та недоліки сівалок щодо якості розподілу насіння визначаються, головним чином, роботою висівних апаратів. Більшість апаратів для точного висіву працює без участі активного переміщення насіння [9]. Конструктивно ці апарати виконуються досить різноманітно: сівалка «Стенхей» (Англія) має комірчасто-стрічковий апарат; сівалка «Ерба» (Франція) - апарат з похилим комірчастим диском; сівалка «Стокланд» (Англія) - відцентровий.

Завдяки застосуванню одноросткових насінин, підвищенню схожості посівного матеріалу, вдосконаленню способів боротьби зі шкідниками та хворобами відбувся

поступовий перехід від рядкових висівних апаратів до більш досконалих однонасінних апаратів точного висіву [10].

В даний час в літературі можна зустріти кілька класифікацій висівних апаратів сівалок за різними ознаками [11]. За однією з класифікацій висівні апарати можна розділити на чотири основні типи: механічні, гідравлічні, пневматичні та пневмомеханічні.

Пневмомеханічні та гідравлічні висівні апарати не отримали широкого поширення через складність пристрою і не дуже надійну роботу. Існує ще цілий ряд комбінованих апаратів, в роботі яких використовуються різні види енергії (механічної, пневматичної та електричної) [12].

В електромеханічних апаратах основна робота припадає на механіку, а електрика необхідна для приводу робочих органів. У пневмоелектричних апаратах електричні пристрої задають режими роботи апарата, а основну роботу виконує пневматика. У пневмомеханічних апаратах пневматика покращує захоплення і винесення або скидання насіння. Подальша робота виконується механічними пристроями.

Пневматичні висівні апарати можуть бути дисковими, барабанними, стрічковими та апаратами без рухомих частин. Пневматичні сівалки точного висіву зарубіжного виробництва з висівними апаратами дискового типу в даний час отримали дуже широке застосування, оскільки мають ряд переваг: максимально знижують травматизм посівного матеріалу; на відміну від барабанних і різних механічних висівних апаратів забезпечують однозерновий висів. Вони добре пристосовані до модернізації при необхідності повного висіву малих обсягів насіння в роботі на невеликих за площею селекційних ділянках. Однак масове застосування таких сівалок в умовах України залишається складним, в першу чергу, через їх високу вартість.

Механічні апарати (рис. 1.6) [13, 14] за типом основного робочого органу поділяються на котушкові, внутрішньоріберні, ложкові, метеликові, канавочні, фрикційні, відцентрові, вібраційні, щіткові та інші.

Котушкові висівні апарати (рис. 1.6 б) відрізняються простотою конструкції і легкістю установки на необхідну норму висіву. Вони широко застосовуються у всіх

За даними досліджень, при висіві з використанням ложкового висівного апарату рівномірність розподілу насіння вздовж рядка краща, ніж при використанні котушкового. Також слід зазначити, що ложкові висівні апарати практично не травмують насіння, проте кількість висіяного насіння визначається товщиною насінневого шару в бункері, і ці апарати дуже чутливі до ухилів місцевості [15]. Існує безліч механічних висівних апаратів (рис. 1.6), що мають обертовий конус для розподілу насіння і різні пристрої для дозування: (шнеки, котушки, транспортери і калібрований отвір на конусі) [15].

Удосконалення конструкцій висівних апаратів сівалок точного висіву спрямовано на подальше підвищення точності відбору насіння, універсальності (можливості висіву насіння, що відрізняється фізико-механічними властивостями) і зниження дроблення посівного матеріалу [15].

Для висіву дрібнонасінних культур, особливо насіння моркви, перспективним є використання висівних апаратів вібраційного типу. Існує досить багато конструкцій висівних апаратів вібраційного типу. Умовно всі їх можна розділити на дві групи: системи лоткового типу, в яких основним конструктивним елементом є вібруючий лоток, і апарати, що містять коливні робочі органи з каліброваними отворами. Необхідно зазначити, що існує кілька способів створення вібрації: електромагнітний, механічний, гідравлічний, пневматичний [16].

Один з перших апаратів, що представляють собою систему лоткового типу, – апарат конструкції В.А. Желіговського (рис. 1.7 а) [17, 18]. В основі цієї конструкції - щітковий пристрій, що подає насіння на лоток, який здійснює коливання $0,5 - 1,1c^{-1}$. Під дією коливань насіння, вишиковуючись в рівномірний ланцюжок, надходить в насіннепровід.

Інший варіант системи лоткового типу був запропонований Б.Н. Кудрявцевим. Основний робочий елемент його конструкції - коливна трубка (рис. 1.7 б), один кінець якої розміщений зовні бункера, а інший всередині і скошений під кутом 45° для забору насіння. Насіння подається в насіннепровід ланцюжком. Рівномірність розподілу по довжині рядка при цьому становить 46...49,5 %. Подача насіння стає нестійкою при коливаннях понад 80 кол/с [19, 20].

а – В.А. Желіговського; б – Б.Н. Кудрявцева; в – Н.В. Антонова; г – Н.В. Сегеди; д – Р.Г. Кузнєцової. 1 – бункер; 2 – храповик; 3 – лоток; 4 – насіннепровід; 5 – трубка; 6 – заслінка; 7 – гнучкий зв'язок; 8 – дно з отворами.

Також до цього типу конструкції відноситься висівний апарат Н.В. Антонова (рис. 1.7 в), що має широкі межі зміни норми висіву за допомогою зміни кута нахилу лотка і величини випускного отвору.

Н. В. Сегеда запропонував конструкцію з консольно-закріпленою пластинкою з пружного матеріалу, що встановлюється під кутом, меншим, ніж кут тертя насіння об поверхню (для запобігання висипання насіння), вібратором і лотком (рис. 1.7 г). Розміри випускного отвору можуть бути змінені. Насіння під дією вібрації лотка постійно перебуває в псевдозрідженому стані. Однак зі зміною кута нахилу лотка норма висіву значно змінюється, що є очевидним недоліком конструкції.

У висівному апараті Р. Г. Кузнєцової [21] днище з'єднане з бункером гнучким з'єднанням і забезпечене вібратором (1.7 д). Коливання днища, з'єданого з бункером гнучким з'єднанням, передають рух розташованим над ним насінням. В результаті свого переміщення насіння проходить в калібрований отвір днища і надходить в насіннепровід.

За даними проведених дослідів, така конструкція вібраційного висівного апарату нечутлива до відносно невеликих ухилів місцевості (нахил апарату при роботі не більше 25°) і дає хороші результати рівномірності при висіві малосипучих насіння трав. Однак отвори в днищі бункера калібровані, що передбачає обмеження за розмірами фракції насіння [22, 23].

Таким чином, дані висівні апарати забезпечують рівномірний висів, можливість висіву насіння з різними фізико-механічними властивостями, низьку пошкоджувальність насіння і нечутливість висіву до ухилів місцевості.

Недоліком систем лоткового типу є їх громіздкість і складність конструкції через наявність великої кількості конструктивних елементів. Конструкція висівного апарату, запропонована В. С. Сухіним, відноситься до другої групи (рис. 1.8). Вона складається з бункера для насіння і рухомої заслінки, яка здійснює при висіві коливальний рух і практично позбавлена зазначених вище недоліків систем лоткового типу [24].

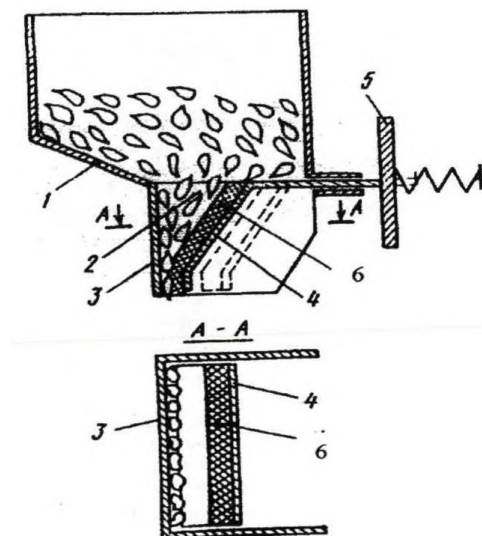


Рисунок 1.8 – Схема вібраційного висівного апарату, що включає бункер для насіння з щілиною, утвореною стінками лотка, і рухому заслінку

1 – бункер для насіння; 2 – щілина; 3 – вертикальний лоток; 4 – заслінка; 5 – механізм приводу; 6 – гумова накладка.

Існує висівна система [25] (рис. 1.9), що складається з бункера 1 зі щілинним вікном 2 і дозатором 3, який містить затвор 4, керований електромагнітом 5. Вільний

Висівний апарат [27] (рис. 1.11) працює наступним чином: Насіння з бункера 1 через отвори пластини 4 надходить у щілину, утворену електродами 2 і 3. Під дією електричного поля насіння орієнтується і збільшує тертя, що призводить до утворення склепінь і висів припиняється. Для забезпечення стабільного руху насіння через щілину електрод 3 здійснює коливальні рухи навколо шарніра 7.

Існує вібраційний висівний апарат [28], схема якого наведена на рисунку 1.12. Такий висівний апарат працює наступним чином. Насіння з бункера 1 через щілину 2 заповнює циліндр 3. Шарнірному важелю 7 передається коливальний рух, в результаті відбувається висів насіння. Коли відкривається заслінка 6, насіння по її поверхні з нижньої частини циліндра 3 рухається в насіннепровід. При цьому заслінка активно впливає на шар насіння в нижній конусоподібній частині циліндра, змушуючи зерна, розташовані на периферії, або зсуватися вгору вздовж утворюючих конуса, або випадати в насіннепровід, в результаті чого вихідний отвір 5 перекривається. При відсутності вібрації, завдяки впливу пружини 9, заслінка 6 перешкоджає потраплянню насіння в насіннесводи, висів не відбувається.

1.4 Мета та завдання дослідження

Аналіз конструкцій застосовуваних висівних апаратів для висіву насіння дрібнонасінних культур дає підстави стверджувати, що в даний час жоден з них не відповідає встановленим агротехнічним вимогам в процесі роботи і не забезпечує економію посівного матеріалу. З точки зору економії посівного матеріалу представляє інтерес застосування вібраційних висівних пристроїв. Саме через специфіку впливу на посівний матеріал вони є найбільш придатними для посіву дрібнонасінних культур.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності висіву дрібнонасінних культур за рахунок вдосконалення конструкції висівного апарату вібраційного типу.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні основні завдання дослідження:

- запропонувати конструкцію висівного апарату вібраційного типу для висіву дрібнонасінних культур;

- отримати математичні залежності, що дозволяють обґрунтувати геометричні параметри і режими роботи вібраційного висівного апарату;
- обґрунтувати теоретично та експериментально раціональну конструкцію висівного апарату для висіву дрібнонасінних культур з урахуванням їх фізико-механічних властивостей;
- розрахувати економічну ефективність від використання запропонованого технічного рішення.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів дозуючого пристрою для висіву насіння моркви

На основі проведеного аналізу стану питання нами запропоновано оригінальну конструкцію висівного апарату вібраційного типу, конструктивна схема якого представлена на рисунку 2.1.

Рухома стінка 5, жорстко закріплена зі стрижнем 3, кріпиться коромислами до суміжних стінок бункера і при обертанні приводного валу приводиться в плоскопаралельний рух. Точка кріплення стрижня до приводного валу зміщена від осі обертання валу, тобто розташована ексцентрично. Висів відбувається в результаті коливань рухомої стінки 5. При русі стінки 5 вгору ширина щілинного вікна разом із зазором між рухомою і нерухомою частинами бункера зменшуються до повного перекриття висівної щілини, коли настане момент припинення висіву. При русі стінки вниз цей зазор збільшується, між вібродозатором 5 і відігнутими назовні краями стінок бункера 1 виникає простір, який заповнює пружна прокладка 6, закріплена на відгинах країв стінок, що межують з вібродозатором. Висівна щілина між рухомою 5 і нерухомою частинами бункера 1 утворюється при русі рухомої стінки 5 бункера 1 вниз за рахунок відсутності пружної прокладки 6 в середині відігнутої нижньої кромки стінки бункера.

Застосування такої конструкції висівного апарату при посіві дозволить забезпечити значну економію посівного матеріалу завдяки принципу дії, заснованому на використанні явища вібрації.

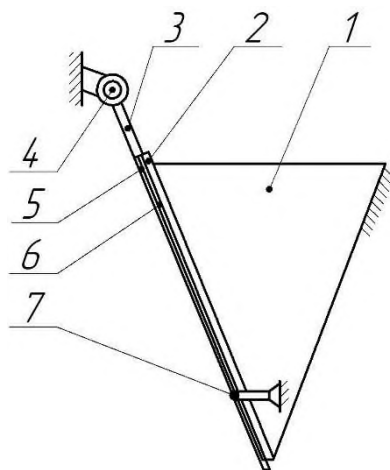


Рисунок 2.1 – Схема експериментального вібраційного висівного апарату для посіву дрібнонасінних культур (вид збоку)

1 – бункер для насіння; 2 – відігнуті назвні краї нерухомих стінок; 3 – жорсткий стрижень (шатун); 4 – ексцентрик; 5 – рухома стінка (вібродозатор); 6 – пружна прокладка; 7 – шарнір кріплення вібродозатора до бункера (коромисло).

Для ефективного проведення лабораторних досліджень з підбору найкращих робочих параметрів експериментального висівного апарату при висіві насіння моркви необхідно провести попередні теоретичні розрахунки.

Теоретично норма висіву може залежати від таких параметрів, як:

- частота коливань рухомої стінки бункера;
- величина переміщення рухомої стінки бункера і розміри висівної щілини;
- кут нахилу стінок бункера до горизонтальної площини.

Величина переміщення рухомої стінки залежить від кута і місця розташування кріплення шарніра відносно рухомої стінки, а також від робочого радіуса руху точки кріплення стрижня до приводного валу, який є змінним параметром конструкції.

Висів насіння відбувається не у всьому проміжку відкриття висівної щілини, а лише в деякій її частині. Необхідно визначити можливі значення відсотка ефективного кута відкриття висівного вікна (фактичного кута повороту ексцентрикового валу, при якому відбувається висів насіння) залежно від радіуса руху точки кріплення стрижня до приводного валу (робочого радіуса ексцентрика),

кута і місця розташування установки кріплення шарніра щодо рухомої стінки з урахуванням геометричних розмірів насіння.

Для визначення найбільш раціональних конструктивних параметрів вібраційного висівного апарату необхідна математична модель, що геометрично описує процес висіву [29].

На рисунку 2.2 представлений ексцентриково-коромисловий механізм. Введемо наступні позначення:

β – кут повороту приводного валу, °;

L – частина довжини жорсткого тіла, що включає довжину жорсткого стрижня і довжину частини рухомої стінки до точки В шарнірного з'єднання з нею коромисла, м;

r – радіус ексцентриситету, м;

α – кут між коромислом і шатуном (рухомою стінкою) при закритому стані бункера, град;

S – частина довжини жорсткого тіла від точки В шарнірного з'єднання з нею коромисла до найнижчої його точки D, м;

H – довжина коромисла, м;

t – величина відкриття висівного вікна, м;

ΔL – величина зміщення точки В шарнірного з'єднання рухомої стінки і коромисла відносно положення, прийнятого за нульове (початкове), м.

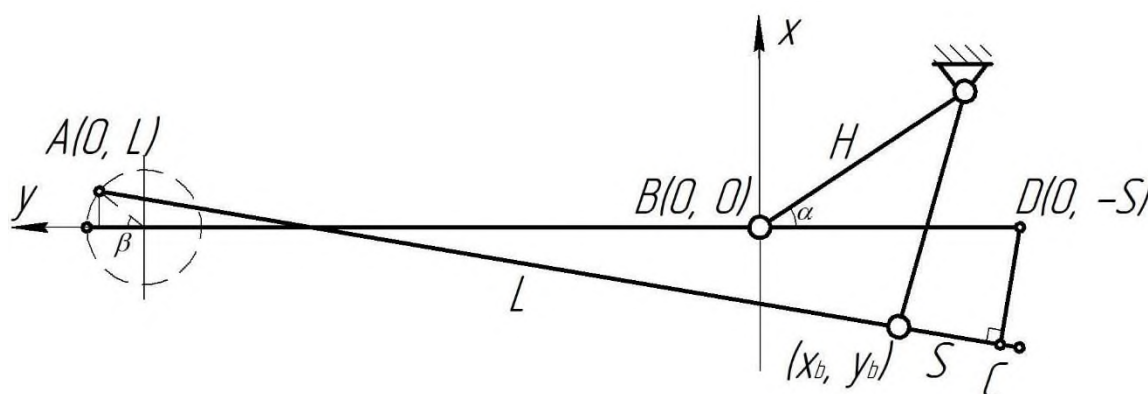


Рисунок 2.2 – Геометрична схема роботи висівного апарату

Точка кріплення А кінця шатуна (стрижня, жорстко з'єднаного з рухомою стінкою бункера) до ексцентрика рухається по колу з робочим радіусом r ,

здійснюючи повний оберт навколо осі. Шатун довжиною $(L + S)$ здійснює простий рух. За один повний оберт ексцентрикового вала з початковим положенням ексцентрика в точці A_0 відбувається один повний цикл роботи (відбувається одне відкриття висівного вікна). Коромисло постійної довжини H , з'єднане з рухомою стінкою (шатуном) в точці B шарнірно під початковим установчим кутом α , здійснює коливальний рух навколо і обмежує величину переміщення шатуна.

Робочий радіус ексцентрика r , координати положення точки шарнірного з'єднання шатуна і коромисла B і установчий кут α між коромислом і шатуном для нас є основними незалежними параметрами. Представимо залежність величини відкриття висівного вікна від робочого радіуса ексцентрика r , координат положення точки шарнірного з'єднання шатуна і коромисла B і установчого кута α між коромислом і шатуном в загальному вигляді. Введемо плоску систему координат $(x; y)$. Початком координат будемо вважати точку шарнірного з'єднання коромисла і шатуна $B_0(0; 0)$. При цьому нульовим положенням механізму є положення, при якому величина відкриття висівного вікна дорівнює нулю, а точка кріплення шатуна до ексцентрика займає найвище положення.

2.2 Моделювання величини відкриття висівного вікна

Слід зауважити, що чим ближче точки A і B , тобто чим вище розташований шарнір кріплення коромисла на шатуні, тим більше буде відкриття висівного вікна (рис. 2.2). При цьому, чим ближче значення кута α до перпендикуляра щодо рухомої стінки (шатуна), тим більша вертикальна складова її коливань і навпаки. Частота обертання ексцентрикового вала впливає тільки на частоту коливань і не впливає на зміну геометричних параметрів конструкції.

Розглянемо деяке положення точки A на окружності радіусом r , що описується при русі точкою кріплення шатуна до ексцентрикового валу, яке ця точка займе при повороті ексцентрикового валу навколо своєї осі на кут β_T , відмінний від нульового. Позначимо його A_T .

При повороте вала эксцентрика на некоторый угол β точка В шарнирного соединения шатуна и коромысла займет положение $B_n(x; y)$.

Довжина шатуна точки шарнірного з'єднання з коромислом L і довжина коромисла H можуть бути знайдені як довжини відрізків з відомими координатами початкових і кінцевих точок. У проведених розрахунках будемо використовувати основні положення аналітичної геометрії на площині.

Для визначення поточних координат $(x_B; y_B)$ точки В складемо систему рівнянь:

Довжини ланок механізму H і L можна виразити наступним чином:

$$(r \cdot \sin \beta - x_B)^2 + (L - r + r \cdot \cos \beta - y_B)^2 = L^2 \quad (2.1)$$

Здійснивши елементарні перетворення, отримуємо

$$\begin{aligned} x_B^2 - 2x_B \cdot r \cdot \sin \beta + y_B^2 + 2y_B \cdot (L - r + r \cdot \cos \beta) - (L - r + r \cdot \cos \beta)^2 = 0 \\ x_B^2 - 2x_B \cdot r \cdot \sin \beta + y_B^2 + 2r^2 - 2y_B \cdot L + 2y_B \cdot r - 2y_B \cdot r \cdot \cos \beta - 2L \cdot r + 2L \cdot r \cdot \cos \beta - r^2 \cdot \cos^2 \beta = 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Віднімаючи з останнього перше, отримаємо

$$\begin{aligned} (-2r \cdot \sin \beta + 2(L - r + r \cdot \cos \beta)) \cdot x_B + (-2L + 2r - 2r \cdot \cos \beta) \cdot y_B + \\ (2r^2 - 2L \cdot r + 2L \cdot r \cdot \cos \beta - r^2 \cdot \cos^2 \beta) = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Зробимо заміну змінних

$$-2r \cdot \sin \beta + 2(L - r + r \cdot \cos \beta) = AX \quad (2.4)$$

$$-2L + 2r - 2r \cdot \cos \beta = AY \quad (2.5)$$

$$2r^2 - 2L \cdot r + 2L \cdot r \cdot \cos \beta - r^2 \cdot \cos^2 \beta = AO \quad (2.6)$$

В результаті отримуємо рівняння, рівнозначне (3):

$$AX \cdot x_B + AY \cdot y_B + AO = 0 \quad (2.7)$$

Перетворюємо останній вираз, розділивши його на A_1

$$y_B = \frac{(-A_1 \cdot x_B - A_0)}{A_1} \quad (2.8)$$

Вводимо нові змінні:

$$A_1 = \frac{-A_1}{A_1} \quad (2.9)$$

$$A_2 = \frac{-A_0}{A_1} \quad (2.10)$$

$$y = A_1 \cdot x - A_2 \quad (2.11)$$

Після підстановки отриманого значення y у вираз (2.1) отримуємо:

$$x_B^2 - 2H \cdot \sin \alpha \cos \alpha + (A_1 \cdot x_B - A_2)^2 + 2 \cdot (A_1 \cdot x_B - A_2) \cdot H \cdot \cos \alpha = 0 \quad (2.12)$$

Перетворюємо цей вираз:

$$x_B^2 - 2H \cdot \sin \alpha \cos \alpha \cdot x_B + A_1^2 \cdot x_B^2 - 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot x_B + A_2^2 + 2 \cdot A_1 \cdot x_B \cdot H \cdot \cos \alpha - 2 \cdot A_2 \cdot H \cdot \cos \alpha = 0 \quad (2.13)$$

Або

$$(1 + A_1^2) \cdot x_B^2 + (-2H \cdot \sin \alpha \cos \alpha - 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot H \cdot \cos \alpha) \cdot x_B + (A_2^2 - 2A_2 \cdot H \cdot \cos \alpha) = 0 \quad (2.14)$$

Нехай

$$1 + A1^2 = B1 \quad (2.15)$$

$$-2H \cdot \sin \alpha - 2A1 \cdot A2 \cdot H \cdot \cos \alpha = B2 \quad (2.16)$$

$$A2^2 - 2A2 \cdot H \cdot \cos \alpha = B3 \quad (2.17)$$

Після введення нових змінних в останній вираз отримуємо рівняння для знаходження координати x_B точки В:

$$B1 \cdot x_B^2 + B2 \cdot x_B + B3 = 0 \quad (2.18)$$

а із формули (2.11) визначаємо координату y_B точки В.

$$y_{DC} = \frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L - r + r \cdot \cos \alpha} \cdot x_{DC} + b_{DC} \quad (2.19)$$

Дана пряма проходить через точку D (0; -S), тому рівняння прямої DC повинно задовольняти умові $b_{DC} = -S$, тобто:

$$y_{DC} = \frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L - r + r \cdot \cos \alpha} \cdot x_{DC} - S \quad (2.20)$$

Для визначення координат $(x_C; y_C)$ точки С прирівнюємо рівняння прямих DC і CA:

$$\frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L - r + r \cdot \cos \alpha} \cdot x_C - S = \frac{L - r + r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha - x_B} \cdot x_C + \frac{y_B \cdot (r \cdot \sin \alpha - x_B) - x_B \cdot (L - r + r \cdot \cos \alpha)}{r \cdot \sin \alpha - x_B} \cdot x_C + \frac{y_B \cdot (r \cdot \sin \alpha - x_B) - x_B \cdot (L - r + r \cdot \cos \alpha)}{r \cdot \sin \alpha - x_B} \quad (2.21)$$

Після перетворення отримаємо вирази для визначення x_C :

$$x_C = \frac{y_B + S - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B}{\frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L-r+r \cdot \cos \alpha} - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B} \quad (2.22)$$

Після підстановки (2.22) в (2.20) і перетворень отримуємо вираз для y_C

$$y_C = \frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L-r+r \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{y_B + S - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B}{\frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L-r+r \cdot \cos \alpha} - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B} \quad (2.23)$$

Знаючи координати $(x_C; y_C)$ точки С, можна знайти довжину DC, тобто величину відкриття висівного вікна:

$$DC = \sqrt{(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2} \quad (2.24)$$

Або

$$DC = \left(\left(\frac{y_B + S - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B}{\frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L-r+r \cdot \cos \alpha} - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B} \right)^2 + \left(\frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L-r+r \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{y_B + S - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B}{\frac{x_B - r \cdot \sin \alpha}{L-r+r \cdot \cos \alpha} - \frac{L-r+r \cdot \cos \alpha}{r \cdot \sin \alpha} \cdot x_B} - 2S \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.25)$$

2.3 Визначення динамічних впливів на елементи висівного апарату

Сила інерції в точці В шарнірного з'єднання рухомої стінки (шатуна) і коромисла AL прямо пропорційна величині прискорення, що виникає в ній при роботі механізму. Чим більше ця величина, тим менше надійність конструкції. Виходячи з цієї закономірності, можна провести порівняльну оцінку надійності конструкції при різних положеннях точки В.

Завдання визначення величини повного прискорення, що діє в заданій точці жорсткого тіла, починається з визначення миттєвого центру швидкостей цього тіла на площині.

Як відомо, центр швидкостей (далі МЦС) лежить у точці перетину перпендикулярів, проведених до швидкостей точок рухомого тіла, при цьому достатньо обмежитися двома точками - у нашому випадку точками А і В. Отже, для визначення положення миттєвого центру швидкостей твердого тіла АВ необхідно визначити довжину відрізків АР і ВР, які є перпендикулярами до швидкостей рухомих точок А і В відповідно тіла АВ в даний момент часу.

Розглянемо два випадки стану механізму, зображених на рисунках 2.3 і 2.4.

Випадок 1: $\beta > \gamma$. При цьому МЦС знаходиться на рисунку зліва (рис. 2.3).

Розглянемо ΔOAK : Нехай $AK = x$.

За теоремою синусу:

$$\frac{r}{\sin \beta} = \frac{x}{\sin \alpha} \quad (2.26)$$

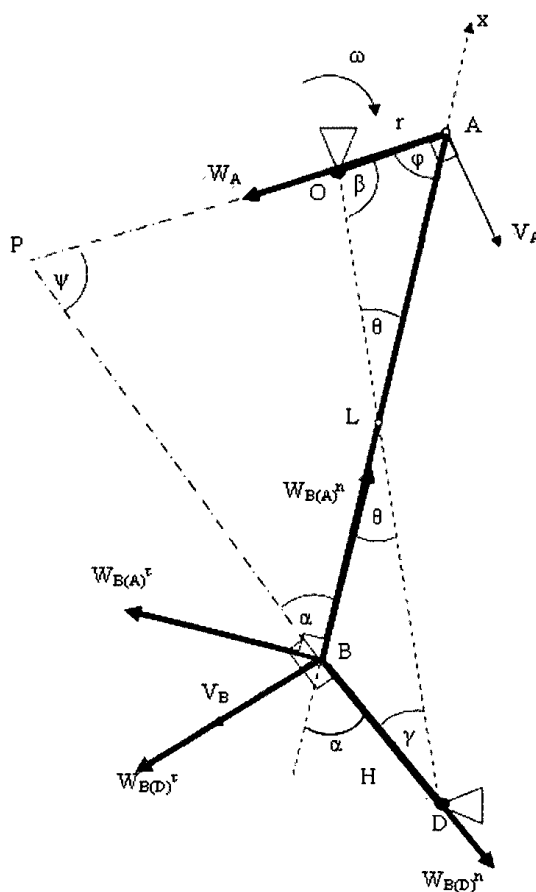


Рисунок 2.3 – Геометрична схема роботи висівного апарату з положенням МЦС при $\beta > \gamma$

Тоді

$$x = \frac{r \cdot \sin \theta}{\sin \alpha} \quad (2.27)$$

Із трикутника DBK

$$\frac{H}{\sin \alpha} = \frac{L-x}{\sin \theta}, \quad (2.28)$$

де $(L - x)$ – довжина відрізка KB.

Кут γ визначається зі співвідношення:

$$\gamma = 180^\circ - \theta - (180^\circ - \alpha) = \alpha - \theta \quad (2.29)$$

$$L - x = \frac{L \cdot \sin \theta - r \cdot \sin \theta}{\sin (\alpha - \theta)} \quad (2.30)$$

Після підстановки (2.30) у (2.28) отримуємо:

$$\frac{H}{\sin \alpha} = \frac{L \cdot \sin \theta - r \cdot \sin \theta}{\sin (\alpha - \theta) \cdot \sin \alpha} \quad (2.31)$$

Або

$$H \cdot \sin (\alpha - \theta) = L \cdot \sin \theta - r \cdot \sin \theta \quad (2.32)$$

Або

$$H \cdot (\sin \alpha \cdot \cos \theta - \cos \alpha \cdot \sin \theta) = L \cdot \sin \theta - r \cdot \sin \theta \quad (2.33)$$

Позначимо $OK = t$. Тоді з трикутника DBK

$$\frac{r}{\sin \alpha \sin \theta} = \frac{1}{\sin \alpha \sin \theta} \quad (2.34)$$

$$\text{Звідки } t = \frac{r \cdot \sin \alpha \sin \theta}{\sin \alpha \sin \theta} \quad (2.35)$$

З трикутника DBK

$$\frac{H}{\sin \alpha \sin \theta} = \frac{L_1}{\sin \alpha \sin \theta} \quad (2.36)$$

де $(L_1 - t)$ – довжина відрізка KD

В результаті підстановки (2.35) в (2.36) і перетворень отримаємо

$$H = L_1 \cdot \sin \alpha \sin \theta - r \cdot \sin \alpha \sin \theta \quad (2.37)$$

Враховуючи, що $\varphi = 180^\circ - (\beta + \theta)$, а отже $\sin \varphi = \sin (\beta + \theta)$ вираз (2.37) можна привести до вигляду:

$$H = L_1 \cdot \sin \alpha \sin \theta - r \cdot \beta \cdot \cos \alpha \cos \theta + \sin \alpha \sin \theta \cdot \cos \alpha \cos \beta \quad (2.38)$$

Для визначення кутів α і θ об'єднаємо рівняння (2.33) і (2.38) в систему:

$$\begin{cases} H \cdot \sin \alpha \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cos \theta - \cos \alpha \cos \alpha \cdot \sin \alpha \sin \theta = L \cdot \sin \alpha \sin \theta - r \cdot \sin \alpha \sin \theta \\ \sin \alpha \sin \theta = L_1 \cdot \sin \alpha \sin \theta - r \cdot (\cos \alpha \cos \theta + \sin \alpha \sin \theta \cdot \cos \alpha \cos \beta) \end{cases} \quad (2.39)$$

Позначивши в системі рівнянь (2.39) $\sin \theta = z$, а $\sin \alpha = y$, отримуємо таку систему рівнянь:

$$\{H \cdot y \cdot \sqrt{1 - z^2} - \sqrt{1 - y^2} \cdot z = L \cdot z - r \cdot \sin \alpha \quad H \cdot y = L_1 \cdot z - r \cdot (\sin \alpha \cdot \sqrt{1 - z^2} + z \cdot \cos \alpha) \quad (2.40)$$

З (2.40) можна визначити значення кутів θ и α . Далі з трикутника APB визначимо кут ψ за формулою:

$$\psi = 180^\circ - \varphi - \alpha = \beta + \theta - \alpha \quad (2.41)$$

За теоремою синусів

$$\frac{AP}{\sin \alpha} = \frac{L}{\sin \beta} \quad (2.42)$$

Звідси можна знайти довжину відрізка AP :

$$AP = L \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (2.43)$$

Аналогічно

$$\frac{BP}{\sin \alpha} = \frac{L}{\sin \beta} \quad (2.44)$$

Довжина шуканого відрізка BP :

$$BP = L \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (2.45)$$

Знаючи довжини відстаней до МЦС, ми можемо знайти кутові швидкості ділянок AB і BD , необхідні для визначення її повного прискорення:

$$\omega_{AB} = \frac{v_A}{AP} = \frac{\omega \cdot r}{AP} \quad (2.46)$$

де v_A – відома швидкість точки А, c^{-1}

$$\frac{v_B}{v_A} = \frac{BP}{AP} \quad (2.47)$$

Звіди

$$v_{BD} = v_A \cdot \frac{BP}{AP} \quad (2.48)$$

Знаючи v_B , можна визначити і кутову швидкість ділянки BD:

$$\omega_{AB} = \frac{v_A}{AP} \quad (2.49)$$

Розглянемо 2-й випадок: $\beta < \gamma$. МЦС на рисунку знаходиться праворуч (рис. 2.9).

У цьому випадку справедливі залежності, що визначаються виразами (2.39) – (2.49) за винятком формули, що визначає значення кута ψ , який у другому випадку приймає значення:

$$\psi = 180^\circ - (180^\circ - \alpha) - (180^\circ - \varphi) = \alpha - \beta - \theta \quad (2.50)$$

Порівнявши вирази (2.50) і (2.41), можна зробити висновок, що кут ψ у другому випадку за інших рівних умов чисельно дорівнює куту ψ з першого випадку, але знак змінюється на протилежний:

$$\psi_2 = -\psi_1 \quad (2.51)$$

Оскільки синус є непарною функцією кута, далі в розрахунках справедливі вирази (2.48) – (2.55), отримані при розгляді 1 випадку стану механізму.

Повне прискорення точки В відносно точки А в плоскому русі визначається за формулою

$$\underline{w_B} = \underline{w_A} + \underline{w_{B(A)}}^n + \underline{w_{B(A)}}^\tau \quad (2.52)$$

де \underline{w}_A – повне прискорення точки А, м/с²; $\underline{w}_{B(A)}^n$ – нормальна складова прискорення точки В при русі її відносно точки А, м/с²; $\underline{w}_{B(A)}^\tau$ – тангенціальна складова прискорення точки В при русі її відносно точки А, м/с² (рис 2.4).

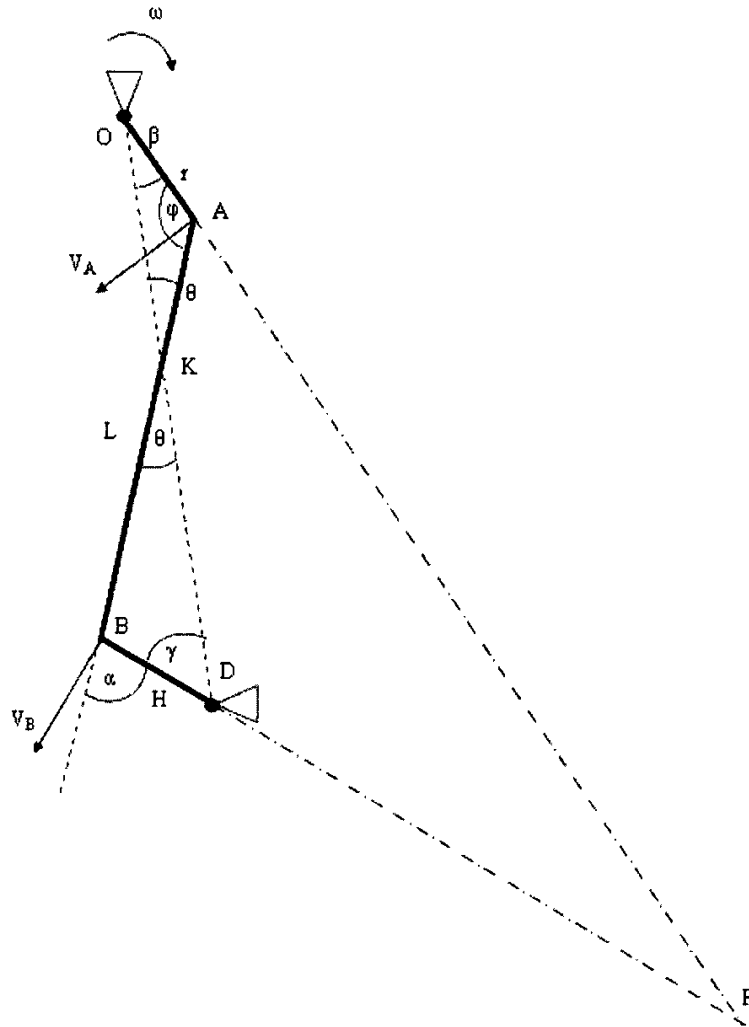


Рисунок 2.4 – Геометрична схема роботи висівного апарату з положенням МЦС при $\beta < \gamma$

В силу рівномірності обертання ланки ОА:

$$w_A = \omega^2 \cdot R \quad (2.53)$$

Числові значення прискорень, що входять до формули (2.52), визначаються таким чином:

$$\underline{w_{B(A)}^n} = \omega^2_{AB} \cdot AB \quad (2.54)$$

$$w_{B(A)}^\tau = \varepsilon_{AB} \cdot AB \quad (2.55)$$

де ε – кутове прискорення.

Точка В також належить відріzkу BD, тому прискорення точки В відносно точки D у плоскому русі визначається таким виразом:

$$\underline{w_B} = \underline{w_{B(D)}^n} + \underline{w_{B(D)}^\tau} \quad (2.56)$$

де

$$w_{B(A)}^n = \omega^2_{BO} \cdot H \quad (2.57)$$

$$w_{B(D)}^\tau = \varepsilon_{AB} \cdot H \quad (2.58)$$

Прирівнюємо праві частини виразів (2.53) і (2.56) для визначення w_B :

$$\underline{w_A} + \underline{w_{B(A)}^n} + \underline{w_{B(A)}^\tau} = \underline{w_{B(D)}^n} + \underline{w_{B(D)}^\tau} \quad (2.59)$$

В результаті маємо два невідомі кутові прискорення ε_{AB} і ε_{BD} , що визначають тангенціальні складові прискорень у виразах (2.53) і (2.58) відповідно.

Спроектувавши вираз (2.59) на вісь x, отримуємо:

$$-w_A \cdot \cos \cos \varphi + w_{B(A)}^n = -w_{B(D)}^n \cdot \cos \cos \alpha - w_{B(D)}^\tau \cdot \sin \sin \alpha \quad (2.60)$$

або

$$-\omega^2 \cdot R \cdot \cos \cos \varphi + \omega^2_{BD} \cdot H \cdot \cos \cos \alpha - \varepsilon_{BD} \cdot H \cdot \sin \sin \alpha = 0 \quad (2.61)$$

З останнього виразу можна знайти ε_{BD} .

З виразу (2.53) випливає, що

$$w_B = \sqrt{(w_{B(D)}^n)^2 + (w_{B(D)}^\tau)^2} = \omega^4_{BD} \cdot H^2 + \varepsilon^2_{BD} \cdot H^2 = H \cdot \sqrt{\omega^4_{BD} + \varepsilon^2_{BD}} \quad (2.62)$$

Знайдемо максимальні значення прискорень у точці В при трьох раніше обраних групах значень параметрів експериментальної конструкції (2.37).

Отримано наступні результати:

$$\alpha = 50^\circ, H = 26 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \Delta L = 0 \cdot 10^{-3} \text{ м}, r = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}, w_B^{max} = 55,55 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\alpha = 50^\circ, H = 26 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \Delta L = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}, r = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}, w_B^{max} = 55,55 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad (2.63)$$

$$\alpha = 50^\circ, H = 26 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \Delta L = 88 \cdot 10^{-3} \text{ м}, r = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}, w_B^{max} = 37,17 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що з позиції дотримання надійності роботи досліджуваної конструкції кращим є верхнє положення точки В шарнірного з'єднання коромисла і рухомої стінки (шатуна) ($\alpha = 50^\circ, H = 26 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \Delta L = 88 \cdot 10^{-3} \text{ м}, r = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Зі зменшенням розміру ΔL значення прискорення в точці В зростає, і надійність конструкції знижується.

Висновки до розділу:

1. Отримано математичні залежності, що дозволяють обґрунтувати геометричні параметри та режими роботи вібраційного висівного апарату для висіву дрібнонасінних культур;

2. Теоретично обґрунтовані геометричні параметри висівного апарату вібраційного типу для забезпечення відповідно до агротехнічних вимог відсотка ефективного кута висіву (14,3...20) %;

3. Величина зміщення точки В (рис. 2.2) шарнірного з'єднання рухомої стінки висівного апарату і коромисла відносно початкового положення $\Delta L = 88 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, радіус ексцентриситету $r = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Дане поєднання параметрів є кращим з позиції зменшення динамічних впливів і підвищення надійності конструкції.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика досліджень фізико-механічних властивостей насіння моркви

Для обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи експериментального висівного апарату вивчалися такі фізико-механічні властивості насіння моркви:

- 1) кут природного укосу;
- 2) коефіцієнт тертя ковзання насіння моркви по поверхні стінок бункера висівного апарату;
- 3) розмірні характеристики насіннєвого матеріалу (довжина, ширина, товщина насіння).

Визначення маси 1000 насінин моркви необхідне в проведених дослідженнях для розрахунку витрати насіння при їх висіві. Значення кута природного укосу, коефіцієнта тертя ковзання насіння моркви по поверхні стінок бункера висівного апарату, розмірні характеристики насіннєвого матеріалу (довжина, ширина, товщина насіння) необхідно врахувати при обґрунтуванні конструктивних і режимних параметрів експериментальної конструкції.

Для дослідження взяли два зразки насіння моркви (рис.3.1, 3.2): зразок №1 – насіння дуже дрібне з відносно гладкою поверхнею і незначною засміченістю, зразок №2 – насіння велике шорстке з вмістом бур'янистих домішок.

Для визначення кута природного укосу використовували прилад, що являє собою циліндр, всередині якого розміщений плоский диск майже рівного з циліндром діаметра з можливістю переміщення вздовж осі конуса. Диск переміщується за допомогою прикріпленої до нього ручки. Диск переміщували в нижню частину циліндра, потім заповнювали циліндр насінням дослідного зразка. При переміщенні диска вгору насіння висипається через верхню частину циліндра. Коли диск доходить до верху циліндра, на ньому утворюється конус з маси насіння. Знаючи діаметр диска і вимірявши висоту конуса, визначали тангенс кута природного укосу насіння γ , а потім і сам кут γ . (Кут природного укосу – кут, утворений вільною поверхнею сипучого матеріалу з горизонтальною площиною).

Коефіцієнт тертя ковзання насіння моркви по поверхні стінок бункера, виконаних зі сталі, покритої фарбою, визначали за стандартною методикою за допомогою приладу системи академіка В.А. Желіговського (рис. 3.3)

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд приладу В.А. Желіговського для визначення коефіцієнта тертя ковзання

а) – вигляд знизу; б) – вигляд зверху; в) – набір змінних лінійок і каретка з випробуваним матеріалом; 1 – колодка; 2, 10, 11, 12 – лінійка змінна; 3 – полозок; 4 – каретка; 5 – струбцина; 6 – лінійка основна; 7 – пристрій для запису; 8 – напрямна; 9 – матеріал, що випробовується

3.2 Опис експериментальної установки

Для проведення лабораторних досліджень вібраційного висівного апарату була створена експериментальна установка (рис. 3.4)

1,10 – ЛАТР; 2, 9 – електродвигун; 3, 8 – ролик, 4 – висівний апарат з механічним приводом; 5 – блок вимикачів; 6 – металева рама; 7 – нескінченна стрічка

Установка являє собою конструкцію, що включає в себе металеву раму 1 з стрічковим транспортером і встановленим над нею висівним апаратом з механічним приводом. Стрічка 3 транспортера натягнута на двох роликах 2. Верхня гілка стрічки підтримується за допомогою стабілізатора. Над стрічкою на кронштейнах встановлений висівний апарат 4. Стрічку приводили в рух через ремінну передачу від електродвигуна. Швидкість руху стрічки змінювали за допомогою лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). Для натягу стрічки вал веденого ролика забезпечений гвинтовим натяжним пристроєм. Рухома стінка бункера, що виконує роль вібродозатора, має свій незалежний механічний привід від електродвигуна. Для отримання коливань необхідної частоти використано ексцентриково-коромисловий механізм. Частоту обертання вала електродвигуна змінювали за допомогою ЛАТРа.

Шарнір кріплення рухомої стінки до бункера може мати різну висоту установки. Висівний апарат з приводом може бути встановлений в 2-х положеннях в горизонтальній площині, що відрізняються один від одного поворотом на 90° .

З проведених теоретичних досліджень відомо, що на якість роботи досліджуваного вібраційного висівного апарату впливають такі фактори: 1) частота коливань рухомої стінки бункера; 2) величина переміщення рухомої стінки бункера; 3) розміри висівної щілини; 4) швидкість руху стрічки транспортера. Відкриття висівного вікна встановлювали шляхом зміни величини зазору, що утворюється між бункером і вібродозатором при переміщенні останнього, змінюючи положення точки кріплення коромисла до рухомої стінки і радіус ексцентрика. Ширину прорізу в пружній прокладці між стикаючимися краями бункера і його рухомою стінкою у всіх дослідах залишали постійною.

3.3 Методика лабораторних досліджень експериментального вібраційного висівного апарату

Важливими характеристиками роботи вібраційного висівного апарату є частота коливань рухомої стінки і об'ємне дозування насіння (маса насіння, що висівається

апаратом за фіксований проміжок часу) [29]. Методика лабораторних досліджень режиму об'ємного дозування насіння вібраційним висівним апаратом така:

Після відповідного встановлення величин змінних факторів наповнювали бункер насінням і вмикали електродвигун приводу вібродозатора. Норму висіву насіння визначали в усталеному режимі, для чого витримували час між початком їх висипання і зняттям показань не менше 15-20 с. Далі одночасно з включенням лічильника числа обертів і секундоміра здійснювали відбір проб в спеціальну ємність, встановлену під висівну щілину. Відключали секундомір разом з електродвигуном приводу заслінки. Для забезпечення необхідного діапазону варіювання зазначеного фактора, а також полегшення обчислень цикл відбору проб обмежували проміжком часу в 1 хв (враховуючи при цьому частоту коливань). Далі визначали масу насіння в мірній посудині, зафіксувавши їх хвилинну витрату через висівний апарат. При дотриманні вимог агротехніки швидкість руху агрегату v повинна бути рівною 1,4...2,2 м/с.

Отже, експеримент з об'ємного дозування насіння вібраційним висівним апаратом доцільно проводити в діапазоні частот 28...44 с⁻¹.

З проведеного теоретичного аналізу конструкції відомо, що величина зазору між рухомою стінкою бункера і краєм його протилежної нерухомої стінки визначається радіусом ексцентрика і висотою установки шарніра кріплення рухомої стінки до бункера. Ширину зазору і радіус ексцентриситету в досліді контролювали за допомогою штангенциркуля.

Ширина прорізу в пружній прокладці на нижньому краї бункера, що визначає ширину висівного вікна, дорівнює $1,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Повторність усіх дослідів триразова. Початкову обробку кожного досліді проводили відразу після його закінчення. У разі появи явних відхилень від показань досліді встановлювали причину різкого відхилення його від інших, після чого досліді повторювали.

3.4 Методика лабораторних досліджень об'ємного дозування насіння катушковим висівним апаратом

Для дослідження доцільності застосування вібраційного висівного апарату з метою економії посівного матеріалу необхідно порівняти результати дослідів з об'ємного дозування насіння пропонованим висівним апаратом з результатами, отриманими при випробуванні серійно випускається конструкції. В якості об'єкта порівняння був обраний катушковий висівний апарат сівалки СЗТ-3,6.

Таким чином, метою проведення експерименту було визначення витрати насіння моркви при висіві його катушковим висівним апаратом для порівняння з результатами, отриманими при випробуванні вібраційного висівного апарату.

Досліди з об'ємного дозування насіння катушковим висівним апаратом проводили на лабораторній установці для випробувань катушкових висівних апаратів (рис. 3.5) з використанням стандартної методики.

Досліди проводили з двома зразками насіння (рис. 3.1, рис. 3.2) при частоті обертання 40 хв^{-1} . При цьому задавали наступні значення робочої довжини котушки висівного апарату: 5 мм, 10 мм, 15 мм, 20 мм. За допомогою лабораторних електронних ваг визначали масу насіння, висіяного апаратом за 10 обертів, після чого визначали масу насіння, висіяного за 1 хвилину. Потім шляхом аналізу даних, отриманих в результаті експерименту, проводили порівняння витрати насіння при висіві експериментальним вібраційним висівним апаратом по

відношенню до витрати при висіві їх серійним катушковим висівним апаратом сівалки СЗТ-3,6.

3.5 Вимірювальні прилади та обладнання

Перелік основних приладів, використаних для проведення експерименту, наведено в таблиці 3.1. Під час підготовки обладнання до проведення дослідів забезпечувалася необхідна точність вимірювань. Під час встановлення обладнання та приладів враховувався ступінь впливу на них навколишнього середовища. Помилку відліку або округлення при візуальному спостереженні приймали не більше половини ціни поділки шкали приладу. Помилки приладів визначили на підставі їх перевірки і занесли в журнал.

Таблиця 3.1 – Вимірювані параметри, прилади та допустимі значення похибок вимірювання.

Вимірюваний параметр і одиниця вимірювання	Найменування приладу, марка	Допустима похибка вимірювання
1. Ширина висівної щілини, мм	Штангенциркуль	$\pm 0,05$ мм
2. Крок посіву, мм	Рулетка 3 м, лінійка 40 см	$\pm 0,5$ мм
3. Час досліду, с	Секундомір №9517	$\pm 0,5$ с
4. Маса навішування насіння, г	Електронні ваги	$\pm 0,01$ г
5. Частота обертання, хв^{-1}	Тахометр механічний годинникового типу	± 5 мин^{-1}

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

4.1 Результати дослідження фізико-механічних властивостей насіння моркви

В результаті проведених лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей використовуваного для досліджень посівного матеріалу отримано наступні дані:

1) Кутовий нахил насіння моркви:

Зразок №1: $\gamma = 28^\circ$.

2) Коефіцієнт тертя ковзання насіння моркви по матеріалу бункера:

Зразок №1: $f_c = 0,433$ (кут тертя $\varphi_c = \arctg f_c = 26^\circ$)

Зразок №2: $f_c = 0,342$ (кут тертя $\varphi_c = \arctg f_c = 21^\circ$)

Для нормального витікання насіння з бункера кут нахилу стінок бункера висівного апарату, що застосовується на посіві даної культури, до горизонтальної площини повинен бути $\varphi \geq 1,5 \cdot \varphi_c$. На підставі отриманих даних про значення кута природного укошу насіння моркви та коефіцієнта тертя ковзання насіння моркви по матеріалу бункера зробили висновок: для нормального витікання насіння з бункера кут нахилу стінок бункера висівного апарату, що застосовується на посіві даної культури до горизонтальної площини повинен бути не менше $\varphi = 42^\circ$.

У нашому випадку кут нахилу стінок бункера до горизонтальної поверхні дорівнює 70° .

Розмірні характеристики насінневого матеріалу (довжина, ширина, товщина):

Зразок №1: Середня довжина $L_{\text{насін}} = 2,44 \cdot 10^{-3}$ м, середня товщина $a_{\text{насін}} = 1,37 \cdot 10^{-3}$ м, середня товщина $b_{\text{насін}} = 0,61 \cdot 10^{-3}$ м. Середньогометричний розмір $S = \sqrt[3]{L_{\text{насін}} \cdot a_{\text{насін}} \cdot b_{\text{насін}}} = 1,26$ м

Зразок №2: Середня довжина $L_{\text{насін}} = 3,36 \cdot 10^{-3}$ м, середня товщина $a_{\text{насін}} = 1,98 \cdot 10^{-3}$ м, середня товщина $b_{\text{насін}} = 0,94 \cdot 10^{-3}$ м. Середньогометричний розмір $S = \sqrt[3]{L_{\text{насін}} \cdot a_{\text{насін}} \cdot b_{\text{насін}}} = 1,82$ м.

Розмірні характеристики насіння використовували в подальших дослідженнях для визначення розмірів висівного вікна висівного апарату при проведенні досліджень.

4.2 Дослідження рівномірності розподілу насіння в рядку при посіві вібраційним висівним апаратом

На початковому етапі досліджень проводили експеримент з оцінки рівномірності розподілу насіння в діапазоні частот $\omega = 5,0 \dots 8,3 \text{ с}^{-1}$, при радіусі ексцентрика $r = 1,1 \cdot 10^{-1} \text{ м}$ і верхньому положенні шарніра кріплення вібродозатора до бункера ($\Delta L = 88 \cdot 10^{-1} \text{ м}$).

Дані, отримані в результаті експерименту, представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінки розподілу насіння на липкій стрічці при різних значеннях частот.

Частота коливань, с^{-1}	5,0	5,8	6,7	7,5	8,3
Коефіцієнт варіації (вздовж рядка), %	85,03	70,58	52,48	73,82	76,70
Коефіцієнт варіації (за шириною рядка), %	76,20	56,64	68,03	69,65	69,67

Як видно з таблиці 4.1, найкращі статистичні характеристики мають розподіли, отримані при частотах $\omega = 5,8 \text{ с}^{-1}$ і $\omega = 6,7 \text{ с}^{-1}$.

За результатами дослідів з оцінки рівномірності розподілу насіння в рядку (за шириною і довжиною) побудовано графіки розподілу частот за розмірними інтервалами. Для определения закона распределения частот по размерным интервалам сравним опытные кривые с теоретическими зависимостями, имеющими соответствующие статистические характеристики.

Характер розподілів, отриманих на графіках, побудованих за результатами статистичної обробки даних експерименту, а також відповідні їм значення коефіцієнтів варіації, математичного очікування і середнього квадратичного

відхилення розподілів свідчить про те, що розподіл ймовірностей частот інтервалів між насінням по довжині рядка підпорядковується закону щільності гамма-розподілу, по ширині - закону щільності нормального розподілу.

Після побудови теоретичних кривих розподілів порівняємо їх з кривими, отриманими за даними експериментів. Визначимо значення коефіцієнтів кореляції. З аналізу даних, отриманих в результаті експерименту, і побудованих графіків функцій (рис.4.1 – 4.2) випливає:

- при частоті коливань $5,8 \text{ c}^{-1}$ інтервальний розподіл на стрічці по довжині близький до функції щільності гамма-розподілу з параметрами $\alpha = 2$, $\beta = 1$ і математичним очікуванням $m = 0,94 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Коефіцієнт кореляції при цьому дорівнює $r = 0,87$ (рис.4.1);

• ймовірність частот інтервалів при $N = 5,8 \text{ c}^{-1}$

- функція щільності гамма-розподілу

Рисунок 4.1 – Імовірність розподілу частот інтервалів між насінням по довжині рядка при частоті коливань $5,8 \text{ c}^{-1}$

- при частоті коливань $6,7 \text{ c}^{-1}$ інтервальний розподіл на стрічці по довжині близький до функції щільності гамма-розподілу з параметрами $\alpha=2$, $\beta=1$ і

математичним очікуванням $m = 2,47 \cdot 10^{-3}$ м. Коефіцієнт кореляції при цьому дорівнює $r = 0,72$ (рис.4.2);

- – ймовірність частот інтервалів при $N = 6,7 \text{ с}^{-1}$

- – функція щільності гамма-розподілу

Рисунок 4.2 – Імовірність розподілу частот інтервалів між насінням по довжині рядка при частоті коливань $6,7 \text{ с}^{-1}$

За отриманими даними зробили висновок про доцільність подальшого проведення експериментів, оскільки середні значення інтервалів між насінням отриманих розподілів мають задовільні значення, коефіцієнти варіації не перевищують 70%, а коефіцієнти кореляції близькі до 1, що свідчить про те, що теоретичні закономірності розподілів обрані правильно.

Аналізуючи графіки, побудовані на основі результатів проведеного експерименту, можна зробити висновок, що рівномірність розподілу насіння в рядку несуттєво змінюється при зміні частоти коливань вібродозатора. Також за результатами статистичного аналізу можна стверджувати, що рівномірність розподілу насіння, отримана при висіві їх експериментальним вібраційним висівним

апаратом, є досить високою, що доводить доцільність застосування досліджуваної конструкції на практиці.

4.3 Результати досліджень об'ємного дозування насіння експериментальним вібраційним висівним апаратом

Експеримент проводився в інтервалі частот $N = 26,7 \dots 43,3 \text{ с}^{-1}$. Радіус ексцентрика задавали рівним $r = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, оскільки ці значення для проведення випробувань є найбільш раціональними, виходячи з раніше проведених теоретичних розрахунків і досліджень.

Результати проведеного експерименту представлені в таблицях 4.2, 4.3.

Таблиця 4.2 – Маса насіння ($\times 10^{-3}$ кг), що висівається за 1 хвилину вібраційним висівним апаратом (Зразок №1)

Частота коливань, с^{-1}	26,7	28,3	30,0	31,7	33,3	35,0	36,7	38,3	40,0	41,7	43,3
$r = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	15,8	14,9	14,1	13,9	13,8	14	13,8	12,7	12,0	11,7	11,3
$r = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	27,4	22,3	18,2	14,9	13,6	13,5	13,7	13,1	12,7	12,4	11,8

Таблиця 4.3 – Маса насіння ($\times 10^{-3}$ кг), що висівається за 1 хвилину вібраційним висівним апаратом (Зразок №2)

Частота коливань, с^{-1}	26,7	28,3	30,0	31,7	33,3	35,0	36,7	38,3	40,0	41,7	43,3
$r = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	12,6	11,9	11,6	10,8	10,9	11,2	11,0	10,2	9,6	9,4	9,0
$r = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	14,5	13,1	12,7	11,9	10,9	10,8	11,0	10,5	10,2	9,9	9,8

Після аналізу даних, отриманих в результаті проведеного експерименту (таблиця 4.2, таблиця 4.3), отримано криві залежності хвилинного висіву насіння висівним апаратом від частоти коливань вібродозатора і радіуса ексцентрика (рис. 4.3, рис. 4.4).

З аналізу кривих, побудованих за результатами експерименту, випливає, що при збільшенні частоти коливань заслінки відбувається зниження хвилинного висіву насіння. Це відбувається внаслідок того, що через збільшення частоти коливань вібродозатора відбувається зменшення часу проходження посівного матеріалу через висівну щілину, а також відбувається розрідження всередині шару насіння через збільшення сил інерції.

Проаналізувавши дані, отримані в результаті експерименту, зробили висновок, що при значеннях параметрів конструкції $r = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\Delta L = 88 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ витрата насіння в робочому діапазоні частот більш стабільна відносно зміни частоти коливань вібродозатора, ніж при значеннях $r = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\Delta L = 80 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

4.4 Результати досліджень об'ємного дозування насіння котушковим висівним апаратом сівалки СЗТ-3,6

Для проведення експерименту використовувалися два зразки насіння моркви, різних за ступенем засміченості та фізико-механічними властивостями (рис. 3.1, рис. 3.2). Досліди проводилися при частоті обертання вала висівного апарату, що дорівнювала 40 хв^{-1} , і значеннях робочої довжини котушки висівного апарату: $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Масу насіння, висіяного апаратом, визначали за допомогою лабораторних електронних ваг (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Маса насіння ($\times 10^{-3} \text{ кг}$), що висіваються котушковим висівним апаратом.

Довжина робочої частини котушки, $\cdot 10^{-3} \text{ м}$	5	10	15	20
Маса висіяного насіння (зразок №1)	5,7	14,4	16,4	25,5
Маса висіяного насіння (зразок №2)	2,3	8,0	10,7	15,4

В результаті апроксимації даних експерименту отримано дві прямі, що відображають лінійну залежність маси насіння, що висівається котушковим

апаратом за 10 обертів вала котушки при частоті обертання вала котушки 40 хв^{-1} від її робочої довжини (рис.4.5).

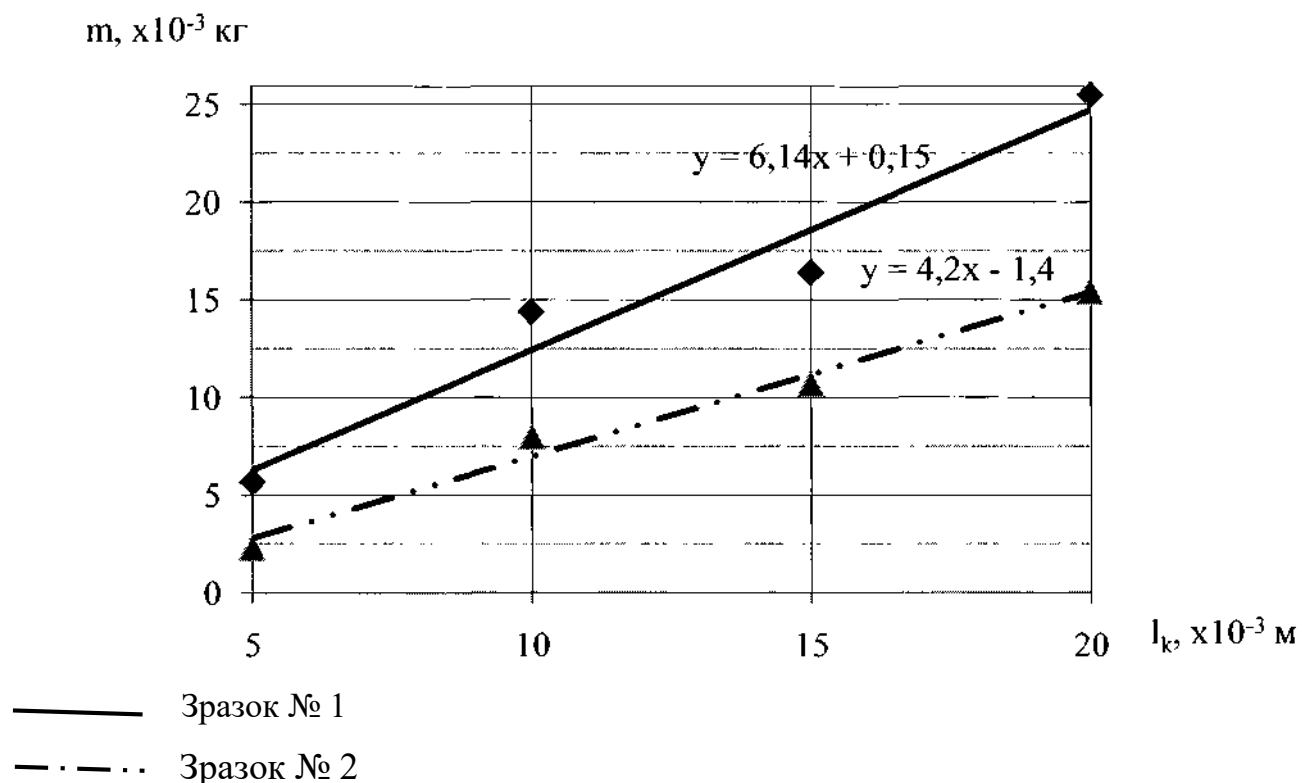


Рисунок 4.5 – Залежність висіву насіння, що висіваються котушковим висівним апаратом від робочої довжини котушки

Як випливає з аналізу даних рисунка 4.5 і таблиці 4.1, при збільшенні робочої довжини котушки висівного апарату сівалки СЗТ-3,6 від $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ до $20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ норма витрати насіння зростає від $5,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ до $25,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ відповідно при висіві насіння зразка №1 і від $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ до $15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ відповідно при висіві насіння зразка №2.

Для порівняння витрати насіння при посіві з розглянутими висівними апаратами котушкового і вібраційного типів проводили більш детальні розрахунки.

4.5 Дослідження рівномірності розподілу насіння в рядку на робочому діапазоні частот

У проведених раніше дослідах корпус висівного апарату розташовували так, що розкидання насіння під час висіву відбувалося переважно перпендикулярно

напрямку переміщення стрічки транспортера. Це може впливати на рівномірність розподілу насіння по довжині і ширині посівного рядка. Для перевірки висунутої гіпотези провели експеримент з оцінки рівномірності розподілу насіння в рядку (по довжині і ширині), повернувши корпус висівного апарату в горизонтальній площині перпендикулярно по відношенню до початкового положення. При цьому найбільший розкид насіння при висіві відбувався паралельно напрямку переміщення стрічки транспортера.

Експеримент проводили по черзі для двох положень шарніра кріплення вібродозатора до нерухокої стінки $\Delta L = 80 \cdot 10^{-3}\text{м}$; $88 \cdot 10^{-3}\text{м}$ і двох значень радіуса ексцентрика $1,6 \cdot 10^{-3}\text{м}$; $1,1 \cdot 10^{-3}\text{м}$ відповідно (де ΔL – зміщення шарніра кріплення вібродозатора до нерухокої стінки відносно нульового) і при значеннях частоти коливань вібродозатора $(28 \dots 44) \text{с}^{-1}$, що відповідають розрахунковому робочому діапазону частот, обраному відповідно до діапазону швидкостей переміщення посівного агрегату відносно засіяної поверхні, і рівних 28с^{-1} , 35с^{-1} , $44,7 \text{с}^{-1}$.

Обробку даних експерименту проводили, використовуючи стандартні методики статистичної обробки.

Аналізуючи дані експерименту, встановили, що розподіл насіння по довжині, як і в раніше проведених дослідках, підпорядковується закону щільності ймовірності гамма-розподілу, а по ширині - закону щільності ймовірності нормального розподілу.

Результати статистичної оцінки отриманих даних відображені на рисунках 4.6 і 4.7.

ширині - $2,0 \dots 2,5 \cdot 10^{-3}$ м знаходиться в межах оптимального значення відповідно до вимог агротехніки на всьому робочому діапазоні частот коливань вібродозатора.

Також в результаті проведених дослідів після зміни положення висівного апарату щодо напрямку переміщення стрічки зробили висновок, що розташування висівного апарату щодо посівного рядка впливає на рівномірність розподілу насіння при висіві. Більш високими показниками рівномірності по ширині посівного рядка характеризується робота висівного апарату при більшому значенні радіуса ексцентрика $r = 1,6 \cdot 10^{-3}$ м, а по довжині рядка - при меншому значенні радіуса ексцентрика $r = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м. Найбільш важливим показником є рівномірність по довжині, тому найкращими параметрами налаштування з цієї позиції є поєднання значення радіуса ексцентрика $r = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м і відповідного йому зміщення положення точки кріплення шарніра вібродозатора до нерухомої стінки відносно положення зі зміщенням $\Delta L = 80 \cdot 10^{-3}$ м.

Висновки до розділу:

1. Розподіл ймовірностей інтервалів між насінням при висіві вібраційним висівним апаратом підпорядковується закону щільності гамма-розподілу і характеризується значеннями параметрів коефіцієнта варіації

$0,33 < k_{\text{вар}} < 0,75$, коефіцієнта кореляції $\gamma \approx 1$;

2. Застосування вібраційного висівного апарату для висіву дрібнонасінних культур є ефективним із точки зору економії посівного матеріалу, оскільки при посіві насіння моркви дозволяє забезпечити необхідну норму висіву $1,5 \dots 2$ кг/га.

3. Для кращої рівномірності розподілу насіння в рядку кращим є поєднання параметрів конструкції $\Delta L = 88 \cdot 10^{-3}$ м, $r = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м. Це є підтвердженням проведених теоретичних досліджень.

4. Результати проведених експериментальних досліджень показують, що відстань між насінням у рядку, отриманому при висіві насіння моркви вібраційним висівним апаратом, відповідає агротехнічним вимогам (математичне очікування інтервалу між насінням m знаходиться в межах $5,3 \dots 6,0 \cdot 10^{-3}$ м на всьому робочому діапазоні частот).

5. Використання вібраційного висівного апарату для висіву дрібнонасінних культур у порівнянні з катушковим є кращим, оскільки не вимагає застосування наповнювачів і додаткових витрат на обробку насіння.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1 Охорона праці

Сівалки належать до найважливішого обладнання в сільському господарстві. Їх використання потребує суворого дотримання правил безпеки. Недотримання цих правил призводить до травм і нещасних випадків.

Перед початком роботи оператор повинен пройти інструктаж згідно з вимогами Закону України «Про охорону праці» [30]. Необхідно перевірити технічний стан сівалки. Усі захисні кожухи мають бути на місці. Болтові з'єднання потребують огляду на міцність. Гідравлічна система не повинна мати витоків. Насінневі ящики перевіряють на цілісність.

Оператор зобов'язаний носити спецодяг. Одяг має щільно прилягати до тіла. Довге волосся збирають під головний убір. Взуття повинно мати протиковзну підошву. Засоби індивідуального захисту включають рукавички та респіратор.

З'єднання сівалки з трактором виконує кваліфікований механізатор, який має відповідне посвідчення. Двигун трактора під час агрегування має бути вимкненим. Карданний вал встановлюють з особливою обережністю. Його захисний кожух повинен обертатися вільно. При транспортуванні сівалку переводять у транспортне положення.

Висів насіння виконують при справній техніці. Забороняється очищати сошники на ходу. Регулювання глибини сівби проводять лише після повної зупинки. До висівних апаратів не можна підходити під час роботи. Завантаження насінневого матеріалу вимагає уваги. Мішки піднімають правильно, зберігаючи спину прямою, згідно з вимогами до підймання вантажів вручну. Бажано використовувати механічні засоби завантаження.

Чищення та змащування виконують при вимкненому двигуні. Важелі управління мають бути в нейтральному положенні. Сівалку встановлюють на рівній площадці. Під колеса підкладають упори. Робота з хімічно обробленим насінням потребує респіратора. Після контакту з протруйником руки ретельно миють. Їжу

приймають тільки після гігієнічних процедур. Робочий одяг регулярно прають згідно з санітарними нормами.

Найчастіші травми пов'язані з необережністю. Прищемлення рук відбувається при регулюванні на ходу. Падіння з сівалки призводить до переломів. Відсутність захисних кожухів викликає затягування одягу. Отруєння можливе при роботі з протруєним насінням. Пил насіння подразнює дихальні шляхи. Тривалий контакт шкодить здоров'ю працівника.

5.2 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза із використання сівалок у сільськогосподарському виробництві набуває особливої актуальності в умовах зростання антропогенного навантаження на ґрунтові екосистеми. Сівалки як основний технічний засіб посіву зернових, технічних та інших культур справляють комплексний вплив на довкілля. Цей вплив потребує систематичного аналізу та оцінки відповідно до вимог Закону України «Про екологічну експертизу» [31].

Механічний вплив сівалок на ґрунт є первинним фактором екологічного ризику. Сошники руйнують ґрунтову структуру, ущільнюють підорний горизонт, порушують капілярну систему. Багаторазові проходи важкої техніки призводять до компактизації ґрунту. Знижується його водопроникність та аераційна здатність. Це негативно впливає на ґрунтову біоту та кореневі системи рослин.

Вибір типу сівалки визначає масштаб екологічних наслідків. Традиційні рядкові сівалки створюють більше ґрунтове порушення порівняно з прямими посівними комплексами. Пневматичні сівалки точного висіву забезпечують кращу локалізацію насіння та мінімізують зайве пошкодження ґрунту. Системи no-till із спеціалізованими сівалками зберігають ґрунтову структуру та стерню попередників.

Викиди забруднюючих речовин від дизельних двигунів тракторів становлять суттєву проблему. Оксиди азоту, вуглецю та тверді частинки надходять безпосередньо в приземний шар атмосфери. Концентрація забруднювачів зростає при недостатньому технічному обслуговуванні машин. Використання застарілих моделей без сучасних систем очищення вихлопних газів посилює негативний ефект.

Ерозійні процеси активізуються після проходження сівалок на схилі землях. Порушення ґрунтового покриву сприяє водній та вітровій ерозії. Втрати родючого шару можуть сягати критичних показників на ділянках із нераціональною організацією сівби. Екологічна експертиза повинна враховувати рельєф місцевості та протиерозійні заходи.

Забруднення ґрунту мастильними матеріалами виникає через несправності гідравлічних систем сівалок. Витоки олії, дизельного палива та технічних рідин створюють локальні осередки токсичного забруднення. Ці речовини мають тривалий період розкладання в ґрунті. Вони пригнічують розвиток мікроорганізмів та забруднюють підземні води.

Пилоутворення під час посівних робіт погіршує якість повітря в робочій зоні та прилеглих територіях. Дрібнодисперсний пил містить частинки ґрунту, рослинні залишки та можливі агрохімікати. Тривала експозиція створює ризики для здоров'я операторів техніки та населення близьких поселень.

Шумове забруднення від роботи сівалок впливає на фауну агроценозів. Птахи та дрібні ссавці змінюють поведінкові патерни через постійний механічний шум. Це порушує екологічний баланс сільськогосподарських угідь.

Раціональне використання сівалок потребує комплексного підходу до екологічної безпеки. Регулярне технічне обслуговування зменшує викиди та витіки забруднювачів. Оптимізація маршрутів руху техніки знижує ґрунтове ущільнення. Впровадження енергоефективних моделей із сучасними екологічними стандартами є пріоритетним напрямом.

Екологічна експертиза повинна включати моніторинг стану ґрунтів після посівних операцій. Необхідний контроль якості атмосферного повітря в період активних польових робіт. Важливим є дотримання технологічних вимог та екологічних нормативів при експлуатації посівної техніки.

5.3 Економічна ефективність розробки

В результаті проведених досліджень було встановлено, що застосування запропонованої конструкції висівного апарату вібраційного типу для посіву дрібнонасінних культур дозволить забезпечити значну економію посівного матеріалу і виключити необхідність проріджування рослин після появи сходів.

Метою економічного обґрунтування [32] є визначення економічної доцільності застосування пропонованого вібраційного висівного апарату для посіву дрібнонасінних культур.

Основним очікуваним результатом впровадження розробки є забезпечення економії посівного матеріалу з дотриманням вимог агротехніки до посіву.

Комплекс проєктованих заходів передбачає застосування переобладнаної сівалки СЗТ-3,6. Сівалка переобладнана за рахунок установки нових висівних апаратів вібраційного типу, що складаються з бункера з коливною заслінкою. Дана доробка дозволяє здійснити посів насіння моркви без застосування наповнювачів, і не використовуючи дражування насіння.

В результаті впровадження запланованих заходів:

1) за умови застосування насіння високої якості знизити норму висіву за рахунок економії посівного матеріалу в результаті застосування особливої конструкції висівного апарату і більш рівномірного розподілу насіння;

2) за рахунок забезпечення більшої рівномірності та оптимальної густоти посівів збільшити врожайність культури, виключити необхідність проріджування рослин після появи сходів.

Для переобладнання сівалки СЗТ-3,6 необхідно виготовити 12 висівних апаратів, що вимагає додаткових капіталовкладень (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Додаткові капіталовкладення

Показники	За проектом
Базова вартість сівалки СЗТ-3,6, грн.	130000,00
Вартість виготовлення 12 висівних апаратів і приводів до них	15078,84
Витрати на виготовлення висівних апаратів	5242,44
Ціна матеріалів, грн	2800,00
Погодинна оплата роботи працівників, грн	130,00
Час на виконання робіт, год	14,00
відрахування до фонду оплати праці, грн.	622,44
Витрати на виготовлення приводів для сівалок	7018,20
Ціна матеріалів, грн	4200,00
Погодинна оплата роботи працівників, грн	150,00
Час на виконання робіт, год	14,00
відрахування до фонду оплати праці, грн.	718,20
Витрати на розбірно-складальні роботи	2818,20
Погодинна оплата роботи працівників, грн	150,00
Час на виконання робіт, год	14,00
відрахування до фонду оплати праці, грн.	718,20
Базова вартість 1 переобладнаної сівалки	145078,84

Результати розрахунку економічної ефективності застосування вібраційного висівного апарату зведені в таблицю 5.2

Таблиця 5.2 – Економічна ефективність застосування вібраційного висівного апарату при посіві моркви

Показники	МТЗ-1221 +СЗТ-3,6	МТЗ-1221 + СЗТ-3,6А
Термін експлуатації проєкту, роки	8	8
Площа посіву, га	60	60
Норма висівання насіння, кг/га.	5	1,5
Годинне вироблення, га/год	9,5	9,5
Додаткові капітальні вкладення, грн.		15079
Економічний ефект, грн./га		2796
Економічний ефект за рік, грн.		167764
Економічний ефект за термін реалізації проєкту, тис. грн.		2571
Ціна попиту на ресурси для проєкту, тис. грн..		684
Коефіцієнт ефективності вкладень		0,901
Термін окупності інвестицій, років		0,10

Запропоноване технічне рішення дає можливість комерціалізації його у відносно короткі терміни з отриманням ефекту за рахунок підвищення якості посіву.

ВИСНОВКИ

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. На основі аналізу стану питання висіву дрібнонасієних культур встановлено, що для цієї мети доцільно застосовувати конструкцію висівного апарату вібраційного типу, що дозволяє забезпечити значну економію посівного матеріалу. Запропоновано технічне рішення конструкції висівного апарату вібраційного типу, що дозволяє знизити витрату посівного матеріалу до 1,5... 2,0 кг/га;

2. Отримано математичні залежності, що дозволяють обґрунтувати геометричні параметри та режими роботи вібраційного висівного апарату для забезпечення відповідно до агротехнічних вимог відсотка ефективного кута висіву 14,3...20 %;

3. Величина зміщення точки В (рис. 2.2) шарнірного з'єднання рухомої стінки висівного апарату і коромисла відносно початкового положення $\Delta L = 88 \cdot 10^{-3}$ м, радіус ексцентриситету $r = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м. Дане поєднання параметрів є кращим з позиції зменшення динамічних впливів на елементи конструкції та підвищення її надійності;

4. Експериментально встановлено, що зазначені параметри забезпечують достатню рівномірність розподілу насіння в рядку: математичне очікування ш інтервалу між насінням знаходиться в межах $5,3...6,0 \cdot 10^{-3}$ м на всьому робочому діапазоні частот;

5. Встановлено, що розподіл ймовірностей інтервалів між насінням при висіві вібраційним висівним апаратом підпорядковується закону щільності гамма-розподілу і характеризується значеннями параметрів коефіцієнта варіації, $0,33 < k_{\text{вар}} < 0,75$, при цьому коефіцієнт кореляції $\gamma \approx 1$, що підтверджує можливість використання обраної конструкції для висіву моркви.

6. В результаті проведених досліджень встановлено, що на рівномірність розподілу насіння в рядку істотний вплив має положення висівного апарату в

горизонтальній площині відносно посівного рядка. Найбільш кращим є положення, при якому апарат розташований так, що розкидання насіння відбувається вздовж посівного рядка. Це дозволяє поліпшити рівномірність розподілу насіння по довжині і ширині рядка (коефіцієнти варіації становлять до 39,3% і 40,8% відповідно).

7. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження вібраційного висівного апарату становить 167,8 тисяч грн., розмір економічного ефекту за термін служби становить 2571 тисяч грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Xu J., Sun S., He Z., Wang X., Zeng Z., Li J., Wu W. Design and optimisation of seed-metering plate of air-suction vegetable seed-metering device based on DEM-CFD. *Biosystems Engineering*, 2023. Vol. 230. Pp. 277-300. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.04.018>.
2. Пастухов В. І., Бакум М. В., Кириченко Р. В. До розробки мехатронних систем посівних машин точного висіву. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Серія Механізація сільськогосподарського виробництва*, 2015. Вип. 156. С. 156-161.
3. Hao J., Qu P., Liu T., Zhao J., Yin C., Zhao J., Wang X. Optimized Design and Testing of Core-share Seed Drill Furrow Opener Suitable for Heavy Clay. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2026. 57 (1). pp. 180-190. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2026.01.017
4. Li H., Zhang M., Sun Y., Liu Y., Fu Z., Huang Y. Design and experiment of the adjustable row number distribution device for wheat pneumatic collecting and discharging system. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2025. 41 (13), pp. 62 – 71. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.202411034
5. Пастухов В. І., Бараннік С. С. Напрямки удосконалення сівалок. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв»*. Харків: ДБТУ, 2021. С. 276.
6. Сисолін П. В., Свірень М. О. Висівні апарати сівалок. *Кіровоград*, 2004. 160 с.
7. Бакум М. В., Кириченко Р. В., Басов О. І. Використання мехатронних пристроїв в посівних машинах точного висіву. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Серія Механізація сільськогосподарського виробництва*, 2016. Вип. 173. С.125-131.
8. Дудніков А., Дудник В., Біловод О., Канівець О., Бурлака О. Підвищення ресурсу зернопосівних машин. *Інженерія природокористування*, 2021. №4(18). С. 68-72. [https://doi.org/10.37700/enm.2020.4\(18\).68-72](https://doi.org/10.37700/enm.2020.4(18).68-72)
9. Łukowski W. Influence of seeder inclination and hopper filling level on the dosing process of granular material: A case study of triticale. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2026. 20 (1), pp. 59 – 73. DOI: 10.12913/22998624/209986
10. Li B., Wang X., Li Y., Yang F., Liu P., Liu Z. Integrated Development of Pneumatic Precision Seeder Drill Electronic Control System and Distributed Electric

Drive Pressure Regulation Control Strategy. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2025. 56 (9), pp. 417-426. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2025.09.033

11. Zhang P., Liu D., Cui R., Xu Y. Design and experiment of directional control device for compound garlic seeds. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2024. 45 (3), pp. 8 – 13. DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.03.002

12. Zhang L., Liu Y., Wu M., Wu Z. Sowing Performance of the Seeder Drill for the 2BYG-220 Type Combined Rapeseed Planter under Vibration Conditions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2024. 14 (12), art. no. 5091. DOI: 10.3390/app14125091

13. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. Київ : «Агроосвіта», 2017. 180 с.

14. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. I (Ч. 2). Машини для сівби та садіння. Харків: Око, 2002. 452 с.

15. Сільськогосподарські машини : підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: «Агроосвіта», 2015. 679 с.

16. Guryanov G., Doudkin M., Kim A., Vavilov A., Asangaliev Y., Yakovlev V., Vasilyeva O., Vavilov O. Justification of rational operating parameters of vibration disc-working engines of seeding units to improve energy-technological indicators. *Journal of Applied Engineering Science*, 2024. 22 (1), art. no. 1178, pp. 184 – 198. DOI: 10.5937/jaes0-48227

17. Бойко В. Б. Теоретичні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в гідро-пневматичному висівному апараті. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2015. Вип. 3. С. 10-16.

18. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. *European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. doi:/10.15587/1729-4061.2020.212517

19. Zolotukhin Y., Nukeshev S., Amantayev M., Rustembayev A., Kakabayev N., Kravchenko R. Research tests of drill seeder with control and monitoring unit of seed metering device for differentiated dosing of seeds and mineral fertilisers in precision

agriculture. *Acta Technologica Agriculturae*, 2025. 28 (2), pp. 117 – 123. DOI: 10.2478/ata-2025-0015

20. Nukeshev S., Eskhozhin D., Mamyrbayeva I., Karaivanov D., Gubasheva A., Tleumbetov K., Kossatbekova D., Tanbayev K. Mathematical Modelling and Designing of a Universal Conical Spreader for Granular Material. *Acta Technologica Agriculturae*, 2023. 26 (3), pp. 152 – 158. DOI: 10.2478/ata-2023-0020

21. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник. К.: *НМК ВО*, 1992. 320 с.

22. Mohammed Z., Labad R., Taibi S., Feddal M.A., Echcherki S., Louahdi N. Performance analysis of the “boudour” direct seed drill in comparison with three tillage systems and their impact on lentil cultivation under semi-arid conditions conditions. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2025. 20 (8), pp. 483 – 490. DOI: 10.59018/042562

23. Dmytro A., Leshchenko S., Onopa V., Majara V., Deikun V. Analysis of the combined coulter point of the precision seed drill. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2022. 24 (4), pp. 57 - 71

24. Боженко В.О. Сільськогосподарські машини та їх використання: Навчальний посібник. К.: *Аграрна освіта*, 2009. 420 с.

25. Зубко В.М., Горовий М.В. Науково-методичне забезпечення навчального процесу : конспект лекції з дисципліни «Сільськогосподарські машини». Суми, 2022. 63 с.

26. Yu C., Chen Z., Chen L. Design and Test of Electronic Control Seeding System for Wheat Plot Drill. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2023. 54 (1), pp. 75 – 83. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2023.01.008

27. Yong K., Wang G., Wang Z., Zuo L., Yang Y. Design and Test of Rice and Wheat Combined Seeder of Sowing Depth Automatic Control. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2025. 56 (8), pp. 265 – 273. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2025.08.024

28. Maguire S., Earl R., Smith D.F., Cripsey P., Godwin R.J. Technology for variable rate precision drilling of onions. *Precision Agriculture*, 2024. pp. 373 - 378

29. Zheng J., Liao Y., Liao Q., Wang L., Shi B., Sun M. Design of the integrated precision pneumatic seed metering device for rapeseed using TRIZ-AD. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023. 39 (14), pp. 49 – 59. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.202303182

30. Про охорону праці : Закон України від 14.10.92 р. № 2695-ХІІ. Дата оновлення: 12.09.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 26.09.2025).

31. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 26.06.91 р. № 1268-ХІІ. Дата оновлення: 08.08.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 24.09.2025).

32. Тіхонов О. В., Рибалко І. М., Колпаченко Н. М. Техніко-економічна оцінка конструкторської розробки пристосування : методичні вказівки до виконання практичної роботи студентам, які навчаються за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. *Харків. нац. техн ун-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка*, 2021. 22 с.