

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ГЕРАСИМЧУК АНДРІЙ АНДРІЙОВИЧ

УДК 631.5

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування параметрів вібраційного
апарата для висіву кунжуту**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Герасимчук А.А.

Керівник роботи

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Герасимчук Андрій Андрійович. Обґрунтування параметрів вібраційного апарата для висіву кунжуту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі в результаті аналізу різних технологій вирощування кунжуту в даний час, можна зробити висновок, що в країнах-виробниках кунжуту масово відсутні сівалки для посіву насіння кунжуту і переважає ручна руда, тому необхідно провести дослідження з розробки або оптимізації параметрів сівалки підвищення її можливостей використання для посіву насіння кунжуту, особливо в країнах, що розвиваються, для підвищення врожайності та якості виробленого кунжуту.

Аналіз висівних апаратів показав, що вібраційний висівний апарат має значні переваги в порівнянні з традиційною механічною та пневматичною технологією дозування насіння, оскільки він спрощує технічне обслуговування за рахунок виключення таких елементів як приводні ланцюги, вали та зірочки, присутні в механічній системі дозування насіння. На роботу вібраційного висівного апарату так само не впливає прослизання приводного колеса, особливо при високих швидкостях роботи, що призводить до нерівномірності розподілу насіння, не вимагає установки вакуумної системи як на пневматичних сівалках.

Для можливості моделювання роботи вібраційного висівного апарату було створено його цифрову твердотільну модель. При зміні зазору від мінус 10 мм до плюс 30 мм норма висіву змінювалася від 2,4 г/хв до 10 г/хв, при фіксованих кутах відкриття $\alpha=20^\circ$ і часу відкриття 25 мс.

Ключові слова: висівний апарат, кунжут, процес, моделювання, сівалка.

ANNOTATION

Gerasymchuk Andriy Andriiovych. Substantiation of parameters of a vibrating apparatus for sesame seeding. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, as a result of the analysis of various technologies for growing sesame seeds at present, it can be concluded that in sesame producing countries there are no seeders for sowing sesame seeds and manual ore prevails, therefore, it is necessary to conduct research on the development or optimisation of the parameters of the seeder to increase its capabilities for sowing sesame seeds, especially in developing countries, in order to increase the yield and quality of the produced sesame seeds.

The analysis of sowing machines has shown that the vibrating sowing machine has significant advantages over traditional mechanical and pneumatic seed metering technology, as it simplifies maintenance by eliminating elements such as drive chains, shafts and sprockets present in the mechanical seed metering system. The operation of the vibratory sowing machine is also not affected by slippage of the drive wheel, especially at high operating speeds, which leads to uneven distribution of seeds, and does not require the installation of a vacuum system as on pneumatic seeders.

A digital solid-state model of the vibrating sowing machine was created to simulate its operation. When the gap was changed from minus 10 mm to plus 30 mm, the seeding rate varied from 2.4 g/min to 10 g/min, with fixed opening angles $\alpha=20^\circ$ and opening time of 25 ms.

Keywords: sowing machine, sesame, process, modelling, seeder.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПОСІВУ КУНЖУТУ ТА ЇХ АНАЛІЗ...	7
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВІБРАЦІЙНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ ТА АНАЛІЗ РОЗМІРІВ НАСІННЯ.....	29
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ.....	37
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Одним із ключових завдань, що стоять перед людством є збільшення обсягів виробництва продуктів харчування при одночасному збереженні якості та доступності продукції.

Вирішення цього завдання неможливе без застосування сучасних засобів механізації, заміни ручної праці, автоматизації окремих технологічних процесів виробництва сільськогосподарської продукції.

Одним із напрямів підвищення врожайності при одночасному зниженні собівартості продукції, підвищенні рентабельності виробництва та зниженні навантаження на ґрунт є диференційований підхід при обробітку сільськогосподарських культур. Сучасні технології дозволяють реалізувати дані напрями при виконанні ряду умов, одна з яких наявність сівалки з можливістю зміни норми висіву при знаходженні в різних частинах поля відповідно до отриманих карт завдань на висів. Відмінною особливістю такої сівалки є автоматично керований привід апарата, що висіває.

Однією з цінних культур, що вирощуються у світі, є кунжут, виробництво, якого здебільшого зосереджено у спекотних країнах.

Аналіз показав, що з його виробництві, зокрема і посіві, переважно використовують ручну працю, оскільки існуючі засоби механізації або дуже складні, дороги і вимагають високої кваліфікації під час налаштування і з ними, що суттєво впливає собівартість одержуваної продукції, чи не дозволяють проводити висів відповідно до агрономічних вимог.

Виходячи з цього виникає необхідність у розробці технічних засобів для посіву насіння кунжуту, що мають можливість налаштування параметрів функціонування та мінімальну собівартість при належному виконанні технологічного процесу висіву.

Мета і завдання дослідження. Мета проєкту – покращення показників процесу висіву насіння кунжуту шляхом оптимізації параметрів роботи вібраційного висівного апарату сівалки.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити основні завдання:

- провести аналіз конструкцій існуючих висівних апаратів, здатних висівати насіння кунжуту;
- модернізувати вібраційний висівний апарат сівалки.

Об’єкт дослідження: технологічний процес висіву насіння кунжуту вібраційним висівним апаратом та його параметри роботи.

Предмет дослідження: закономірності та способи підвищення показників процесу висіву насіння кунжуту шляхом оптимізації конструктивних параметрів роботи вібраційного висівного апарату.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Білецький В.Р., Герасимчук А.А. Розробка імітаційної моделі вібраційного висівного апарату. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 26-30.

2. Білецький В.Р., Герасимчук А.А., Янченко О. О., Ошуревич О. А. Вимірювання та аналіз розмірів насіння (на прикладі кунжуту. *Збірник матеріалів IX Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.

Практичне значення проєкту полягає у модернізації вібраційного висівного апарату сівалки.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 46 сторінок комп’ютерного тексту, містить 21 рисунок та 7 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПОСІВУ КУНЖУТУ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Існуючі методи посіву кунжуту. У зв'язку з тим, що кунжут вирощується в країнах з різною розвиненістю засобів механізації, при посіві можуть використовувати як примітивні знаряддя праці типу ручних сівалок і сівалок тварин, що приводяться в рух, так і високотехнологічними сівалками агрегованими з тракторами [8] (рис. 1.1). У різних країнах технології вирощування кунжуту мають свої особливості та специфіку. Для різних типів насіння та культур, а також засобів механізації для їх посадки існують агровимоги [1]. Розглянемо вимоги до процесу сівби на прикладі агротехнологій вирощування кунжуту в Єгипті. Залежно від умов вирощування, родючості ґрунту, сорту кунжуту та наявних засобів механізації посів виробляють з міжряддями 40 – 60 см та відстанями 10 – 20 між лунками у яких може рости від однієї до трьох рослин. При більшій кількості рослин у лунці відбувається їх взаємопригнічення, що призводить до повної загибелі всіх рослин у лунці, що суттєво знижує врожайність. Тому при використанні примітивних засобів посадки, що не дозволяють витримувати задані агровимоги до посіву, виробляють післясхідне проріджування, яке в більшості випадків, через відсутність засобів механізації, проводиться вручну. Також у відсутності у більшості виробників методів оцінки якості насіння (польової схожості), а також не можливості висадки насіння на задану глибину, з урахуванням допустимих заданих відхилень по глибині посадки, а також специфіки фізико-механічних властивостей насіння, в більшості випадків завищують норму висіву до 5 разів, а потім вже за фактом рослин, що зійшли, роблять проріджування. Збільшення ширини міжряддя веде до збільшення майданчика живлення рослини та полегшення міжрядної обробки для боротьби з бур'янами, особливо при використанні ручної праці. Розглянемо найпоширеніші схеми посадки.

Ручна посадка. При ручній посадці (рис. 1.1) не можливе точне дозування кунжуту, що висівається насіння, що володіє дуже малими розмірами.

При використанні ручних засобів дозування та посадки для підвищення точності насіння кунжуту змішують із золою, ґрунтом або піском у співвідношенні один до трьох, але ряд дослідницьких джерел рекомендують змішувати один до п'яти. При цьому рекомендована норма висіву повинна становити 5-7 кг при рядовому способі посіву та 7-10 кг при широкорядному способі посіву. При цьому на норму висіву істотно впливає людський фактор, а саме навички людини, що виробляє висів з граничною рівномірністю розподілу [10].



Рис. 1.1. Існуючі методи посіву кунжуту

При ручній посадці розподіл рослин у рядку дуже нерівномірний і характеризується наявністю великої кількості зон з підвищеною густотою і зон з малою кількістю рослин, що зійшли. Даний ефект виникає через нерівномірність розподілу насіння в суміші з піском, золою або ґрунтом, відсутності засобів вимірювання та контролю у людини, що виробляє висів.

Післясходове проріджування дозволяє частково згладити отриману нерівномірність при посадці, при цьому намагаються витримати відстань, що

рекомендується, між лунками з рослинами, яка повинна становити 10 см при цьому на метр довжини має бути від 22 до 25 насіння, що зійшло. За відсутності насіння внаслідок пропуску або його загибелі роблять точкове підсіювання.

Дотримання даних рекомендацій щодо якості виконання технологічних операцій призводить до максимально можливої за даної технології врожайності.

Ручна посадка із використанням засобів механізації. Порівняно з попереднім ручним способом посіву, при даному способі висіву кунжуту використовуються засоби механізації, що приводяться в рух людиною (рисунки 1.2). Дані пристрої бувають тягаються і штовхаються і відрізняються складністю конструкції робочих органів, що формують борозну, дозують насіння і заробляють насіння в ґрунт. При даних способах посіву попередньою операцією підготовки ґрунту є її обробка вироблена в більшості випадків за допомогою мотики.



Ручна сівалка для кунжуту



Ручна сівалка з механічним керуванням в Танзанії

Рис. 1.2. Сівалки для ручної посадки з використанням засобів механізації

Механізована посадка сівалками, що агрегатуються з тракторами. В даний час кунжут сіють рядними сівалками, що агрегатуються з тракторами. Які, як правило, складаються з одного або декількох бункерів насіння, висівних апаратів, а також пристроїв для загортання насіння в ґрунт. Регулювання сівалок спрямовані або встановлення норми висіву насіння, або регулювання глибини висіву. Кунжут висаджують поряд з рівним кроком між ними, що сприятиме вищій врожайності з глибиною загортання насіння 2-5 см. У багатьох країнах широкого поширення сівалки не набули, оскільки відсутні програми партнерства

такі як в Ефіопії, між міжнародними та місцевими організаціями та виробниками насіння кунжуту.

Так, наприклад, програма комплексного розвитку насінницького сектора в Ефіопії спрямована на зміцнення динамічного розвитку, при якому якісне насіння більш продуктивних сортів доступне для більшої кількості фермерів, сприяючи тим самим підвищенню врожайності, продовольчої безпеки та економічного розвитку Ефіопії.

Програма реалізується спільними зусиллями університетом Bahir Dar, університетом Haramaya, університетом Hawassa, університетом Mekelle, організацією Oromia Seed Enterprise, Ефіопською Асоціацією насінництва та Центром інноваційного розвитку міста Вагенінгена. Програма фінансується Генеральним директором міжнародного співробітництва через посольство Королівства Нідерландів в Аддіс-Абебі. Вона працює з Rhea Composites (спеціалізується на виробництві продукції для сільського господарства) для розробки прототипів та місцевого виробництва сівалок насіння кунжуту для дрібних фермерів (рисунок 1.1).

В даний час для великих фермерів існує програма підтримки Sesame Business Network (SBN) на північному заході Ефіопії у співпраці з Mamaye Agricultural Development PLC; Humera Agricultural Research Centre (HuARC); Rhea Composites та Ultimate Motors які демонструють та тестують тракторні сівалки для кунжуту фірми NARDI (рис. 1.1).

Програма є спільним проектом Центру інноваційного розвитку Вагенінгена, сільськогосподарським науково-дослідницький центр (GARC), Humera Agricultural Research Centre (HUARC), університет Bahir Dar, університет , Mekelle, Amhara і Tigray Regional Bureaus of Agriculture (BoA), регіональними сільськогосподарськими науково-дослідними інститутами (ARARI та TARI).

Точний посів є найкращим способом із різних способів посіву. Він використовується для точного розміщення окремих насіння або груп насіння практично на рівній відстані один від одного вздовж борозни. Сівалки для

точного землеробства зазвичай використовуються для посадки культур, які вимагають точного контролю популяції рослин, певної відстані між рядами та вздовж рядів. У цих сівалках використовується інший тип висівного механізму. Рядові сівалки зазвичай використовуються для посадки великого насіння; однак, вони також використовуються, щоб підсіяти дрібне насіння.

Загальні дозувальні пристрої для сівалок для просапних культур відомі такі як тарілка, диск і барабан. Загальною особливістю цих видів дозують є зміна норми висіву шляхом зміни швидкості в певних межах з використанням механічного ведучого колеса, гідравлічного або електричного приводу, керованого за допомогою комп'ютера.

Існує різниця у кількості рядів та відстані між рядами, отже, існують відмінності в робочій ширині від однієї сівалки точного висіву порівняно з іншою (табл. 1.1). Точні сівалки бувають для традиційного посіву після ґрунтообробки, так і для прямого посіву.

Сівалки точного висіву можуть використовуватися як для орних так і не орних земель, якщо встановити на сівалки пристрій для різання ґрунту та залишків. Обробка ґрунту використовується для підготовки ґрунту перед посівом багатьох культур і відрізняється у різних країнах та районах.

Висівати апарати для точного висіву. Висівний апарат використовується для дозованої подачі насіння з бункера і до насіння транспортуючого насіння до підготовленого дна борозни. Метою посіву насіння за допомогою сівалки точного висіву є досягнення рівномірного розподілу насіння у ряді [9]. Існує два види технології дозування насіння: технологія пневматичного дозування та технологія механічного дозування. Насіння відрізняється один від одного і деякі з них мають легку вагу, низьку міцність на зсув, хорошу сферичну форму, гладку шкірку і високий вміст олії [7]. Всі ці властивості заважають точному механічному дозування насіння. Фактично, для точного висіву воліють використовувати технологію пневматичного дозування насіння, тому що

використання пневматичних висівних апаратів зменшує ймовірність пошкодження насіння, а також немає потреби у сортуванні насіння.

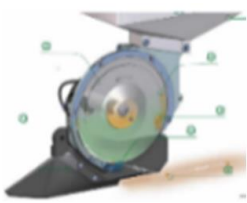
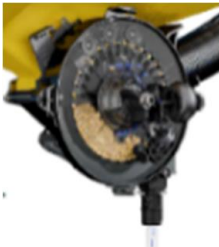
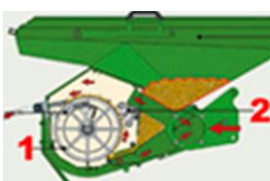
Таблиця 1.1 – Порівняльні показники параметрів різних видів та моделей сівалок точного висіву

Марка машини	Модель	Кількість рядків	Відстань між рядками, м	Робоча ширина, м	Країна виробник
Kverneland Monopill	Monopill rigid	6-24	0.45/0.5	3-12	Норвегія
	Monopill hydraulic folding	12/18	0.45/0.5	6/9	Данія
Kverneland Optima	Optima rigid	6-18	0.3 - 0.8	3-9.3	Германія
	Optima hydraulic folding	12	0.50	6	Нідерланди
	Optima TF profi	8	0.70 - 0.80	6.2	Франція
	optima TF maxi	16	0.70/0.80	12	Італія
					Росія
Horsch	Maestro CC	6-12	0.45 - 0.8	4.4-6	Китай
	Maestro RC	8/12	0.45 - 0.8	5.7/6	Великобританія
	Maestro SW	12-24	0.45 - 0.75	8.6-17.4	США, Германія, Франція, Росія, Україна, Чехія, Бразилія, Китай
Ozduman	HVM	4-8	0.25 - 0.6	2	Турція
	HVM-K	6	0.45 - 0.7	4	
	HVMD	4/8	0.25 - 0.6	2	
	HVM-TG/ HVM-T	6	0.70 - 0.75	4	
	Rigid 3000	6	0.76	5.4	
Kinze	Mounted 3110; 3140	8/16	0.76	6.7/11.3	США
	Wing fold 3200	12	0.76	9.6	
	Pivot fold 3500; 3600; 3660	8-16	0.76 - 0.94	6.7	
	Front fold 4900; 3700	16/24	0.76/0.56	13.2/14.6	
Vaderstad	Tempo R4 / TempoT6	4/6	0.45 - 0.8	3.1/4	Швеція
	Tempo F	6/8	0.7 - 0.8	4.5/6	
	Tempo V	8/12	0.45 - 0.76	5.4/6	
	Tempo L	12-24	0.45 - 0.8	9-12.2	
	Tempo R	12/18	0.45 - 0.8	9/9.2	
Irtem	IrTem disc type	4/6/8	0.7	2.98/3.88/6	Турція
Amazona	ED 4500-2C; ED 6000-2C	6/8	0.6 - 0.8	4.2/6	Германія
	ED 6000-2FC; ED 12000-KR	12/18	0.45 - 0.8	5.4/8.4	
Sola	Prostem K fixed F255	4/6	0.33 - 0.75	2.55	Іспанія
	Prostem K fixed F350; F450	6	0.33 - 0.75	3.5/4.5	
	Prostem K fixed F600	8/12	0.33 - 0.8	6	
	Prostem K fixed F900	18	0.5	9	
Klen	Klen 2.8C	4/6	0.45 - 0.7	2.6/4.2	Росія
	Klen 5.6KP	8	0.7	5.6	
MaterMacc	Rigid tool bar MS 8100	4-12	0.45/0.75	2.5-6	Італія
	Telescopic tool bar MS 8130	4/6	0.75	2/3	

Існує ціла низка дозаторів насіння для точного висіву різних моделей, які були оновлені та розроблені для високої швидкості роботи (Табл. 1.2).

Системи приводів висівних апаратів. Більшість приводних систем дозування насіння для сівалок точного висіву можна загалом класифікувати як: механічні, електричні та гідравлічні приводні системи.

Таблиця 1.2 – Порівняння різних типів дозаторів насіння для різних типів сівалок точного висіву

Тип лічильника насіння	Картина	Робоче правило	Характеристики	Тип сівалки
Тарілка лічильник насіння		Пластина має кілька отворів або осередків. насіннєві клітини по периферії насіннєвого диска збирають окреме насіння із насіннєвої камери. При обертанні насіннєвого диска насіння транспортується донизу трубкою для доставки насіння через силу тяжіння.	Потреба у сортуванні насіння та доборі клітин. Потрібна довша труба доставки.	Kverneland Monopill моделі, Kinze Прецизійні моделі.
Щітка лічильник насіння		одне насіння в кожній канавці утримується щіткою, а все решта насіння падає назад на партію насіння і потім дозволяє насінню потрапляти в трубку для доставки насіння.	Легко замінити. Довгі щітки. Легко почистити.	Всі сівалки Kinze моделі
Вакуум лічильник		Насіння утримується в отворах на обертовому диску за допомогою негативного тиску, а потім окреме насіння потрапляє в систему доставки насіння з ефектом відсічення, який видаляє різницю тиску, як тільки насіння надходить на вихід.	Немає вимог до сортування насіння. Висока точність на високих швидкостях. Зношування прокладки необхідно часто замінювати.	Kverneland optima, Horsch, Ozduman, Kinze, Irtem, Sola, Klen, MaterMacc
Тиск повітря лічильник насіння		Насіння утримується в осередках на диску, що обертається при позитивний тиск повітря, потім насіння опускається в сім'япровід за допомогою м'якої щітки, яка перекриває подачу повітря, коли насіння знаходиться поряд з сім'япроводами.	Високі норми висіву на високій швидкості. збільшити ефективність поля. Але призвести до пошкодження насіння і легко засмічити насіннєву трубку	Всі сівалки Vaderstad моделі
Підбір пальця лічильник насіння		Підпружинений палець збирає одне або кілька насіння з дна бункера для насіння, а одне насіння, що залишилося в пальці, випускається через отвір у верхній частині нерухомого диска в систему транспортування.	Насіння легко ушкоджується за високої робочої швидкості пальцями.	Всі сівалки Kinze моделі
Централізована пневматика лічильник насіння		Коли барабан обертається, насіння утримується диференціальним тиском у кожному отворі по периферії барабана. Коли насіння переміщається поряд з насіннєвою трубкою, ролик, розташований зовні барабана, блокує отвори, зупиняючи перепад тиску, і насіння потрапляє в трубку, що подає, де вони переносяться повітрям в борозну.	Високі вимоги до тиску повітря. Дорогого у виробництві.	Всі сівалки Amazone моделі

Механічний привід дозаторів насіння. Механічний приводний дозатор насіння в даний час ефективно виконує свою функцію, і це відповідне рішення для подолання проблеми норми висіву насіння точної посадки, але є багато недоліків цього методу, і їх можна уникнути, використовуючи системи електричного або гідравлічного приводу та керований дозатор насіння. Блок. Сучасні системи приводу з контактом із ґрунтом доступні для всіх моделей сіялок Kinze, крім 3660, вони точні, надійні та легко регульовані для різної норми висіву, а також не мають зчеплень та ланцюгів, які можна зняти для транспортування, і вони використовують пружинні навантажені шини для забезпечення слизького приводу під час роботи [9] (рисунок 1.3 а). Для всіх моделей сіялок Monorill і Optima у стандартній комплектації використовується пристрій дозатора насіння механічним приводом, крім моделей; Жорстка рама Monorill 24 ряду, паралельне гідравлічне складання Monorill 18 рядів та Optima TF, в той час як вони використовують лише електричний привід. Компанії Amazone, MaterMass, Sola, Ozduman та Irtem, компанії з Німеччини, Італії, Іспанії та Туреччини відповідно, розробили механічний привід дозування насіння з автоматичною коробкою передач і використовують його як стандарт на всіх своїх моделях сіялок точного висіву [(рисунок 1.3 б- д).

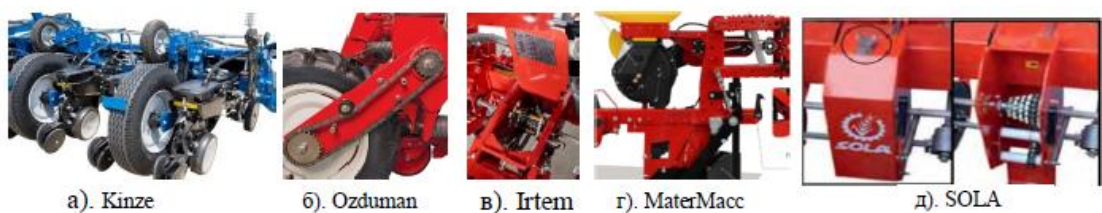


Рис. 1.3. Механічний привід висівних апаратів сіялок точного висіву

Електричний привід дозатора. Висіваючі апарати з приводом від електродвигуна мають численні переваги і мають великі можливості в порівнянні зі звичайними системами приводу, наприклад, електроприводи спрощують технічне обслуговування, так як відсутні приводні ланцюги, що рухаються колесом, відсутні приводні вали, системи передач [7]. Кожен висівний апарат сіялки приводиться в дію індивідуально через невеликий електродвигун.

Точне дозування насіння дозволяє контролювати норми висіву для кожного ряду і відключати подачу, коли відбувається вхід секції, що висіває, у вже засіяну зону. Для всіх моделей сівалок Monorill і Optima у стандартній комплектації використовується електропривод, електродвигун підключається безпосередньо до висівного апарату через зубчастий ремінь у герметичному пилозахисному корпусі. Дана конструкція дуже компактна, практично не вимагає обслуговування і має плавні характеристики приводу з малим споживанням струму [6, 7] (рис. 1.4 а). Horsch та Vaderstad зробили електропривод приводу висівного апарату стандартним для всіх своїх моделей сівалок точного висіву. Вони розробили метод прямого приводу із використанням двигуна з редуктором безпосередньо на валу дозатора насіння, внаслідок чого ширина висівного апарату стала більшою (рис. 1.4 б, в). Kinze додає цю технологію лише до останніх оновлень своїх сівалок серії 4900 (малюнок 1.4 г). Використання прямого електричного приводу висівного апарату дає можливість висівати насіння будь-якого розміру і форми з заданою нормою висіву при різних швидкостях посіву при рівній відстані між рослинами всіх моделях сівалок точного висіву Klen [6] (рисунок 1.4 д).



Рис. 1.4. Привід висівного апарату різних сівалок точного висіву від електродвигуна постійного струму

Гідравлічний привід дозування насіння. Мойєр і співавт [8] згадує, що сівалки точного висіву втрачають свою високу продуктивність і точність посадки, особливо на нерівних полях, де утруднена взаємодія між ґрунтом та колесом сівалки, що призводить до нерівномірного висіву насіння.

Неточний розподіл насіння у ряді призводить до зниження кінцевого врожаю [9]. Відповідно до цих досліджень та для вирішення проблем, згаданих

вище, механічна приводна система замінюється електричними або гідравлічними двигунами для приводу дозаторів насіння. Система гідравлічного приводу підходить для змінної норми висіву. У Kinze багато років існує гідравлічний привід висівних апаратів, і в даний час він доступний у моделях 3600, 3660, 3700 та 4900 (рисунок 1.5). Horsch і Amazone, відомі німецькі сівалки, зараз використовують гідравлічний привід висівних апаратів на всіх своїх моделях сівалок точного висіву, крім моделі Amazone ED 12000-KR, де вона має тільки механічну систему приводу.



Рис. 1.5. Гідравлічний привід сівалок точного висіву фірми Kinze

Насіння проводів. Точність висіву в основному залежить від точності дозуючого пристрою висівного апарату та конструкції пристрою доставки насіння в борозну. Механізм доставки насіння змонтований на виході апарату, що висіває. Він має велике значення в сівалці точного висіву, так як його основна функція полягає в тому, щоб транспортувати насіння з дозуючого пристрою в борозну і витримувати рівну відстань між насінням уздовж борозни, таким чином сім'япровід може покращити якість посіву. Насіння проводів у досліджуваних сівалках бувають елеваторного типу з механічним приводом і у вигляді трубок, які в свою чергу поділяються на два основні типи: прямокутний та круглий сім'япровід.

Насіння елеваторного типу з механічним приводом. Насіння проводи даного типу є стрічкою з лопатками і дозволяють зменшити кількість рикошетів насіння в сім'япроводі при підвищенні вібрацій пов'язаних зі збільшенням швидкості переміщення сівалки і, як наслідок, збільшити швидкість посіву за збереження

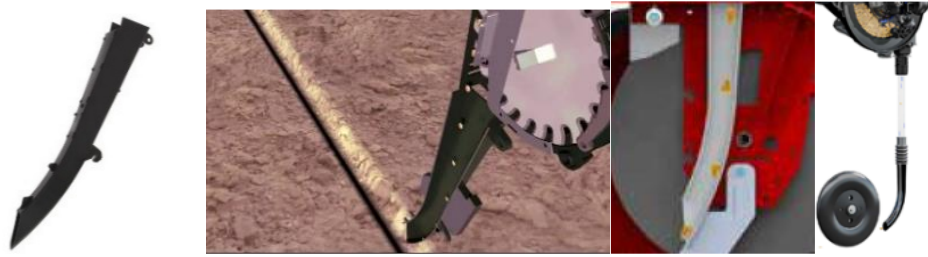
точності розподілу насіння в борозні. Прикладом такого рішення є сім'япровід кампанії Precision Planting (рис. 1.6). Недоліком такого пристрою є відносно мала надійність порівняно із звичайними з сім'япроводами трубчастого типу за рахунок наявності частин, що рухаються, і їх висока вартість.



Рис. 1.6 . Сім'япровід елеваторного типу з механічним приводом

Насіннепровід прямокутного перерізу (рис. 1.7 а) є найбільш поширеним механізмом транспортування насіння і широко використовується в сівалках точного висіву (Kinze, Horsch, Amazone, MaterMass та ін.). Основна функція прямокутної насінневої трубки полягає в транспортуванні насіння в борозну за збереження їх рівномірності руху. Форма прямокутної насінневої трубки спроектована повністю на основі траєкторії руху насіння за оптимальної швидкості висіву насіння. Коли швидкість обертання дозованого насінневого диска менше 30 об/хв, прямокутна насіннева трубка добре працює і зберігає рівномірність відстані між насінням. Але нерівномірність значно збільшується при швидкості обертання більше 30 об/хв.

Сім'япровід круглого перерізу є в більшості випадків гнучкий шланг. Vaderstad, відомий виробник сівалок, розробила круглу насінневу трубку (рисунок 1.6 б), на виході якої встановлювався вимірювач тиску повітря на насіння. Коли насіння досягає насінневої трубки, тиск повітря відключається та його вплив мінімізується. Під час роботи всім насінням надається однаковий час транспортування від висівного апарату вниз до борозни, і на нього не впливають ні нахили, ні вібрація, дозволяючи висаджувати насіння з високою швидкістю та високою рівномірністю відстані між насінням.



а) Насіння проводів прямокутного перерізу (Kinze, Horsh, MaterMac)

б) Насіннєпровід круглого перерізу (Vaderstad)

Рисунок 1.7 – Насіння проводів прямокутного та круглого перерізу
Датчик контролю насіння та система моніторингу процесу висіву.

Основною метою системи моніторингу процесу висіву насіння є спостереження за нормою висіву насіння за кожним висівним апаратом, а також сівалкою точного висіву в цілому. Датчик контролю висіву насіння є основою для вимірювання рівномірності відстані між насінням різного типу в режимі реального часу, тому він є важливою частиною інтелектуальної системи моніторингу та управління. Оптичні датчики широко використовуються через їх низьку вартість та високу точність. Датчик може бути встановлений у різних положеннях вздовж сім'япроводу: на вході, посередині або виході з сім'япроводу. В даний час Horsch на всіх моделях своїх сівалок точного висіву використовує оптичні датчики, закріплені в середині прямокутної насінневої трубки, для контролю точності норми висіву, відстані між насінням, перепустками та двійниками (рисунок 1.8а). Датчик виявляє кожне зерно та відправляє його на дисплей моніторингу висіву. Проводиться оцінка даних та час між сигналами від зерен. Дана інформація використовується для розрахунку коефіцієнта варіації, помилок та подвійного насіння. Однак оптичні датчики мають деякі серйозні недоліки при відкладеннях пилу в польових умовах, які негативно впливають на сигнали датчиків. Промінь схильний до помилкового розриву від усіх частинок, які можуть вплинути на нього, і це може бути причиною невірних даних у моніторі. Для вирішення цих проблем Kinze використовує височастотний датчик (рис. 1.8б), розроблений компанією Precision Planting Inc. розрізняє насіння по масі а не на вигляд для уникнення впливу перешкод від пилу в процесі висіву.

Радіохвильовий датчик використовує високочастотні хвилі, щоб дивитися на падаючі насіння під різним кутом. Це дає датчику можливість відрізнити однорічне насіння від подвійного, пилу або будь-якого іншого матеріалу, тому що усі вони мають різну масу. Він вважає кожне насіння, а не пил і навіть при високій подачі насіння реєструє поодинокі насіння, двійники, перепустки та відстані між насінням. Так як пил не заважає реєстрації насіння датчик встановлюють з кінці сім'япроводу для отримання більш точних даних, при цьому датчик самоколебрується в залежності від запиленості. Компанія Vaderstad анонсувала нову унікальну технологію під назвою Seed Eye для вимірювання рівномірності відстані між насінням, оскільки в даний час вона використовує оптичний датчик, що працює в інфрачервоному спектрі, вміщений в насінну трубку (рис. 1.8).

Датчик постійно відстежує все насіння, яке висівається, а також підраховує насіння і сигналізує що насіння трубка забита.

Система моніторингу висіву може легко встановити норму висіву на гектар для різних видів насіння відповідно до сигналів, отриманих від датчиків насіння, а також відображає всі параметри, пов'язані з точністю посадки насіння. Компанія Kverneland використовує e-drive II у моделях сівалок Monopill та Optima для повного електронного контролю всіх функцій сівалок точного висіву з кабіни трактора. За допомогою e-drive II кожен посівний агрегат наводиться в рух індивідуально за допомогою електродвигуна. Всі дані вводяться та зчитуються терміналом з протоколом ISOBUS conform, таким як IsoMatch Tellus Pro/GO (Kverneland) для ефективної та простої роботи з метою досягнення найкращої та максимальної продуктивності, а також економії витрат на добрива, хімікати та насіння.

Усі посівні секції можуть бути відключені окремо (рис. 1.8a)

Всі моделі сівалок Horsch також оснащені системою управління секціями за допомогою ISOBUS, яка дозволяє автоматично вмикати та вимикати окремі секції, такі як добрива та насіння, в потрібний час використовуючи GPS (рис. 1.8

б). Компанія Kinze використовує електронний монітор насіння КРМ III, який простий у використанні, економічний і дає результати, контролюючи до 36 рядів одночасно, для своїх просапних сівалок моделей 3200, 3600, 3660, 3700 і 4900. При сумісності з ISO вид розділеного екрану і сівалкою через один монітор, визначаючи норму висіву насіння та розширене керування сівалкою (рисунк 1.8 в). Vaderstad використовує сучасну систему електронного управління, яка за бездротовим протоколом підключається до сівалки, забезпечуючи повний доступ до її функцій та даних. Vaderstad E-control – це повністю портативна система моніторингу та управління, здатна регулювати робочу глибину, змінювати швидкість посадки та контролювати точність посадки за допомогою портативного iPad (рис. 1.8 г). Компанія Irtem також використовує систему контролю насіння всіх своїх моделях сівалок (рис. 1.8 д). Компанія Amazone використовує для всіх моделей сівалок різні технології від простих електронних до ISOBUS. Там, де встановлений механічний привід управління може здійснюватись за допомогою простого електронного обладнання з монітором AMASCAN+. Під час посіву на моніторі відображається точна кількість висіяних зерен на гектар, і кожна секція, що висіває, може бути відключена індивідуально через монітор AMASCAN+, який з'єднаний з оптичними датчиками (рисунк 1.8е). Також компанія Sola використовує електронний монітор для управління всіма функціями сівалки. Сівалка Klen оснащена електронною системою дистанційного керування для контролю процесу посіву за допомогою пульта дистанційного керування. Він забезпечує високу точність посадки, рівну відстань між рослинами, можливість регулювання норми висіву з кабіни трактора та відсутність механічного пошкодження насіння (рис. 1.8 ж). Порівняльні характеристики моделей сівалок, що досліджуються, для точного висіву представлені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння технологій контролю та керування для точного висіву з використанням різних типів сівалок

Марка машини	Кількість рядів	Тип лічильника насіння	Привід дозатора насіння	Датчик контролю насіння	Тип монітора контролера
Kverneland Monopill	6-24	Тарілчастий лічильник насіння	Механічний, Електричний	Оптоелектронний датчик	IsoMatch Tellus Pro/GO
Kverneland Optima	6-18	Вакуумний лічильник насіння	Механічний, Електричний	Оптоелектронний датчик	IsoMatch Tellus Pro/GO
HORSCH	6-24	Вакуумний лічильник насіння	Електричний, гідравлічний	Оптоелектронний датчик	Технологія ISOBUS
Ozduman	4/6/8	Вакуум лічильник насіння	Механічний	—	—
Kinze	6-24	Підбір пальця, Щітка та Вакум лічильник насіння	Механічний, Електричний, гідравлічний	Радіохвильовий датчик	KPM III електронний монітор насіння. ISOBUS-сумісність
Vaderstad	4-24	Лічильник насіння з датчиком тиску повітря	Електричний	Оптоелектронний датчик	Електронний контроль та термінал ISOBUS
Irtem	4/6/8	Вакуум лічильник насіння	Механічний	—	Електронний монітор насіння
Amazone	6-18	Централізована пневматика лічильник насіння	Механічний, гідравлічний	Оптоелектронний датчик	AMASCAN + монітор, термінали ISOBUS (AMATRON 3 / CCI 100 / AMAPAD)
Sola	4-18	Вакуум лічильник насіння	Механічний	—	Електронний монітор насіння
Klen	4/6/8	Вакуум лічильник насіння	Електричний	—	Електронний монітор з дистанційним управлінням
MaterMacc	4-12	Вакуум лічильник насіння	Механічний	—	—



а) Оптичний датчик встановлений у середині прямокутного сошника (Horsch)



б) Радіохвильовий датчик встановлений на виході із сім'япроводу (Kinze)



в) Оптичний датчик встановлений в середині круглого сім'япроводу (Vaderstad)

Рис. 1.8 – Види датчиків контролю висіву сівалок для точного землеробства



Рис. 1.9. Типи моніторів систем моніторингу висіву: а – IsoMatch Tellus Pro/GO (Kverneland); б – Horsch terminal; в – Kinze KPM III та ISOBUS display; г – Vaderstad E-control та ISOBUS terminal; д – Irtm screen; е – Klen монітор контролю висіву насіння; ж – AMASCAN+ та Amazone ISOBUS terminals (AMATRON 3, CCI 100 та AMAPAD)

Робочі органи для формування борозни та закладення насіння сівалок точного висіву. Основними завданнями стоять перед робочими органами є якісно підготовлене насіннєве ложе та подальше закриття насіння ґрунтом. Існують різні комбінації робочих органів, що дозволяють найбільш ефективно виробляти сівбу виходячи з великої кількості факторів. До найбільш популярних

можна віднести: механічну сівалку точного висіву Kverneland Monopill, універсальну пневматичну сівалку Kverneland Optima, сівалку HORSCH Maestro, що має великі бункери для насіння ємністю 70 літрів для Maestro CC і RC, і центральний бункер 2000 літрів для Maestro SW, сівалку Ozduman precision, що має V - подібне гумове колесо, що закриває насіннєве ложе і притискає ґрунт, сівалку Kinze precision, що дозволяє розділяти ряди. і сіяти два різні типи насіння, сівалку Vaderstad Tempo здатну працювати при високій швидкості від 10 до 17 км/год, сівалку Irtem disc, сівалку Amazone ED precision [25], сівалку Sola Prosem K fixed series, сівалку Klen precision, сівалки MaterMacc0 і MS 8130, як показано на рис. 1.9 а-з. Основні порівняльні параметри робочих органів призначених на формування борозни і закладення насіння представлені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Порівняння компонентів захоплення ґрунту сівалкою та робочої швидкості для різних типів прецизійних сівалок

Марка сівалки	Кількість рядів	Тип різака ґрунту та залишків	Тип сошника борозни		Мінімальна потужність /л. с.	Робоча швидкість, км год ⁻¹	Ширина захоплення, м	Ефективність роботи, гм ² год ⁻¹
			Дводисковий	Полозовидний				
Kverneland Monopill series □	6-24	Подвійний плоский диск		+	>50	7.5	3...12	2.2...9
Kverneland Optima series	6-18	Подвійний зубчастий диск	+	+	>60	12	3...12	3.6...14.5
Horsch Maestro series	6-24	Подвійний плоский диск	+		>100	12	4.4...17.5	5.3...20.8
Ozduman precision seeders	4/6/8	Подвійний плоский диск	+	+	>60	6-8	2...5	1.2...3.3
Kinze precision seeders	6-24	Один рифлений диск/ Подвійний плоский диск	+		>100	8-12	5.4...14.7	4.3...17.6
Vaderstad Tempo series	4-24	Один зубчастий диск	+		>70	10-17	3.1...12.4	3.1...20.8
Irtem disc series	4/6/8	Один плоский диск	+		>80	5-7	2.98...7	1.5...4.4
Amazone ED precision seeders	6-18	Один плоский диск	+	+	>100	15	4.2...8.5	6.3...12.7
Sola Prosem K fixed series	4-18	Один турбодиск	+		>50	5-10	2.55...10	1.8...10
Klen precision seeders	4/6/8	Подвійний плоский диск	+		>50	1-7	2.6-5.7	0.3...3.8
MaterMacc MS 8100 and MS 8130 s seeders	4-12	Подвійний плоский диск	+		>50	6.9	2.5...7	1.7...4.2



Рис. 1.9. Марки сівалок для точного висіву: а – Kverneland Monopill; б – Horsch Maestro RC; в – Ozduman HVM; г – Kinze 3110; д – Vaderstad Tempo; е – Amazone ED; ж – Irtem disc; з – MaterMacc MS 8130

Місткості бункерів для добрив та насіння. Місткість бункерів добрива, будь то сухе, рідке або мікродобрива, відрізняються у різних марок сівалок.

Існує також різниця в ємності насіннєвого бункера як для бункера, що встановлюється на кожную секцію, так і для центрального бункера всього посівного комплексу (Табл. 1.5).

Потужність необхідна роботи сівалки. Визначення типорозміру трактора потрібної потужності, необхідного для прецизійної сівалки, є дуже важливим фактором, особливо в економічному плані. Вибір узгодженої потужності трактора залежить головним чином багатьох факторів, таких як: конструктивна вага сівалки, включаючи бункери для насіння та добрив, робоча ширина, тип висівного апарату та комплектація сівалки посадкових рядів варіюється від однієї прецизійної сівалки до іншої залежно від робочої ширини сівалки. Існуючі сівалки мають можливість одночасно висівати 4, 6, 8, 12, 18 і 24 ряди, при цьому існує різниця в їх конструктивній масі, яка впливає на споживана під час роботи потужність кінських сил на метр робочої ширини для різних моделей (рис. 1.10). Відповідні дані дозволяють оцінити та вибрати відповідний тип сівалки з точки зору кількості одночасно висіваються рядків, робочої ширини та потужності,

Для шестирядкових сівалок найнижча базова вага 400, 1000, 1170 до 1120 кг для Kverneland Monopill rigid, Ozduman HVM-T, MaterMacc MS 8130 і Klen 2.8C відповідно, а мінімальна споживана потужність на метр робітника

ширини були 12,5, 13,4 і 14,9 кВт у сівалок Klen 2.8C, у Kverneland Monopill rigid та Ozduman HVM-T відповідно. Для восьмирядкових сівалок найкращі значення як для базової ваги, так і мінімальної споживаної потужності становлять 1270, 1450, 1600 кг; 11,2, 12, 12,5 кВт/м для сівалок MaterMacc MS 8100, Klen 5,6 KP та Sola Prosem F600/8 відповідно. Для дванадцятирядкових сівалок Kverneland Monopill найменше значення конструктивної ваги та для мінімальної потужності на метр робочої ширини становлять 910 кг і 11,7 кВт/м, наступна за нею мінімальна потужність 12,5 кВт/м становить обох моделей Monopill Hydraulic, optima Hydraulic та MaterMacc MS 8100, але при цьому сівалки мають різну вагу – 1250, 2600 та 1690 кг відповідно. Для вісімнадцятирядної сівалки мінімальна необхідна потужність становила 9,9, 11, 2 та 12,8 кВт/м для Sola Prosem F900, Monopill rigid та Monopill hydraulic, але з різними конструктивними вагами-2710, 1750 та 2180 кг. Для 24 рядів Monopill rigid має меншу вагу (2800 кг) та мінімальну потужність на метр ширини (9,2 кВт/м), ніж інші моделі. Значення ваги базової версії та мінімальної потужності для сівалок точного висіву Kinze та Amazone, а також ваги для моделей Kverneland optima недоступні. Мінімальна споживана потужність сівалки та її ставлення до ваги є одним із найважливіших факторів вибору сівалки, особливо при виборі для невеликих фермерських господарств з урахуванням нерівності поверхні полів, схилів (особливо в горбистій місцевості), а також з економічної точки зору.

Висновки по розділу

Результати порівняльного аналізу сівалок:

1. Фермерам з метою економії часу, витрат і отримання високого врожаю необхідно проводити висів насіння в максимально короткий агротермін, що вимагає підвищених робочих швидкостей, що обмежуються виконанням агрозавдань за якістю посіву та зростаючою потужністю необхідної для роботи сівалки. Це досягається за рахунок використання високошвидкісних сівалок точного висіву з великою робочою шириною, таких як: Vanderstad Tempo L і Amazone ED 6000-2FC з робочими швидкостями 15 км/год і більше і робочою шириною 12,2 і 8,4 відповідно, а також сівалок Kverneland Optima TF maxi, Horsch Maestro SW та Kinze folding 4900 робоча швидкість яких становить 12 км/год при робочій ширині 12, 17,4 та 14,6 метрів, проте використання сівалок з великою шириною захвату не доцільно на полях з малими площами та складною геометрією, оскільки змінна продуктивність буде істотно нижчою за рахунок втрат часу на повороти та розвороти та переїзд з поля на поле. Тому для полів, що мають малу площу, доцільно застосовувати сівалки з меншою шириною захвату.

2. Використання електричних або гідравлічних двигунів для приводу висівних апаратів є ефективним засобом підтримки рівномірності розподілу насіння з високою точністю посадки по порівняно з механічним приводом, що виключає похибку за рахунок ковзання приводного колеса особливо на високих швидкостях руху.

Особливо ефективним є електричний привід здатний змінювати норму висіву в залежності від швидкості руху та карти завдання, заснованої на потенційній родючості окремих ділянок поля.

3. Забезпечення рівномірної глибини посіву забезпечується блоками керування глибиною з гідравлічним приводом, який є найбільш ефективним способом підтримки глибини посіву при різних польових умовах. Наприклад, сівалка серії Vanderstad Tempo може збільшувати і зменшувати тиск сошника за допомогою гідравлічної системи перерозподілу ваги.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВІБРАЦІЙНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ ТА АНАЛІЗ РОЗМІРІВ НАСІННЯ

Насіння кунжуту складно уявити у вигляді еліпсоїда. Таким чином, за допомогою програмного забезпечення Fusion 360 нами було отримано тривимірну частинку насіння кунжуту з розміром, аналогічним фактичному, а саме: товщиною (Т), шириною (W) і довжиною (L), як показано на рис. 2.1.

Отримана модель форми частинки кунжуту використовувалася в процесі моделювання для визначення кількості сфер, необхідних для побудови мультисферної моделі частинки кунжуту.

Для моделювання частинки кунжутного насіння, нам необхідно було визначити розмірні характеристики насіння кунжуту. Для вирішення цього завдання з насіння кунжуту випадковим чином було відібрано п'ятсот неушкоджених насінин. Їх розміри було визначено шляхом вимірювання цифровим штангенциркулем з точністю 0,01 мм. Так само з використанням ваг і обчислень було визначено: масу тисячі насінин, об'єм однієї частинки, насипна густина. Результати вимірювань наведено в таблиці 2.1. Аналіз результатів розмірних характеристик показав, що всі розміри відповідають нормальному закону розподілу (рис. 2).



Рис. 2.1. Насіння кунжуту. а) фотографія частинки насіння кунжуту, б) 3D-модель частинки насіння кунжуту аналогічного розміру

Довжину, ширину і товщину кунжуту, а також криві розподілу їхніх розмірів використовували надалі для створення мультисферних частинок кунжутного насіння. При подальшому моделюванні розміри і розподіл створеної моделі частинок насіння були аналогічними розмірам і розподілу реального насіння кунжуту.

Таблиця 2.1 – Розмірні характеристики та фізичні властивості насіння кунжуту

Фізичні властивості	Середнє значення	Стандартне відхилення
Довжина, мм	3,3476	0,204
Ширина, мм	1,9753	0,0,148
Товщина, мм	0,9456	0,098
Маса 1000 насінин, г	2,8	-
Об'єм однієї насінини, мм ³	2,6787	-
Щільність, кг/м ³	608	-

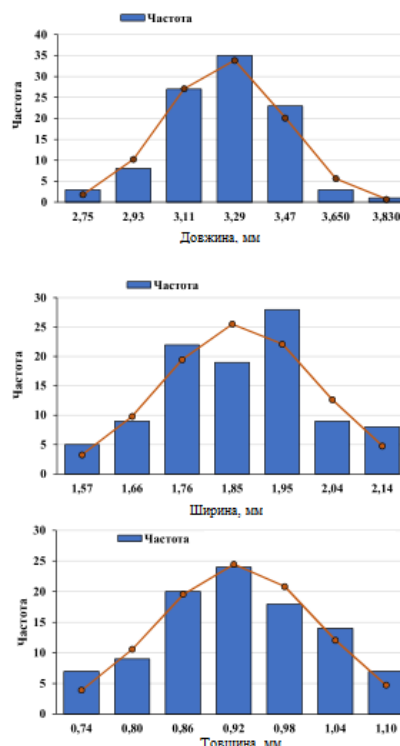


Рис. 2.2. Розподіл розмірів насіння кунжуту: довжина (L), ширина (W) і товщина (T).

Метою даного дослідження була оцінка та дослідження впливу зазору вихідного отвору насіння у вібраційному висівному апараті під час лабораторних випробуваннях на висіві насіння кунжуту. Для цього необхідно було провести

порівняння результатів моделювання впливу параметрів отвору на процес виходу насіння через отвір методом дискретних елементів (DEM) на основі програмного пакета EDEM (EDEM_3.0 analysis) з результатами експериментального моделювання для пошуку оптимального поєднання параметрів різних умов роботи.

Перед початком моделювання з метою визначення оптимального зазору для пошуку оптимальних параметрів виходу насіння кунжуту з вібраційного висівного апарату були проведені попередні випробування з використанням лабораторного стенду, що дали змогу виявити найбільш значущі параметри роботи. У результаті попередніх випробувань було встановлено, що на вихід насіння найбільше впливають: зазор (cl), час відкриття (t) та кут коливання (α), представлені на рис. 1. Імітаційне моделювання з використанням програмного комплексу EDEM і лабораторні експерименти вібраційного висівного апарату проводилися за різних значень часу відкриття та кута коливань. На підставі результатів початкового моделювання та лабораторних експериментів було визначено значення параметрів стійкої роботи такі як: час відкриття, кут коливань і час простою, які становили: 25 мс, 20° і 60 мс відповідно. Розглянемо ці параметри, що впливають на процес вібровисіву більш детально.

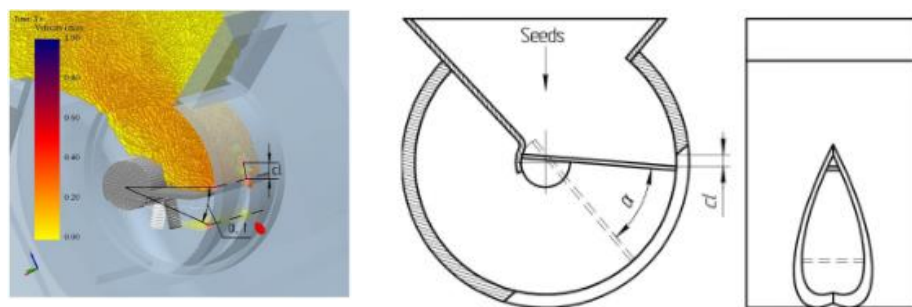


Рис. 2.3. Параметри висівного апарату: зазор між насінневою пластиною, що коливається насінневою пластиною і вихідним отвором; кут відкриття залежно від положення насінневої пластини, що коливається, та вихідного отвору насінини

Зазор між насінневою пластиною, що коливається, і вихідним отвором (cl). Кунжутне насіння має низьку міцність на зсув, легку вагою і невеликими

розмірами. Під час роботи вібраційного висівного апарату деякі насінини кунжуту були розрізані коливальною пластиною під час потрапляння в отвір і не встигаючи пройти через нього. При цьому витрата кунжуту з коливного дозатора насіння була нерівномірною, оскільки в початкових експериментах не враховувалося значення зазору. У результаті дослідження, для подолання цих проблем, було визначено діапазон значень зазору (від -10 до 30 мм) для подальшої його оцінки впливу на витрату насіння кунжуту з вібраційного висівного апарату. Необхідний зазор у мм являє собою вертикальну відстань між верхнім краєм вихідного отвору для насіння і верхнім краєм коливної насінневої пластини, що коливається, на її максимальній висоті вгорі перед початком руху донизу, показану на рис. 2.3.

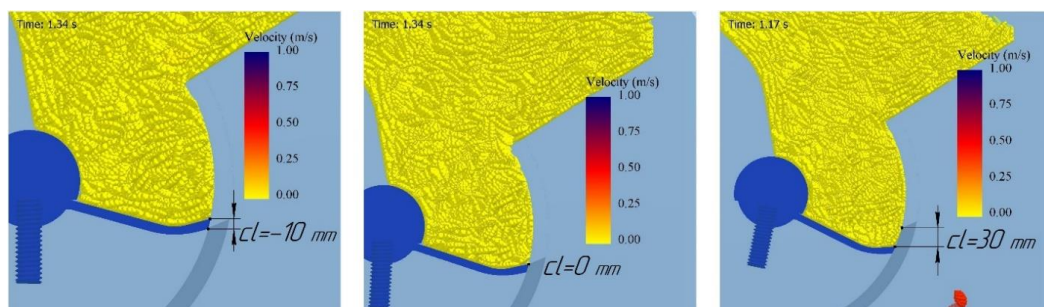
Час відкриття (t). Час відкриття - це час, за який насіннева пластина, що коливається, переміщується згори донизу в певне положення на основі значення кута коливання (α), таким чином, він пов'язаний із коливальним рухом насінневої пластини, що коливається (рис. 2.3). Час відкриття впливає на швидкість потоку кунжуту, оскільки він дає одним насінню достатньо часу, щоб встигнути переміститися і вийти з отвору, при цьому кількість насінин, що пройшли через отвір, має відповідати необхідній нормі висіву. Час відкриття контролюється регулюванням коливального руху насінневої пластини, що приводиться в рух за допомогою електродвигуна. У даному дослідженні час відкриття (25 мс) визначався за результатами попередніх лабораторних експериментів та імітаційного моделювання для вивчення впливу зазору на оптимізацію витрати кунжуту з вібраційного висівного апарату.

Кут коливань (α). Це кут, на який повертається коливна пластина, що коливається пластина під час руху її краю зверху вниз протягом заданого часу відкриття (t) (рис. 2.3), і він відповідає куту руху насінневої пластини, що коливається насінневої пластини, коли вона рухається зверху вниз за допомогою крокового двигуна і в протилежному напрямку за допомогою спіральної пружини. Величина кута коливання впливає на ті ж самі швидкості потоку з

коливного дозувального пристрою, що коливається, оскільки чим більше значення кута коливання, тим більша швидкість потоку насіння. У цьому дослідженні кут коливання (20°) було визначено на основі результатів як попереднього моделювання, так і лабораторних експериментів з оцінки оптимального зазору.

Час холостого ходу і простою. Час холостого ходу - це час, коли крутний момент від двигуна не передається на пластину та її переміщення здійснюється для повернення знизу вгору за рахунок спіральної пружини. Час простою - час, коли коливна насіннева пластина, що коливається, перебуває у верхньому положенні, перш ніж вона почне рухатися вниз перед кожним коливальним рухом. Коли насіннева пластина, що коливається, перебуває у верхньому положенні під час простою, вона повністю закриває вихідні отвори для насіння, за винятком зазору (рис. 2.3); таким чином, що насіння кунжуту не випадає з вихідних отворів насіння.

Під час моделювання методом дискретних елементів (DEM) було використано різні значення зазору (рис. 2.4) з метою визначення їхнього впливу на процес. На основі схеми та параметрів, представлених на рис. 2.4, комп'ютерне моделювання та регресійний аналіз були об'єднані для пошуку оптимальних параметрів вібраційного висівного апарату для досягнення оптимальних параметрів висіву залежно від зазору. Кожен дослід у лабораторних умовах за різних параметрів зазору повторювався по п'ять разів і моделювався з використанням програмного забезпечення EDEM.



а) Зазор -10 мм

б) Зазор 0 мм

в) Зазор 30 мм

Рис. 2.4. Схема зазорів (cl) вібраційного висівного апарату в процесі моделювання

Для покращення робочого процесу вібраційного висівного апарату необхідно було розробити імітаційну модель дозатора насіння. Геометрична модель вібраційного висівного апарату була створена в САПР та імпортована в EDEM. Модель коливального дозувального пристрою спростили до чотирьох частин, включно з бункером для насіння, дозувальною пластиною для насіння, корпусом дозувального пристрою та корпусом висівної камери з двома вихідними отворами для насіння. У програмному комплексі EDEM, з використанням сфер, були створені окремі віртуальні частинки кунжуту. Потім була проведена генерація певного обсягу частинок, що дає змогу імітувати заповнення насіннєвого бункера вібраційного висівного апарату. Моделювання процесу роботи вібраційного висівного апарату насіння проводили з використанням моделі контакту Герца-Міндліна, яку найчастіше використовують для моделювання такого роду взаємодії та переміщення частинок із використанням EDEM. Модель насіння кунжуту складалася з 28 сфер, що перекриваються, розмірами від 0,5 до 0,9 мм у діаметрі. Середні геометричні розміри насінини при цьому мали довжину 3,1 мм і ширину 2 мм. Були задані координати центрів сфер, і ці дані потім були імпортовані в модуль частинок EDEM. Проведено аналіз імітаційного моделювання впливу зазору на процес функціонування вібраційного висівного апарату (рис. 2.4). За різних значень зазорів було проведено 9 експериментів із п'ятьма повторностями дослідів.

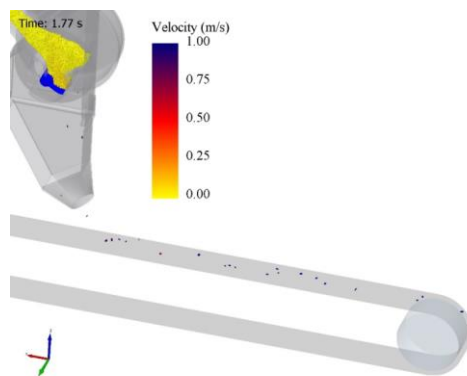


Рис. 2.5. Моделювання процесу дозування насіння вібраційним висівним апаратом

За результатами моделювання було побудовано залежності виходу насіння кунжуту з отворів вібраційного висівного апарату під час експериментальних досліджень і проведених розрахунків методом дискретного елементного моделювання. Найбільш підходящими апроксимувальними кривими для опису отриманих даних є експоненціальні, оскільки мають найбільшу величину достовірності апроксимації.

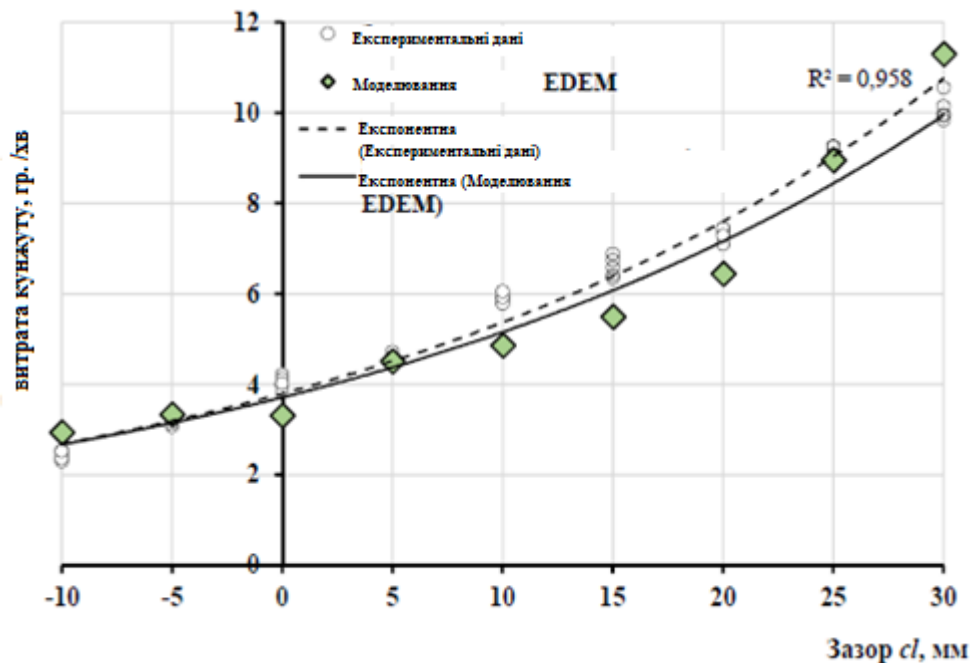


Рис. 2.6. Результати експериментів та імітаційного моделювання

Грунтуючись на отриманих експериментальних даних, були розраховані значення параметра y_{pi} оптимізації при варіюванні параметра зазору cl . Ці значення внесено до допоміжної таблиці 2.1.

Адекватність отриманої моделі була перевірена за F – критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma_{вос}^2} \quad (2.1)$$

Для обчислення дисперсії адекватності було знайдено суму квадратів відхилень розрахункових значень параметра оптимізації від експериментальних значень у всіх точках плану. Адекватність математичної моделі визначається, порівнюючи дисперсію відтворюваності з дисперсією адекватності.

Таблиця 2.2 – Додаткова таблиця до розрахунку адекватності моделі

Номер досвіду	Середнє значення параметра оптимізації (за експериментальним гр/хв	Значення параметра оптимізації, розраховане за моделлю, $y_{розр}$	Дисперсія $\sigma_i^2 = (y_i - y_{pi}),$ м/с	Відносна похибка моделі $\delta = \frac{ y_{pi} - y_i }{y_i} \cdot 100, \%$
1 -	2,424	2,44	0,016	0,66
2	3,19	3,18	0,01	0,31
3 -	4,0380	4,04	0,0020	0,05
4 -	4,5880	4,6	0,0120	0,26
5	5,904	5,88	0,024	0,41
6 -	6,596	6,6	0,004	0,06
7 -	7,32	7,34	0,02	0,27
8 -	9,116	9,12	0,004	0,04
9	10,088	10,06	0,028	0,28
$\sum_{i=1}^N \sigma_i^2$				0,004
$\sigma_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y}_{расч})^2$				0,00144

Дисперсію адекватності розраховуємо за формулою:

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y}_{расч})^2, \quad (2.2)$$

де l - число розглянутих коефіцієнтів.

$$F_p = \frac{0,00144}{0,0202} = 0,07 \quad (2.3)$$

Для заданої довірчої ймовірності α за значеннями $f_1 = N-1 = 8$ та $f_2 = N(m-1) = 36$, було визначено табличне значення критерію Фішера F_T ($0,07 < 2,22$) отже, отримана дискретно-елементна модель із прийнятим рівнем статистичної значущості адекватна експериментальним даним.

Висновки по розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено імітаційну модель вібраційного висівного апарату та проведений аналіз розмірів насіння.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ

Конструкція вібраційного висівного апарату включає бункер насіння, коливальну насіннєву пластину, кроковий двигун, корпус висівної камери з вихідними отворами для насіння, корпус дозуючого пристрою, кожух подачі насіння, пружину та сім'япроводи (рис. 3.1). У процесі дозування насіння під дією сили тяжіння переміщається з бункера насіння в корпус дозатора насіння. Далі під дією коливального руху насіннєвої пластини, що приводиться в рух кроковим двигуном, насіння проходить крізь отвори і потрапляє в насіннєпровід.

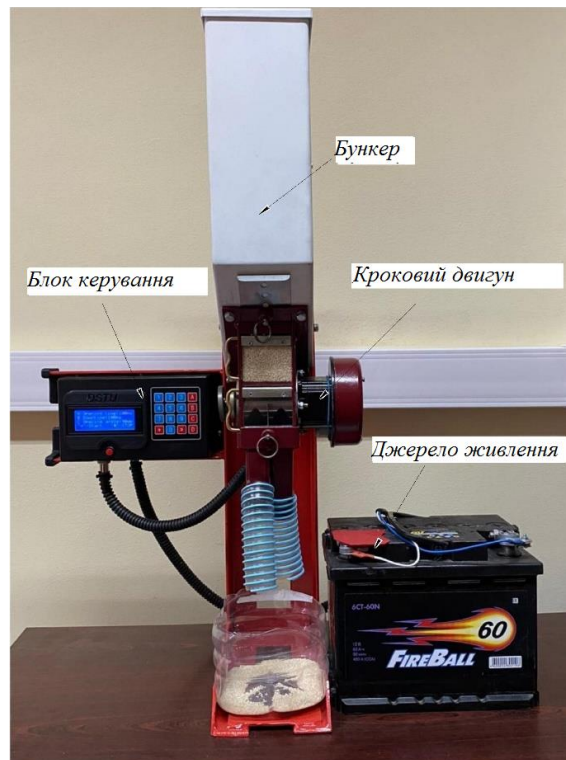


Рис. 3.1. Фотографія лабораторного стенду з вібраційним висівним апаратом

На підставі аналізу апріорної інформації виявлено 18 факторів, що впливають на якість процесу та норма висіву насіння кунжуту такі як:

- кут повороту планки вібраційного висівного апарату - максимально заданий кут на який повертається планка висівного апарату, збільшення даного параметра підвищує ймовірність проходження насіння через отвір;

- час повороту планки вібраційного висівного апарату – це час, за який планка повертається на максимально заданий кут, при збільшенні даного параметра збільшується ймовірність виходу насіння через отвір;

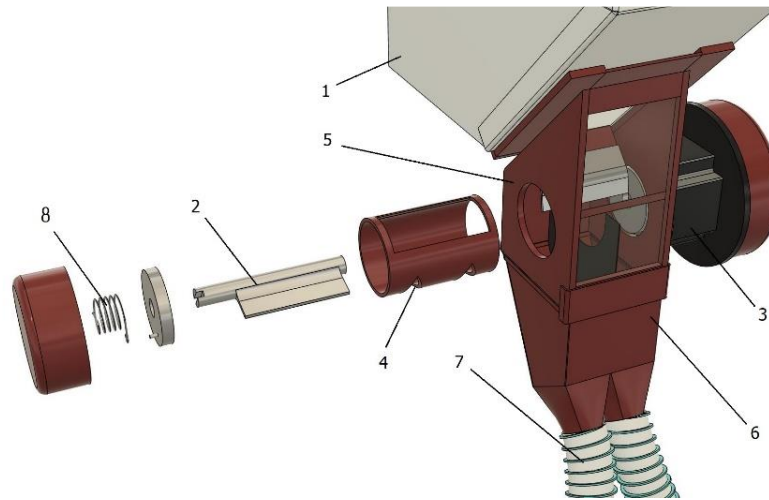


Рис. 3.2. Пристрій вібраційного висівного апарату - час повернення планки у початкове положення (час холостого ходу) 1 – бункер насіння; 2 – коливальна насіннева пластина; 3 – кроковий двигун; 4 – корпус висівної камери з отворами для виходу насіння; 5 - корпус дозуючого пристрою; 6 – кожух подачі насіння; 7 – сім'япроводи; 8 – спіральна пружина

- цей час, за який планка повертається з максимально відкритого положення у вихідне, збільшення даного параметра підвищує ймовірність проходження насіння через отвір,

- час між коливаннями (час простою), збільшення даного параметра зменшує кількість насіння, що висівається апаратом за одиницю часу,

- розташування вихідного положення планки (у верхній мертвій точці) щодо вихідного отвору насіння – даний параметр визначають параметри початку руху зерна, чим нижча планка тим ймовірність проходження насіння через отвір вище, - форма планки, форма та розміри корпусу – конструктивні параметри які впливають на шлях і час переміщення насіння, зміна даних параметрів можуть сповільнювати, так і прискорювати вихід насіння через отвір;

- форма, розміри та розташування отвору, зміна даних параметрів можуть як уповільнювати, так і прискорювати вихід насіння через отвір;

- матеріал планки і корпусу апарату, що висіває, даний параметр може як уповільнювати так і прискорювати вихід насіння через отвір;
- коефіцієнт внутрішнього тертя насіння, що менше коефіцієнт внутрішнього тертя, тим вище ймовірність проходження насіння через отвір;
- коефіцієнти тертя насіння про матеріал планки і корпусу, чим вище коефіцієнти тертя тим нижче ймовірність виходження насіння через отвір;
- коефіцієнт тертя кочення і форма насіння, впливають на процес переміщення насіння як усередині висівного апарату, так і на їх вихід, чим більша кулястість насіння і чим менше їх коефіцієнт кочення, тим ймовірність виходу насіння через отвори вище;
- розмірні характеристики насіння їх питома вага, чим більше насіння і чим більше воно важить, тим ймовірність проходження через отвір вище;
- насипна щільність, вологість, що вище вологість тим ймовірність проходження насіння через отвір нижче.

Параметри функціонування висівного апарату, такі як: кут і час повороту планки, час повернення планки в початкове положення (час холостого ходу), вібраційного висівного апарату, час між коливаннями (час простою), розташування вихідного положення планки (у верхній мертвій точці) щодо вихідного отвори насіння – мають можливість регулювання за допомогою системи керування параметрами роботи висівного апарату. Конструктивні параметри, такі як форма планки, форма і розміри корпусу, форма планки, форма і розміри корпусу, матеріал планки і корпусу висівного апарату - можуть бути змінені в процесі виготовлення конструкції висівного апарату. Параметри насіння, такі як: коефіцієнт внутрішнього тертя насіння, коефіцієнти тертя насіння про матеріал планки і корпусу, коефіцієнт тертя кочення та форма насіння, розмірні характеристики насіння їх питома вага, насипна щільність, вологість – незважаючи на те, що мають ймовірнісні характеристики можуть бути віднесені до некерованих факторів. Найбільш значимі фактори описані.

Система управління роботою вібраційним висівним апаратом розроблена для оптимізації та контролю витрати кунжуту та покращення рівномірності розподілу насіння за допомогою вібраційної системи дозування насіння. Основними компонентами системи керування коливальним дозатором насіння, як показано на рис. 3.4, були кроковий двигун і модуль драйвера, клавіатура введення з рідкокристалічним екраном, програматор пристрою, мікроконтролер і джерело живлення.

Система управління процесом дозування насіння працює в такий спосіб. Вхідні дані (зазор, час відкриття та кут коливання) вводяться шляхом введення їх з клавіатури і одночасно з'являються на рідкокристалічний екран. Мікроконтролер (ATmega 162AU) використовувався для прийому вхідних даних після обробки через програматор пристрою (AVRISP mkII) для подання відповідних імпульсів на модуль драйвер двигуна. На виході мікроконтролера з'являються імпульси, які відповідають цим входам. Для приведення в рух висівної пластини, що коливається, використовувався кроковий двигун (23H2A0618) з крутним моментом 3 Нм та максимальним струмом 4,0А. Модуль драйвера дозволяє змінювати напрямок обертання та швидкість крокового двигуна.

Живлення здійснюється від батареї (12В/60А·год), тому напруга на кроковому двигуні становить 12В.

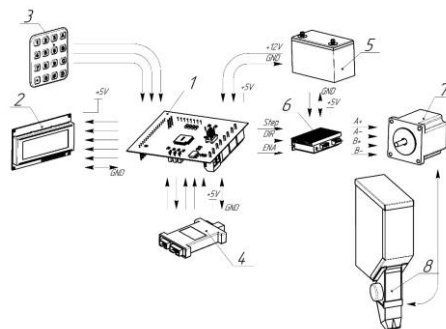


Рис. 3.4. Схема системи управління вібраційним висівним апаратом: 1 – Мікроконтролер, 2 – РК-екран; 3 – Клавіатура введення, 4 – Програматор пристрою, 5 – Джерело живлення; 6 – Кроковий драйвер; 7 – Кроковий двигун; 8 – Вібраційний висівний апарат.

Розглянута система управління роботою вібраційним висівним апаратом служить для регулювання параметрів його функціонування, зазор між насінневою пластиною, що коливається, і вихідним отвором (cl), час відкриття (t), час холостого ходу, кут коливань (α), впливають на швидкість потоку кунжуту, що коливається до . Регулювання параметрів здійснюється за рахунок клавіатури введення на блоці керування вібраційним апаратом, що висіває.

Блок управління (рис. 3.5) використовується для регулювання виходу насіння кунжуту шляхом введення і зміни параметрів дозатора, що коливається. На підставі плану експерименту за схемою Бокса-Бенкіна, де першим параметром є час відкриття (t), а його значення 020, 025 і 30 мсек вводяться натисканням кнопки А на клавіатурі введення пристрою управління.

Потім значення часу затримки між коливаннями може бути додано натисканням кнопки «В» на клавіатурі введення і визначено як 060 мс на основі початкових експериментів і експериментів з моделювання, що є мінімальним часом, необхідним для того, щоб висівна пластина, що коливається, повернулася у своє вихідне положення, щоб повністю закрити отвір для виходу насіння, а потім залишатися в нерухомому положенні, щоб насіння кунжуту могли повернутися на пластину, що коливається, перш ніж знову почати свій рух вниз. Потім значення другого параметра - кута коливання (α) вводяться за допомогою кнопки С на клавіатурі введення, і їх значення знаходяться в діапазоні від 18 до 22 градусів. Третій параметр – це зазор (cl), який змінює вручну свої значення від 8 до 13 мм, як показано на рисунку 3.6. Нарешті, після введення робочих параметрів натискається кнопка *, щоб запустити дозуючий пристрій, що коливається, і ми можемо зупинити коливальний рух пристрою, натиснувши кнопку #.



Рис. 3.5. Блок керування для регулювання робочих параметрів осцилюючого дозатора насіння

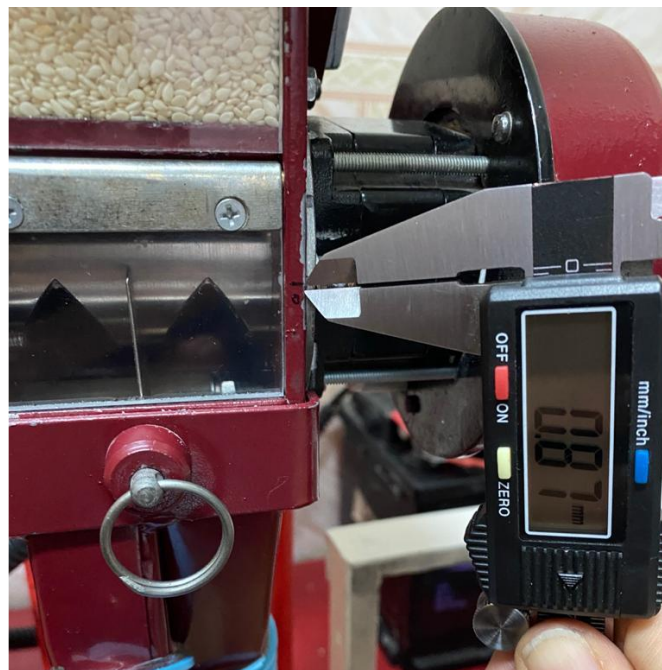


Рис. 3.6. Регулювання значень зазору для дозатора насіння.

Висновки по розділу.

В даному розділі проведено проектування та конструювання вібраційного висівного апарату для висіву кунжута. Система управління роботою вібраційним висівним апаратом розроблена для оптимізації та контролю витрати кунжуту та покращення рівномірності розподілу насіння за допомогою вібраційної системи дозування насіння.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті аналізу різних технологій вирощування кунжуту в даний час, можна зробити висновок, що в країнах-виробниках кунжуту масово відсутні сівалки для посіву насіння кунжуту і переважає ручна руда, тому необхідно провести дослідження з розробки або оптимізації параметрів сівалки підвищення її можливостей використання для посіву насіння кунжуту, особливо в країнах, що розвиваються, для підвищення врожайності та якості виробленого кунжуту.

Аналіз висівних апаратів показав, що вібраційний висівний апарат має значні переваги в порівнянні з традиційною механічною та пневматичною технологією дозування насіння, оскільки він спрощує технічне обслуговування за рахунок виключення таких елементів як приводні ланцюги, вали та зірочки, присутні в механічній системі дозування насіння. На роботу вібраційного висівного апарату так само не впливає прослизання приводного колеса, особливо при високих швидкостях роботи, що призводить до нерівномірності розподілу насіння, не вимагає установки вакуумної системи як на пневматичних сівалках. Відсутня проблема забивання насіння при посіві дрібного насіння, таких як насіння кунжуту.

Для можливості моделювання роботи вібраційного висівного апарату було створено його цифрову твердотільну модель. Отримані дані про параметри переміщення дозатора такі як час відкриття, холостого ходу і простою, дозволили провести імітаційне моделювання. При зміні зазору від мінус 10 мм до плюс 30 мм норма висіву змінювалася від 2,4 г/хв до 10 г/хв, при фіксованих кутах відкриття $\alpha=20^\circ$ і часу відкриття 25 мс. Отримані залежності дозволяють визначити необхідну витрату насіння під час роботи вібраційного висівного апарату при зміні зазору та співвіднести його з агрономогами до норми висіву.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Катеринич С.Є. Дослідження характеру руху насіння у корпусі ребрчатого висівного апарата. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2004. Вип. 33. С. 358-363.
2. Сисолін П. В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи конструкція, проектування: Підручник для студентів вищих навчальних закладів із спеціальності «Машини та обладнання с.г. виробництва» (За ред. М.Г. Черновола). – Кн.1. К.: Урожай, 2001.-384с.
3. Катеринич С.Є., Аулін В.В. Визначення технології та конструктивних особливостей ребристих висівних апаратів. *Вісник Харківського держ. техн. університету сільск. господарства*. /Вип. 24. /Техн. сервіс АПК, техніка та техн. у сільськогосподарському машинобудуванні/. - Харків, - 2004.- С.68-73.
4. Катеринич С.Є., Солових Є.К., Аулін В.В. Фізична картина руху потоку насіння на виході із корпусу ребристого висівного апарата. *Зб. наук. праць КДТУ*. Вип.14. 2004. С.52-61.
5. Катеринич С.Є., Солових Є.К., Аулін В.В., Свірень М.О. Вплив форми поверхні висівного диску ребристого апарата на якість висівання насіння. *Материалы III-Международной научно-практической конференции «Современные проблемы земледельческой механики» Посвященная памяти акад. П.М.Василенко*. 17 - 18 октября 2002года. -Николаев, -2002. - С. 168-172.
6. Росамаха Ю. О. Організація механізованих операцій сівби в технологіях точного землеробства. Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: II Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 16–18 жовтня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 152–153.
7. Росамаха Ю. О. Математична модель двофазної сошникової системи для сівби просапних культур. Інноваційний розвиток аграрної сфери: II

Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 19–21 березня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 39–41.

8. Росамаха Ю. О. Сошникова система для сівби сільськогосподарських культур. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVI Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 17–19 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 72–73.

9. Гячев, Л. В. Про механічні моделі сипучого тіла / Л. В. Гячев // Механіка сипучих матеріалів: тези доповідей Всесоюзної конференції. - Одеса, 1975. - С. 3-4.

10. Бойко А. І., Свірень М. О. Модель функціонування пневматичної висівної системи для технологій точного землеробства. Київ. Науковий вісник НАУ. 2006. Вип. 18. С. 80-18.

11. Аніскевич Л. В. Управління системами високоточного дозування технологічних матеріалів. Техніка та енергетика. Науковий вісник НУБіП. 2014. С. 264-277.

12. Сисолін П.В., Свірень М.О., Солових Є.К., Катеринич С.Є. Розробка конструкції лабораторної установки для дослідження ребристих висівних апаратів // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства.«Підвищення надійності відновлюємих деталей машин». - Харків., 2001р.- Вип.8: Том 1. - С. 111-114.

13. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування. - К.: Урожай,- 2001. - 382с.

14. Мармоза А.Т. Практикум по математической статистике. - К.: Вища школа, 1990. - 336с.

15. Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Аналіз процесу роботи автоматизованої системи керування двофазної сошнікової системи. Інноваційний розвиток аграрної сфери: IV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 29 березня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 99–101.

16. Білецький В.Р., Герасимчук А.А. Розробка імітаційної моделі вібраційного висівного апарату. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 26-30.

17. Білецький В.Р., Герасимчук А.А., Янченко О. О., Ошуревич О. А. Вимірювання та аналіз розмірів насіння (на прикладі кунжуту. *Збірник матеріалів IX Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.