

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

Войтік А.В.

“ ” _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
РОБОЧОГО ОРГАНУ ПРИ РОЗКИДАННІ ДОБРИВ.»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім

Спеціальність 208

«Агроінженерія»

Гольопа Ю.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Головатюк А.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Віталій ЛЮБИЧ

(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2023 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінженерії
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Войтік А.В..
« ____ » _____ **2023 р.**

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту Гальопі Юрію Ігоровичу

Тема роботи: Дослідження та вдосконалення параметрів робочого органу при розкиданні добрив.

Керівник роботи: к. с-г. н. Головатюк Анатолій Анатолійович
затверджено наказом Уманського НУС від «14 листопада 2023 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи – «25» листопада 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити Вступ. 1. Огляд літератури.
2. Умови, схема та методика проведення дослідження. 3. Результати
дослідження. Висновки. Список використаних джерел.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна ефективність	Головатюк А.А.		
Охорона праці	Прокопенко Е. В.		

6. Дата видачі завдання – «___» _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Завершення наукових досліджень	30.08.23 р.	
2.	Вступ	04.09.23 р.	
3.	Огляд літератури	18.09.23 р.	
4.	Умови, схема і методика проведення дослідження	02.10.23 р.	
5.	Результати дослідження	16.10.23 р.	
5.1.	Технологічна частина	23.10.23 р.	
6.	Висновки	30.10.23 р.	
7.	Охорона праці	06.11.23 р.	
8.	Економічна ефективність	13.11.23 р.	
9.	Список використаних джерел	20.11.23 р.	
10.	Додатки (матеріали для презентації)	20.11.23 р.	
11.	Подання студентом роботи	25.11.23 р.	

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Добрива - речовини, що застосовуються для поліпшення живлення рослин, властивостей ґрунту, підвищення врожаїв. Ефект добрив досягається віддачею хімічних компонентів рослинам, які необхідні для їх зростання і розвитку.

Спільне застосування органічних і мінеральних добрив може здійснюватися в різних формах. Все залежить від особливості культур і ґрунтів, що удобрюються

Найбільш простим у технічному виконанні і досить ефективним способом внесення органічних та мінеральних добрив є поверхневий, із застосуванням кузовних розкидачів. Раціонально використовувати органо-мінеральні добрива неможливо без забезпечення сільськогосподарських підприємств машинами, що забезпечують підготовку, транспортування, навантаження, та внесення. Перспективою розвитку досліджень у цьому напрямі є підвищення рівномірності розподілу добрив по полю з одночасним збереженням продуктивності.

У зв'язку з цим, актуальність дослідження полягає у вдосконаленні процесу розподілу гранульованих органо-мінеральних добрив роторними робочими органами на горизонтальній осі обертання.

У цій роботі викладаються результати досліджень з розробки конструкції, визначення параметрів та режимів роботи низькорамного розкидача добрив.

Основним способом підвищення рівномірності розподілу зручностей є створення і перевірка робочих органів з різними конструктивно - режимними параметрами. Пошук технічних засобів, що дозволяють коригувати потік добрив, що викидаються і можливості дотримуватися необхідної рівномірності при роботі кузовних розкидачів на пересіченій місцевості, є другим важливим компонентом ефективної роботи агрегату.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес поверхневого внесення органо-мінеральних добрив робочим органом роторного типу.

Предмет дослідження. Закономірності зміни якісних показників роботи роторного робочого органу розкидача.

СтРобота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (32 найменування). Викладена на 86 сторінці машинописного тексту та включає 5 таблиць та 62 рисунки.

Зміст

Вступ	6
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1. Агротехнічні вимоги, що пред'являються до органо-мінеральних добрив.....	10
1.2. Технологічні особливості внесення органічних і мінеральних добрив.....	13
1.3. Аналіз конструкцій машин і робочих органів для поверхневого внесення гранульованих добрив.....	15
1.4. Огляд досліджень по внесенню гранульованих добрив.....	20
1.5. Завдання дослідження. Висновки по розділу.....	24
Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ НИЗЬКОРАМНОГО РОЗКИДАННЯ.....	26
2.1. Динаміка руху часток добрива.....	26
2.2. Обґрунтування форм лопатки ротора.....	28
2.3. Аналітичне дослідження руху добрив по дефлектору.....	29
2.4. Стабілізація просторового положення кузовного низькорамного розкидання добрив.....	31
2.5. Облаштування експериментального низькорамного розкидання органо-мінеральних добрив.....	34
2.6. Методика планування багатофакторного експерименту.....	39
2.7 Методика дослідження процесів розподілу органо-мінеральних добрив робочим органом.....	42
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	45
3.1. Аналіз основних фізико-механічних властивостей добрив.....	45
3.2. Обґрунтування основних конструктивних параметрів лопатки....	47
3.3. Результати польових випробувань розкидання.....	51
3.4. Вплив конструктивних параметрів дефлектора на траєкторію польоту часток добрива.....	55
3.5. Експериментальна перевірка стабілізації розкидання на схилах. Висновки по розділу.....	67
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	75
4.1. Аналіз травмонебезпечних факторів у процесі розкидання мінеральних добрив.....	75
4.2. Розроблення моделей травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час розкидання мінеральних добрив	75
4.3 Техніка безпеки при застосуванні різних видів мінеральних добрив. Висновки по розділу.....	77
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АГРЕГАТУ НА ВНЕСЕННІ ГОТОВИХ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ.....	80
Висновки.....	82
Література.....	83

Вступ

Добрива - речовини, вживані для поліпшення живлення рослин, властивостей ґрунту, підвищення урожаїв. Ефект добрив досягається за рахунок недостаючих хімічних компонентів рослинам, які необхідні для їх зростання і розвитку. У усіх сільськогосподарських підприємствах України і світу, попит мають добрива органічні, що збагачують ґрунт азотом і що негативно позначаються на зростанні бур'янів [15], і мінеральні, такі, що містять в собі один елемент або групу елементів [19].

У зв'язку з різким скороченням поголів'я тварин (великої рогатої худоби - в 2–3 рази, свиней - в 2–4, овець і кіз - в 3–4 рази) вихід гною скоротився, а необхідно вносити не менше 15 т/га [29]. Академік Д.Н. Прянішніков встановив, що підвищити врожайність сільськогосподарських культур на 40–60% можна за рахунок внесення органічних добрив. Дослідження нестачі органічних добрив показали, що можна зменшити дози внесення добрив за рахунок суміші органічних і мінеральних добрив.

Тому пропонується вносити збалансовані органічно-мінеральні добрива, що мають у своєму складі органічну речовину і мінеральні з'єднання, які пов'язані хімічно. [7]. В результаті можна зменшити дози внесення органічних добрив, і добитися високої агрохімічної ефективності і підвищити засвоєність мінералів.

Спільне застосування органічних і мінеральних добрив може здійснюватися в найрізноманітніших формах. Все залежить від особливості удобрюваних культур і ґрунтів. Дослідження достовірних установ і практика передових господарств доводить, що застосування готових гранульованих органічно-мінеральних добрив дає позитивний ефект.

Агротехнічна наука знає багато різних способів внесення органічних і мінеральних добрив. На початку 2000-х поступово вводяться в експлуатацію комбіновані агрегати, що дозволяють поєднувати відразу декілька операцій, приміром, висів насіння і внесення добрив. На сьогодні такі машини досить

ефективні [9,25], але мають складну конструкцію, і вимагають попередньої підготовки поля.

Найбільш простим в технічному виконанні і досить ефективним способом внесення органічних і мінеральних добрив є поверхневий, із застосуванням кузовних розкидачів [30]. Раціонально використати орано-мінеральні добрива неможливо без забезпечення сільськогосподарських підприємств машинами, що забезпечують підготовку, транспортування, навантаження, і внесення.

Перспективою розвитку досліджень в даному напрямі є підвищення рівномірності розподілення добрив по полю.

У багатьох країнах світу, у тому числі і в Україні, використовують розкидача гранульованих добрив з робочими органами у вигляді дисків, змонтованих на вертикальній осі. Проте у таких робочих органів є істотний недолік: при збільшенні кількості добрив, що подаються, частина матеріалу не встигає досягти поверхні лопаток і сходить прямо з диска, не розігнавшись до необхідної швидкості. Для усунення цієї проблеми рекомендується використання роторних робочих органів на горизонтальній осі обертання.

У зв'язку з цим, актуальність дослідження полягає у вдосконаленні процесу розподілу гранульованих органічно-мінеральних добрив роторними робочими органами на горизонтальній осі обертання.

У цій роботі викладаються результати досліджень по розробці конструкції, визначенню параметрів і режимів роботи низькорамного розкидача органічно-мінеральних добрив.

Основним способом підвищення рівномірності розподілу добрив є створення і перевірка робочих органів з різними конструктивно-режимними параметрами. Пошук технічних засобів, що дозволяють коригувати потік добрив, що викидаються, і можливості мати необхідну рівномірність при роботі кузовних розкидачів на пересіченій місцевості, є другим важливим компонентом ефективної роботи агрегату.

Мета дослідження. Підвищення рівномірності розподілу гранульованих органічно-мінеральних добрив за рахунок вдосконалення конструктивно-

режимних параметрів пневмомеханічного робочого органу роторного типу з горизонтальною віссю обертання, на базі низькорамного кузовного розкидача.

Завдання дослідження :

1. Встановити вплив основних конструктивних параметрів лопаток ротора на якість внесення добрив;
2. Розробити математичну модель процесу внесення гранульованих органо-мінеральних добрив робочими органами роторного типу на горизонтальній осі обертання, що дозволяє обґрунтувати основні конструктивно-режимні параметри пропонованого пристрою;
3. Встановити вплив параметрів дефлектора на характеристику потоку добрив, що викидаються;
4. Провести польові дослідження, перевірити розробки у виробничих умовах і встановити агроекономічну ефективність експериментального низькорамного розкидача з розробленим робочим органом роторного типу.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес поверхневого внесення органічно-мінеральних добрив робочим органом роторного типу.

Предмет дослідження. Закономірності зміни якісних показників роботи роторного робочого органу.

Методологія і методи дослідження. Основний метод дослідження - аналіз і синтез технологічного процесу внесення органічно-мінеральних добрив пневмомеханічним робочим органом з горизонтальною віссю обертання і визначення агротехнологічних властивостей розкидача з урахуванням багатофакторних польових дослідів в землеробстві. У роботі застосовувалася експертна оцінка чинників і методика планування багатофакторного експерименту. Відповідно до поставлених завдань розроблені загальна і приватні методики дослідження.

Наукова новизна. Обґрунтований технологічний процес внесення органічно-мінеральних добрив роторним пневмомеханічним органом з горизонтальною віссю обертання. Встановлені аналітичні залежності для визначення параметрів і форми вивантажних лопаток і дефлектора. Виявлені

основні закономірності смуги розсівання залежно від конструктивних параметрів і режимів роботи машини. Розглянуті питання особливостей експлуатації низькорамного розкидача в умовах пересіченої місцевості.

Теоретична і практична значущість роботи полягає в реалізації пропонованого технічного рішення низькорамного кузовного розкидача органічно-мінеральних добрив з робочим органом роторного типу, що забезпечує якісні показники роботи в відповідності з агротехнічними вимогами. Реалізація теоретичних і експериментальних досліджень можуть бути використані при проектуванні і експлуатації розкидачів добрив.

Ступінь достовірності і апробація результатів досліджень. Підтверджується результатами теоретичних і експериментальних досліджень, отриманих з використанням вимірювальної апаратури при достатній кількості повторностей, обробкою достовірних даних з використанням методів математичної статистики і дослідів.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Агротехнічні вимоги, що пред'являються до органо-мінеральних добрив.

Нині один з найпоширеніших органічний компонентів в органо-мінеральних добривах - це гній [29], але у зв'язку з різким скороченням тваринницьких ферм [10] вихід гною значно скоротився. Істотним мінусом використання гною в суміші з мінеральними компонентами є погані фізико-механічні властивості гною. Приготування такої суміші можливе тільки компостуванням, а при цій операції змішування компонентів відбувається нерівномірно.

Проте добре перероблений, висушений, сипкий гній підходить для органо-мінеральної суміші, але операція обробки і висушування тягне дуже великі фінансові витрати [5, 12]. Доцільніше використовувати дешевші і доступніші органічні добрива в якості компонента для суміші органо-мінеральних добрив.

Крім того, торф має хорошу сипучість [22], тому у більшості випадків прийнято використати в органічно-мінеральних добривах саме його. Ще на зорі розробки і внесення добрив, були дані пропозиції по застосуванню суміші з торфу, суперфосфату, фосфорного борошна, винищити і інших компонентів [6, 12]. На початку 2000-х учені встановили позитивний вплив органо-мінеральних добрив на основі торфу і мінеральних компонентів в дозі 50 кг/Га [19].

Склад органо-мінерального добрива на основі торфу регулюється безпосередньо для кожної культур і залежить від типу живлення рослин. Виходячи з робіт, органічно-мінеральні добрива складаються з 3-5 т торфу, 3-5 ц вапняних матеріалів, 05-1 ц суперфосфату або 2-3 ц фосфорного борошна значно підвищують врожай зернових культур.

Важливою особливістю використання торф'яного компосту є те, що для його приготування підійдуть усі види торфу: верховий, перехідний, і низовинний [10]. Його можна змішувати з різними видами мінеральних добрив, вапном [13]. Торф, згідно [26], повинен відповідати наступним вимогам: міра

розкладання - не менше 20, зольність - до 25, вміст води - не більше 60, розмірів часток торфу - не більше 60 мм.

Так само, у зв'язку з відмінністю фракційного складу змішуваних добрив, для підвищення рівномірності розподілу необхідно добитися найбільш близького розміру гранул мінеральних добрив і часток торфу [20].

Комплексне добриво на основі торфу є сумішшю торф'яних добрив з часткою не більше 25 мм, які перемішують, надалі додаючи в них вапняне борошно і мінеральні добавки [26].

Приготування і змішування органічно-мінеральних добрив здійснюється по різних методиках. Виходячи з достовірних даних, на ручне вантаження 1т органічних добрив в автомобіль витрачається від 0,12 до 0,15 людино-днів при годинному виробленні 0,8 т. При приготуванні суміші дві людини можуть зробити перевантаження лише 6-7 т органічних добрив з одного штабелю в інший, а при додаванні мінеральних добрив, годинне вироблення при цьому не перевищило 0,4 т/людину [31].

Отже, необхідно повністю механізувати процес змішування і вантаження добрив. Існує ряд тукозмішувачів, таких як СЗУ- 2, УТМ- 30. Але такі установки підійдуть тільки для мінеральних або для сухих сипких органічних добрив, оскільки при роботі з органічними добривами підвищеної вологості вікно бункера забиватиметься, що порушить виконання передбачених агрономів.

Спеціальна установка подрібнювач-розтарювач АІР- 20, який поєднує в собі функції змішування з одночасним видаленням мішків і перемелюванням великих частин добрив, що злежалися, продуктивністю 20 т/год, підійде для подрібнення сипких органічних добрив (торфу, гною) з одночасним змішуванням їх з мінеральними [14].

Також існує спосіб змішування добрив за допомогою бульдозерів, який має на увазі під собою укладення добрив шарами з подальшим їх перемішуванням бульдозерною лопатою. Але такий спосіб не дає якісного перемішування добрив і, відповідно, мало ефективний [29].

Відомий так само спосіб [3], у якому розглядається метод отримання торфо-мінерального добрива шляхом змішування торфу з водорозчинними мінеральними добривами, наприклад калійними солями, у розмірі 20-60 т маси торфу. Проте недоліком цього методу є низька фізіологічна активність органічної частини добрива. Тому цей спосіб був вдосконалений [7]. Торф піддавали окислювально-гідролітичній деструкції озонованим повітрям, і потім робили перемішування з мінеральними компонентами.

Озонування проводилось у кількості 200-550 г/м сухої маси гуматолужних металів, виділених з торфу. Цей спосіб має на увазі під собою істотне здорожчання процесу і економічно не вигідний.

Крім того, додавання в торф таких речовин, як фосфорне борошно, вапно, зола допомагають зменшити його кислотність, а у випадку з фосфорною борошном кислотність торфу допомагає ще і перетворити фосфор на легкозасвоюваний стан внаслідок розчинення його кислотою [18].

Проте незважаючи на усі переваги використання таких способів компостування (простота приготування, зменшення кислотності торфу, перехід деяких речовин в легкозасвоювану рослинами форму), існує один серйозний недолік - неможливість добитися рівномірного розподілу мінеральних компонентів по усій масі торфу. Погано змішані органічно-мінеральні добрива втрачають свою біологічну активність, а отже, і переваги перед використанням органічних і мінеральних добрив окремо.

Добитися рівномірного змішування органічних і мінеральних компонентів можна тільки у виробничих умовах хімічного заводу або фабрики. Так, сьогодні існує ряд заводів по виробництву гранульованих органічно-мінеральних добрив. Основою усіх цих добрив, на яку закріплюються поживні елементи, так само являється торф, зміст якого складає 40-60 т загальної маси.

Технологічний процес виробництва дозволяє комбінувати мінеральні елементи і гумінові з'єднання, внаслідок чого закріплюється і стає менш рухливим азот і калій, а фосфор переходить в легко засвоювану форму. Це дозволяє істотно понизити дозу внесення в порівнянні з мінеральними

добривами, оскільки коефіцієнт використання поживних елементів досягає 90-95%.

Для кожної культури розроблений відповідний по складу вид органо-мінерального добрива, набір хімічних елементів якого дозволяє забезпечити найбільш ефективне зростання і розвиток рослини.

При випробуваннях в Італії на внесенні під зернові культури, ОМД "Універсал" отриманий результат, що відрізняється від результату при застосуванні звичайних мінеральних добрив : період дозрівання скоротився на 7 -12 днів.

Ще однією перевагою цього виду добрив є те, що разом з мінеральною формою вноситься органічна, яка закріплює родючість ґрунту і сприяє поступовій віддачі мінеральної складової, перешкоджаючи тим самим забрудненню довкілля [12].

У зв'язку з тим, що в порівнянні з компостами, ОМД є сипкими добривами і мають розмір гранул 1-6 мм [12], і при їх внесенні поверхнево вдасться істотно понизити навантаження на робочі органи розкидача, витрату палива і витрати на ТО і ремонт.

1.2. Технологічні особливості внесення органічних і мінеральних добрив.

Рівномірний розподіл добрив по поверхні поля це основний критерій дозволяє отримати якісний врожай. Нерівномірність вище 25 приводить до нерівномірного урожаю по усій ділянці, на яку здійснюється внесення. Через різницю у кількості розкинутих на ділянках добрив, рослини розвиваються по різному. Тому рівномірне внесення - запорука хорошого і якісного урожаю. Нерівномірне внесення, наприклад, мінеральних добрив, спричиняє за собою екологічні проблеми [14].

Так, надлишки добрив вимиваються підземними водами, розкладаються в ґрунті, утворюючи леткі продукти, і поступають в атмосферу, що спричиняє за собою негативні впливи на здоров'я людини [18]. Надлишок азотного і фосфорного добрива більшою мірою впливає на забруднення ґрунту. У ґрунті

накопичується велика кількість P_2O_5 , який, потрапляючи у водойми через стічні води, забруднюють їх, стимулюють надмірне цвітіння водних рослин і робить водойму непридатною для живлення [5].

Надлишок добрив на деяких ділянках викликає вилягання рослин, особливо це стосується колосових. Зростає маса надземної частини рослини, що призводить до великого навантаження на нижню частину стебла і його перегину. Це спричиняє за собою складність при прибиранні зернових культур комбайном [21].

Систематичний нерівномірний розподіл органічних добрив призводить до негативних наслідків в ґрунті більшої кількості засвоюваного азоту [23].

Основною властивістю добрив, що впливає на аеродинамічні якості часток, дальність їх вильоту і траєкторію польоту, є коефіцієнт парусності.

Гранулометричний склад - властивість сипких добрив, що забезпечує рівномірний вступ добрив до робочих органів, особливо відцентрових розкидачів [16]. У зв'язку з відмінністю фізико-механічних властивостей компонентів сипких гранульованих добрив відбувається сильне їх розшарування, що негативно позначається при транспортуванні, навантаженні і внесенні [30]. Гранульовані мінеральні і органічно-мінеральні добрива вимагають коректного зберігання, транспортування, змішування і внесення [8].

На додаток при внесенні добрив центробіжними робочими органами деякі гранули руйнуються в наслідку удару. Дроблення, підвищує масу порошкоподібної фракції, змінюючи фізико-механічні і технологічні властивості добрив. Дослідження показали, що при внесенні мінеральних добрив до 11% гранул руйнуються [17, 26], сприяючи тим самим втраті біологічних властивостей і підвищення нерівномірності розподілу їх по полю.

Найважливіша властивість добрив впливає на динаміку їх викиду і розділення часток по фракціях, - коефіцієнт тертя [15]. У роботі [18] встановлений вплив сили тертя на сепарацію часток, обумовлене різницею швидкостей руху і секторів метання часток з різним коефіцієнтом тертя.

Ще один показник, що впливає на динаміку руху частки добрив по робочому органу, - вологість і вологоємкість. З вологістю взаємозв'язані усі інші критерії і фізико-механічні властивості гранульованих добрив [18]. Відхилення від цих показників веде до псування добрив і зміні їх фізико-механічних властивостей.

Вологість і вологоємкість добрив безпосередньо залежать від їх гігроскопічності, при високій мірі якої добрива схильні до злежування, погіршується міцність, щільність гранул і розкидання їх по полю. В результаті нерівномірність внесення виходить за рамки допустимих меж [14, 19].

Фізико-механічні властивості гранульованих добрив знаходяться у безпосередній залежності один від одного: при підвищенні вологості збільшується маса часток, відповідно змінюється коефіцієнт тертя. При роботі роторних відцентрових робочих органів потрібне досягається найменшим відсотком роздроблених часток.

У роботі [23] виявлений вплив кута нахилу робочої поверхні лопастей робочих органів на дроблення і сектор метання часток сипких мінеральних добрив. Встановлено, що негативний кут нахилу робочої поверхні лопаті, що викидає, зменшує силу удару часток добрива об неї. Відповідно, для того, щоб добитися рівномірного гранулометричного складу добрив, необхідно знижувати силу удару часток, змінюючи форму і параметри робочих органів.

1.3. Аналіз конструкцій машин і робочих органів для поверхневого внесення гранульованих добрив.

На сьогодні відомі багато різних способів і засобів для внесення мінеральних і органо-мінеральних добрив в твердому і рідкому виді [17].

Незважаючи на те що рідкі добрива мають меншу вартість в порівнянні з твердими добривами і легше засвоюються рослинами, для їх внесення потрібні спеціальні інструменти і технічні засоби (рисунки 1.1), які не можуть бути задіяні в інших операціях. Крім того, рідкі добрива складні у зберіганні і викликають опіки при попаданні на листя.

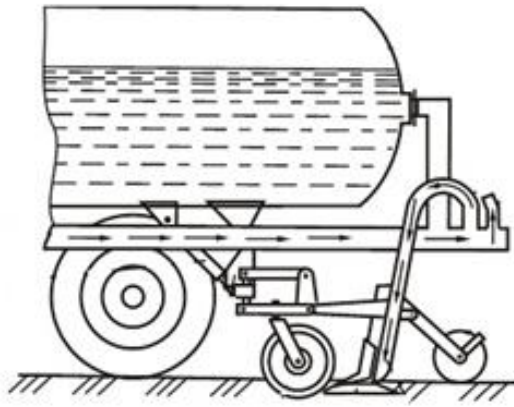


Рис 1.1 - Приклад пристрою для внесення рідких добрив.

Внесення ж твердих добрив підрозділяється на поверхнєве (розкидне) і локальне. На рисунку 1.2 зображений приклад робочого органу для локального внесення гранульованих добрив [15].

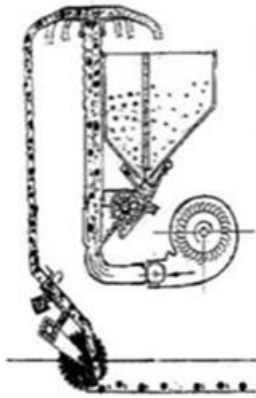


Рис. 1.2 - Робочий орган для локального внесення добрив.

Проте локальне внесення має декілька істотних недоліків:

- значне ускладнення конструкції робочих органів;
- неможливість використання машин для локального внесення на інших сільськогосподарських операціях;
- за рахунок використання комбінованих агрегатів переважання однієї операції на шкоду іншій;
- підвищені вимоги до попередньої підготовки поля.

У зв'язку з цим найбільш доступним способом внесення є по-поверхневий, із застосуванням кузовних розкидачів. Переваги кузовних розкидачів полягають в простоті конструкції кузова і робочих органів і

невисокої вартості. Крім того, ці розкидача можна застосовувати в інших сільськогосподарських і не лише операціях.

При поверхневому внесенні значний об'єм твердих добрив, залежно від відстані транспортування від складу до поля, вноситься по прямоточній [17, 25], перевантажувальною [19, 26] і перевалочною [10] технологіями, із застосуванням кузовних розкидачів. Технологічна схема роботи у усіх кузовних розкидачів ідентична: завантажуванні навантажувачами різного типу [5], добрива просуваються транспортером до робочого органу, після чого відбувається їх викид. Кузов розкидача змонтований на причепі з однією або двома осями.

При знятті робочих органів в деяких випадках вони можуть бути використані як звичайний тракторний причіп [17].

Для подання добрив до робочих органів на розкидачах як мінеральних, так і органічних добрив використовують транспортери різних типів : ланцюгово-планочні, шнекові, вібраційні, стрічкові [19] (Рис 1.3).

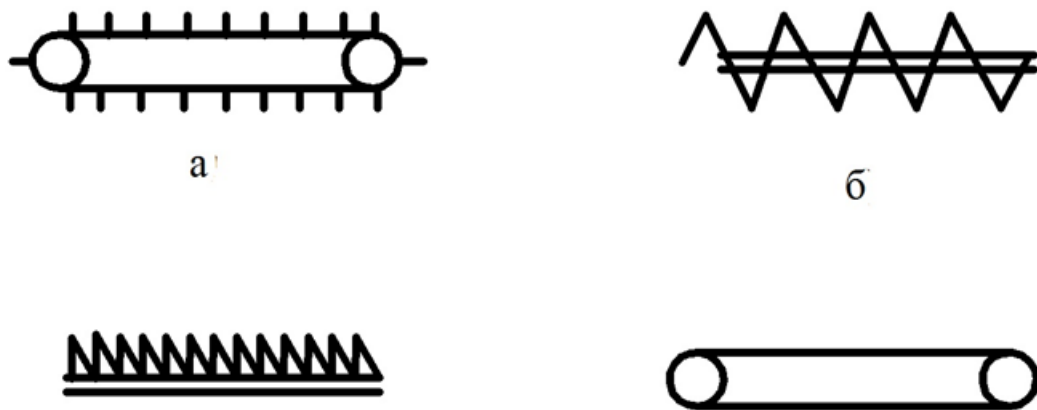


Рис 1.3 - Схеми різних транспортерів розкидачів :

а - ланцюгово-планочні; б - шнекові; у - вібраційні; г - стрічкові.

Вібраційні транспортери конструктивно прості і легкі в ремонті і обслуговуванні, але мало підходять для сухих сипких органічно-мінеральних добрив.

Шнекові транспортери найефективніше працюють з сухими сипкими добривами. Але при використанні торф'яно-мінеральної суміші, торф може

мати високу міру вологості, що зведе нанівець усю ефективність такого транспортера.

Ланцюгово-планочні найбільш складні в конструкції, ремонті і експлуатації. Через велику кількість деталей їх дуже складно очищати. Хоча підходять для усіх типів добрив.

На відміну від твердих органічних добрив, для подання яких до робочого органу використовуються ланцюгово-планочні і шнекові транспортери [19], при внесенні гранульованих добрив з дрібною фракцією найчастіше використовують стрічкові транспортери [3, 20].

У багатьох країнах світу, у тому числі і в Україні, використовують розкидачі мінеральних добрив з робочими органами у вигляді дисків [20] (Рис. 1.4) змонтованих на вертикальній осі обертання, які здійснюють обертання і викид добрив під дією відцентрових сил.

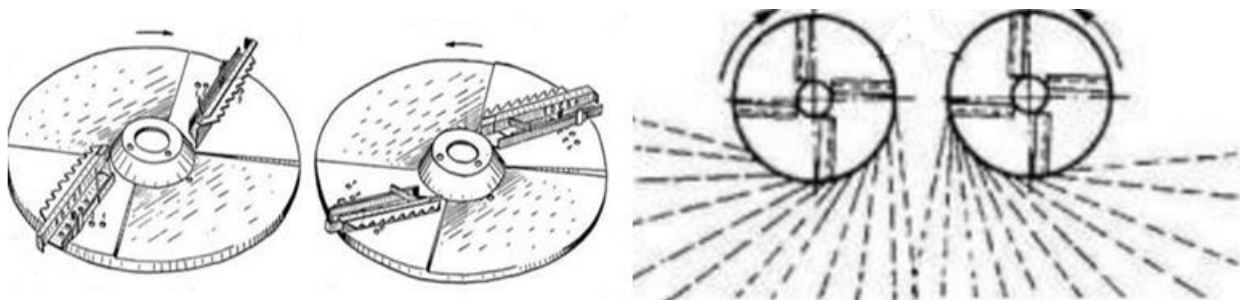


Рис. 1.4 - Робочі органи для внесення мінеральних добрив.

Так, в Україні використовують машини РУМ- (1.5, 3.0), 1 РМГ- 4, МВУ- 5, СТТ- 10, в Німеччині - Amazone ZA, ZG - В [14, 22]. Дальність вильоту добрив при викиді робочими органами такого типу досягає 15-20 м.

Проте у горизонтальних робочих органів є істотний недолік: при збільшенні кількості добрив, що подаються, частина матеріалу не встигає досягти поверхні лопаток і сходить прямо з диска, не розігнавши до необхідної швидкості. В результаті відбувається зсипання добрив у безпосередній близькості від диска, тим самим збільшується нерівномірність розподілу. Як відомо, надлишок добрив на певній ділянці спричиняє за собою цілий ряд проблем як для урожаю, так і для його споживачів [13].

Удосконалення цієї лопатки найчастіше призводить до значного ускладнення конструкції і необхідності використання великої кількості приводних механізмів.

Наступний тип робочих органів для поверхневого внесення твердих добрив - роторні, розташовані на горизонтальній осі обертання [13, 24], вони використовуються як для внесення органічних, так і мінеральних добрив. Вони в основній своїй масі представляють встановлені за допомогою маточини диск з лопатками. Кількість лопаток зазвичай варіюється від 4 до 6 [14], залежно від виду матеріалу і навантаження на привід робочого органу.

Так в 1983 році був розроблений шестилопатевий робочий орган з нахилом лопатей вперед на 20° , що дозволило збільшити дальність вильоту часток добрива.

Відомий робочий орган розкидача мінеральних добрив, що складається з двох металників роторного типу з лопатями, розташованими під (Рис. 1.5) [18].

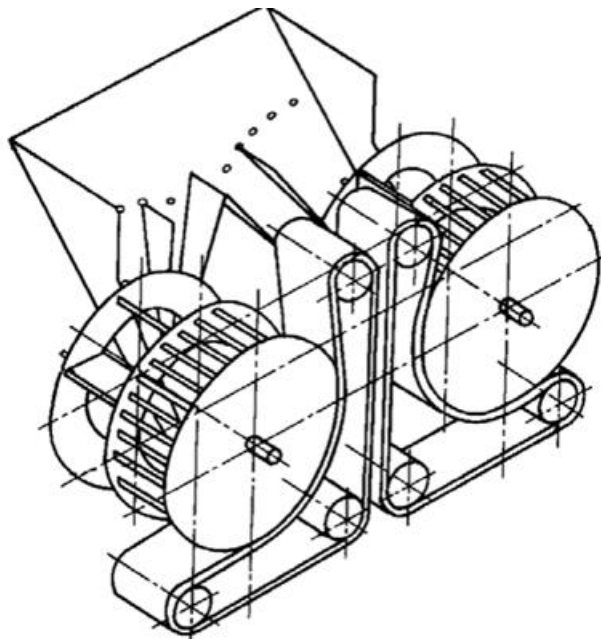


Рис 1.5 - Робочий орган розкидача мінеральних добрив

Використання ремінної передачі для приводу робочих органів в розкидачах добрив недоцільно із-за низького терміну служби ременя і неможливості передачі підвищеного навантаження. Для забезпечення викиду добрив в простір безпосередньо під робочим органом, необхідно зменшувати кут викиду, що зменшує ширину захоплення. А при викиді добрив під кутами

до горизонту, частки викидаються хаотично, тим самим утворюючи вузький віяловий потік, в якому важко забезпечити задану рівномірність.

1.4. Огляд досліджень по внесенню гранульованих добрив.

Питанням вивчення процесу внесення добрив, робочими органами розташованими на горизонтальній і вертикальній осях, займалися багато учених [9, 13, 14, 17, 27].

В.В. Рядних стверджує, що відцентровий робочий орган може призначатись на внесенні усіх видів сипких матеріалів і добрив [14].

В першу чергу необхідно відмітити дослідження, що стосуються руху добрив безпосередньо по поверхні робочого органу. Так, П. М. Василенко займався вивченням динаміки руху часток добрива по поверхні диска, і сил тих, що діють на них. Він стверджує, що траєкторія руху часток добрива по поверхні робочого органу представляється логарифмічною і архімедівською спіраллю [17].

У свою чергу в роботі [19] автор розвиває теорію відцентрового робочого органу, висунену П. М. Василенко, і отримує диференціальне рівняння руху часток добрива відносно лопатки робочого органу в загальному вигляді. Проведений аналіз дозволив встановити, що кут викиду добрив збільшується зі збільшенням коефіцієнта тертя і парусності частки. Проте кутова швидкість при цьому зменшується.

Виходячи з роботи [15], коефіцієнт тертя часток добрива, зменшує відносну і абсолютну швидкість руху їх по поверхні робочого органу. У зв'язку з цим автор говорить що, необхідно зменшити коефіцієнт тертя, шляхом використання лопатей з перемінним вигином робочої поверхні.

Проте, усі гранульовані добрива різні по своєму гранулометричному складу і мають різні одна від однієї фізико-механічні властивості. Цей факт дозволяє припустити, що лопатки зі змінним вигином робочої поверхні, ефективно працюватимуть не для усіх видів гранульованих добрив.

М. С. Хоменко вказав найбільш обґрунтоване положення місця подання гранульованих добрив на відцентровий робочий орган і встановив залежність дальності викиду частки добрива від його частоти обертання і діаметру. За спостереженнями, найбільш доцільний діаметр робочого органу - 400 мм, а частота обертання - 650 об/хв. А роботі [16] наведено, що розмір перерізу завантажувального вікна повинен відповідати розміру робочої поверхні лопаті для рівномірного розподілу добрив на ній при підхопленні.

Як би то не було, у відцентровому робочому органі, у міру наближення до центру обертання, відцентрова сила зменшується. Тому викидання часток з різних місць робочої поверхні відбуватиметься по різному і приведе до порушення правильної траєкторії польоту добрива.

Проте занадто висока частота обертання може сприяти розбиванню гранул добрива. У роботі [19] професор В. А. Чорноволів вважає, що чим більше подання, тим вище швидкість руху частки добрива при контакті з робочою поверхнею відцентрового органу, внаслідок чого виникає удар і її руйнування. Процес розбивання гранул так само залежить від фізико-механічних властивостей добрив, місця їх подання, частоти обертання і діаметру робочого органу.

У роботі [11], встановлено, що руйнування гранул починається при частоті обертання більше 800 об/хв. Між тим така частота обертання зможе забезпечити необхідну продуктивність і дальність вильоту не усіх видів добрив. Ця обставина приведе до збільшення витрат праці, грошових коштів і зниженню ефективності розкидача.

Виходячи з даних С. М. Закутського, збільшення частоти обертання відцентрового робочого органу на 100 об/хв, підвищує відсоток дроблення гранул. Методом створення перешкоди дробленню часток, за словами автора, являється пошук такої конструкції лопаток робочого органу, яка дозволить понизити силу удару. Природно, як і форма робочого органу, скоротити відсоток роздроблених часток, допоможе зменшення радіусу подання добрив на робочий орган [24].

Але зменшений радіус подання понизить продуктивність розкидача, а як наслідок зростуть затрати і витрати грошових коштів.

Встигнути в оптимальні агротехнічні терміни, як відомо, - одне з основних завдань сільськогосподарського виробництва. Зменшення ж продуктивності може цьому перешкодити.

В. И. Якубаускас відмітив основні закономірності теорії розподілу гранульованих добрив відцентровими робочими органами. Найбільш значимими чинниками є дальність польоту часток, принципи розподілу добрив по поверхні поля і витрати на привід робочих органів. Що стосується траєкторії викинутих добрив, було встановлено, що висота відображення гранул від поверхні робочого органу зростає зі збільшенням швидкості подання.

У роботі [18] встановлено, що максимальну дальність можна отримати при кутах вильоту від 30° до 50° . Тоді як результати дослідження [23] говорять про ефективність забезпечення кута вильоту - 35° .

У науково-дослідній роботі [23] вказано, що необхідний кут нахилу лопаті у бік обертання диска – $10\text{--}15^\circ$. Проте, використання лопаток з позитивним кутом нахилу у бік обертання, в робочому органі на горизонтальній осі обертання, підвищить відцентрову силу на їх кінцях. У наслідок, чого підвищиться сила удару робочого органу об добрива і зросте пилоподібна фракція. Істотним чинником при механізованому внесенні сипких добрив є рівномірність розподілу. М. П. Сергєєв і А. Х. Хабіров виявили і обґрунтували принципи, що впливають на рівномірність розподілу добрив при сході з лопатки, різних по гранулометричному складу, добрив. Проте в цій роботі не обґрунтований діаметр самого робочого органу і не досліджений вплив вказаної частоти обертання $1000\text{...}1100$ об/хв на утворення ще більшої кількості мілкої і пилоподібної фракції.

Професор А. Н. Репетов розробивши дослідний зразок розкидача добрив з роторним робочим органом на горизонтальній осі обертання, випробував його у виробничих умовах. Проте при заправці його добривами, у зв'язку з великою висотою бортів кузова, були присутніми деякі складнощі що значно

ускладнювали експлуатацію. Крім того, діаметр робочого органу, рівномірність розподілу добрив, форма і розміри кузова не мали достатнього обґрунтування.

Пізніше кандидат технічних наук О. М. Лепшеев удосконалив розроблений професором А. Н. Репетовим розкидача. Була повністю обґрунтована форма і розміри кузова розкидача, а для зручного завантаження добривами з самоскида його зробили низькорамним. Було встановлено, що найраціональніше використати робочий орган з діаметром 920 мм і частотою обертання 900 об/хв. нерівномірність внесення добрив розкидача з цими параметрами склала 16%.

Між тим не було повністю обґрунтовано вплив форми лопаток дроблення і динаміку руху часток добрива. Не були розглянуті і досліджені технічні засоби, що дозволяють добитися ущільнення потоку добрив, що викидаються.

Відмітною особливістю робочого органу низькорамного розкидача, розробленого А. Н. Репетовим і О. М. Лепшеевим, є те, що він пневмомеханічний, тобто в кожусі робочого органу створюється повітряний тиск, який допомагає виштовхувати добрива. Дослідженнями було встановлено значення повітряного тиску, що створюється ротором в кожусі, воно склало 156 мм водяного стовпа, тоді як звичайні відцентрові органи дозволяють добитися не більше 80 мм водяного стовпа.

Автори вияснили, що при установці кожуха на робочий орган, завдяки створюваному повітряному натиску, дальність викиду добрив зростає на 3 метри. Проте при частоті обертання 1048 об/хв, гранульовані добрива все одно приймають пилоподібний стан.

Таким чином, створення повітряного тиску усередині кожуха робочого органу дозволяє отримати приріст до дальності вильоту добрив – 20% і ніяк не вплине на дроблення гранул.

Проте у вище перелічених роботах не досліджена можливість роботи агрегатів на внесенні добрив в умовах пересіченого рельєфу місцевості. Увага до питання роботи агрегатів для внесення добрив на схилах останнім часом росте, оскільки при такій роботі значно погіршується рівномірність внесення. У

роботах [29,30] встановлено, що при внесенні добрив на схилах основною проблемою є порушення напрямку подання добрив до робочого органу.

Тобто, із-за нахилу в одну або іншу сторону добрива не потрапляють в повному об'ємі на робочу поверхню органу і викидаються нерівномірно. Виправити цю проблему намагалися зміною місця подання добрив шляхом монтажу додаткових конструктивних елементів і живильників [19].

Вирішити це завдання намагалися установкою облаштування для регулювання положення робочих органів по відношенню до поверхні поля, але це спричинило один істотний недолік - зростання витрат праці і часу на постійне регулювання робочих органів при щонайменшій зміні кута нахилу і направлення руху.

1.5. Завдання дослідження.

На підставі аналізу метою дослідження є підвищення рівномірності розподілу гранульованих органічно-мінеральних добрив за рахунок вдосконалення конструктивно-режимних параметрів пневмомеханічного робочого органу роторного типу з горизонтальною віссю обертання, на базі низькорамного кузовного розкидача.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити завдання:

1. Встановити вплив основних конструктивних параметрів лопаток ротора на якість внесення добрив;
2. Розробити математичну модель процесу внесення гранульованих органічно-мінеральних добрив робочими органами роторного типу на горизонтальній осі обертання, що дозволяє обґрунтувати основні конструктивно-режимні параметри пропонованого пристрою;
3. Встановити вплив параметрів дефлектора на характеристику потоку добрив, що викидаються;
4. Провести польові дослідження, перевірити розробки у виробничих умовах і встановити агроекономічну ефективність експериментального низькорамного розкидача з розробленим робочим органом роторного типу.

Висновки по розділу

1. Розглянуті агротехнічні вимоги, що пред'являються до органічних і мінеральних добрив. Проведений огляд можливих сумішей органічних і мінеральних добрив. Встановлено, що гранульовані органічно-мінеральні добрива - не менш ефективний вид добрива. Виявлені основні властивості добрив, рух, що впливають на динаміку, і рівномірність їх розподілу.

2. Аналіз існуючих конструкцій і робіт по дослідженню поверхневого внесення гранульованих добрив, дозволив підтвердити доцільність використання пневмомеханічного робочого органу на горизонтальній осі обертання.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ НИЗЬКОРАМНОГО РОЗКИДАННЯ

2.1. Динаміка руху часток добрива.

У теорії розсівання добрив роторами з горизонтальною віссю руху має значення дальність польоту часток, закономірність розподілу добрив і витрати потужності на привід [25, 27].

Лопатки ротора можуть бути розташовані відносно центру обертання радіально, встановлені назад або вперед. Так само кут нахилу ϕ може робити вплив на динаміку руху вантажу, що викидається [5, 13].

Розглянемо усі три варіанти за умови рівномірного подання добрив масою m на лопатку і частоті обертання ω .

У варіанті радіального розташування лопатки, кут нахилу її до осі ротора $\phi=0$ (Рисунок 2.1).

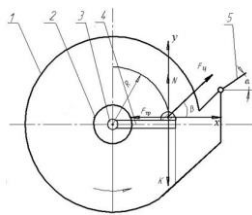


Рисунок 2.1 - Схема сил, що діють на частку добрива ($\phi=0$) 1 - кожух; 2 - диск ротора; 3 - вал; 4 - лопатка; 5 - дефлектор.

Схема дії сил на частку добрив при розташуванні лопаток під кутом < 0 показана на рисунку 2.2

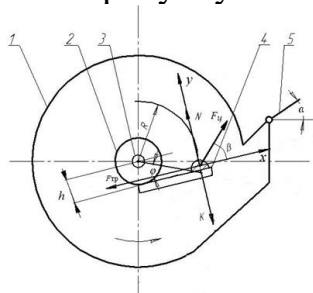


Рисунок 2.2 - Схема сил, що діють на частку добрива (< 0) 1, - кожух; 2 - диск ротора; 3 - вал; 4 - лопатка; 5 - дефлектор.

На рисунку 2.3 представлений третій варіант - розташування лопаток під кутом > 0 .

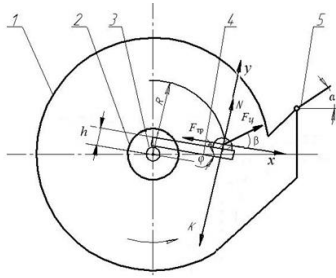


Рисунок 2.3 - Схема сил, що діють на частку добрива (> 0) 1, - кожух; 2 - диск ротора; 3 - вал; 4 - лопатка; 5 - дефлектор.

При цьому: N - сила нормальної реакції; F_c - відцентрова сила інерції; F_t - сила тертя; K - сила Коріоліса; R - радіус ротора (довжина лопатки)

Проаналізувавши схеми розташування лопаток ротора відносно центру обертання, прийшли до висновку, що понизити силу тертя добрив по лопатці можна в третьому варіанті - розташування лопаток над центром обертання при ($\varphi > 0$). При такому розташуванні відстань h зменшує силу тертя, а відцентрова сила допомагає сходу часток з лопатки.

Розташування ж лопаток ротора, показане на рисунку 2.2, навпаки, збільшує силу тертя вантажу об поверхню лопатки, додаючи до неї расстояние h . В той же час відцентрова сила прагне направити добрива не у бік вивантажного вікна, а до центру обертання ротора.

Дальність польоту часток, тісно пов'язана із швидкістю руху і парусністю добрив [13], яка представлена на рисунку 2.4, визначається чисельним рішенням системи рівнянь.

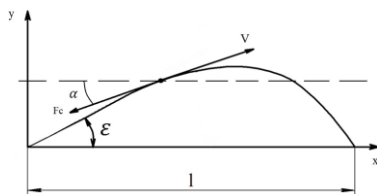


Рисунок 2.4 - Дальність польоту частки добрива $= -2 \frac{K}{V^2} = -2 \frac{K}{V^2}$. (2.9) де V - швидкість вильоту частки; K - коефіцієнт парусності; ε - кут вильоту добрив; F_c - сила опору повітря (mKV^2).

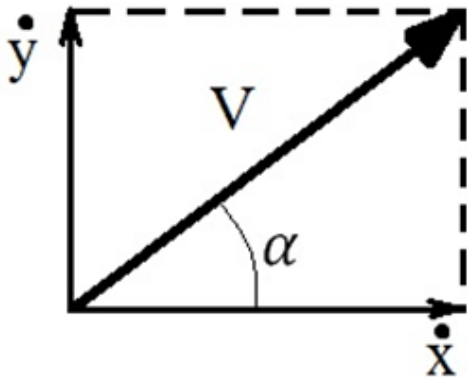


Рисунок 2.5 - Проекція швидкості вильоту частки добрива

Проектуючи швидкість вильоту частки на вісь x і y (Рисунок 2.5) бачим, що у результаті необхідно відмітити, що на швидкість вильоту, і дальність польоту часток, викинутих роторним робочим органом, впливає його радіус, кут вильоту часток і час руху добрив по поверхні лопатки, включаючи коефіцієнт тертя і коефіцієнт парусності.

2.2 Обґрунтування форм лопатки ротора

На добрива при висипанні із стрічкового транспортера на лопатки ротора, що обертається, діє сила тяжіння mg , інерції ma і сила тертя $F_{тр}$ вантажу об стінки кожуха, т.е

По розрахункових значеннях P_b для кожного шару будуємо епюри цих сил, що діють у бічному напрямі в точках зіткнення із стінками барабана. З малюнка 4 видно, що P_b росте зі збільшенням висоти порції вантажу на лопатці.

Зменшити дію бічної сили можна шляхом зменшення значення H . Для цього доцільно використати лопатки ротора з бортами (Рисунок 2.7а) або жолобоподібні (Рисунок 2.7б)

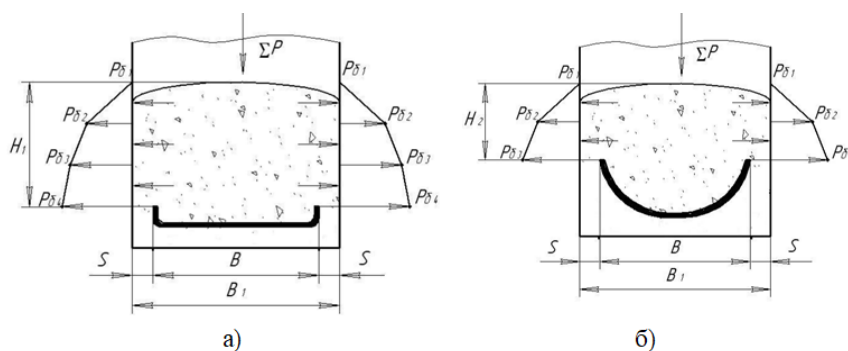


Рисунок 2.7 - Розподіл бічного тиску по ширині лопатки : а) з бортами; б) жолобоподібні.

Пропоновані конструкції лопаток знижують силу тертя добрив у стінки кожуха, витрати потужності на привід робочих органів і дозволяють коригувати дальність викиду добрив.

Створюваний лопатками, що обертаються, повітряний натиск також знижує дія бічної сили. Величина повітряного натиску визначається експериментальним шляхом за відповідною методикою.

2.3. Аналітичне дослідження руху добрив по дефлектору.

Значне місце в теоретичних дослідженнях приділяється дефлектору як одному з елементів транспортуючої системи [2,8, 20].

Використання дефлектора в розкидаючому апараті барабанного типу дозволяє виключити віяловий (по вертикалі) політ часток добрив і регулювати щільність і дальність його польоту. Підвищенням щільності потоку органомінеральних добрив частково коригується взаємодія часток добрив з різною парусністю.

Досліджувані нами питання [10] спрямовані на обґрунтування конструктивно-режимних параметрів дефлектора і його впливу на технологічні показники (Рисунок 2.8). Добрива рухаються по довжині дуги робочої поверхні дефлектора, що відповідає куту 90° , за рахунок наявного у нього запасу кінетичної енергії при швидкості V_d у кінці дефлектора.

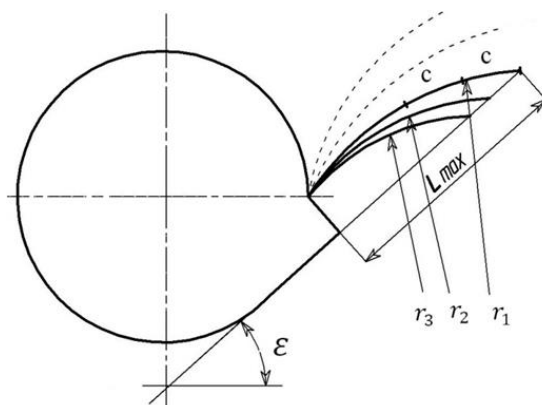


Рисунок 2.8 - Схема роботи телескопічного дефлектора де ϵ - кут нахилу вивантажного вікна; z - крок виміру довжини телескопічного дефлектора; L_{max} - максимальна довжина вильоту.

Приймаємо поверхню дефлектора постійного радіусу (Рисунок 2.9).

На частку добрива, що знаходиться на поверхні дефлектора, діють наступні сили: сила тяжіння - mg ; що становить сили тяжіння - $mg \cos \alpha$, спрямована по дотичній до поверхні дефлектора; що становить сили тяжіння, спрямована нормально до поверхні дефлектора - $mg \sin \alpha$; відцентрова сила інерції - 2 ; сила інерції - .

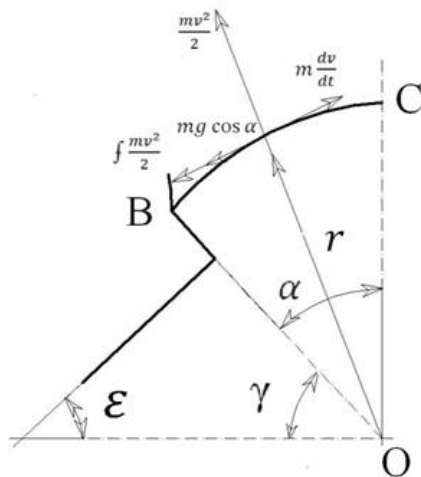


Рисунок 2.9 - Схема сил, що діють на частку добрива при русі її по дефлектору; де $\alpha = 55^\circ$, $\epsilon = 35^\circ$, $\gamma = 55^\circ$.

Встановлено що складова сила тяжіння при максимальних значеннях незначна, порівняно з силою тертя, тому її можна пропустити.

Тоді при прийнятому допущенні отримаємо $= . 42^0$

Як видно, швидкість руху добрив по дефлектору безпосередньо залежить від коефіцієнта тертя і часу проходження. Відповідно, збільшення довжини дефлектора знижуватиме швидкість руху добрив.

Ряд авторів у своїх дослідженнях [2, 8, 10, 14] рекомендує використати параболічну форму дефлектора, яка найбільш пристосована для матеріалу, що транспортується, з урахуванням його фізико-механічних властивостей.

Ефективність роботи дефлектора перевірялася при русі добрив по робочій поверхні, виконаній по параболі.

Форма параболічного дефлектора (Рисунок 2.10) повинна співпадати з траєкторією руху добрив, що виходять в нижній зоні вивантажного вікна.

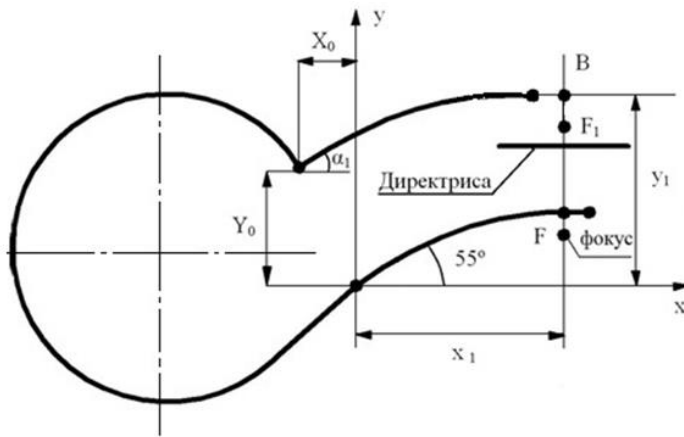


Рисунок 2.10 - Схема параболічного дефлектора

Теоретичні викладення за визначенням раціональної форми робочої поверхні дефлектора перевірялися в умовах реальної експлуатації розкидання добрив.

2.4. Стабілізація просторового положення кузовного низькорамного розкидання добрив.

Експлуатація машинно-тракторних агрегатів (МТА) в умовах склонового ґрунтозахисного землеробства відрізняється від рівнинної. Змінюються агротехнічні вимоги, потужності і економічні показники. Це також відноситься і до розкидань для поверхневого суцільного внесення добрив, особливо до причіпних кузовних на пневматичному ході.

Основні вимоги, що пред'являються до розкидань, - рівномірний розподіл добрив. Це питання набуває особливого значення в умовах роботи МТА на пересіченій місцевості.

Проблемою підвищення рівномірності розподілу добрив на полях схилів займалися багато учених [6, 7, 16].

Розглянемо це на прикладі роботи розкидання органо-мінеральних добрив.

Зміни мікрорельєфу, нерівномірна деформація ґрунту під різними колесами, несиметрична радіальних і бічних деформацій шин і інші зовнішні дії приводять, навіть при переміщенні розкидання по рівній ділянці, до здійснення машиною бічних рухів відносно положення статичної рівноваги. У прийнятій системі координат (Рисунок 2.11) бічні переміщення кузова відносно поверхні

поля можна характеризувати кутом $\varphi(t)$, утвореним віссю OY і геоцентричною вертикаллю.

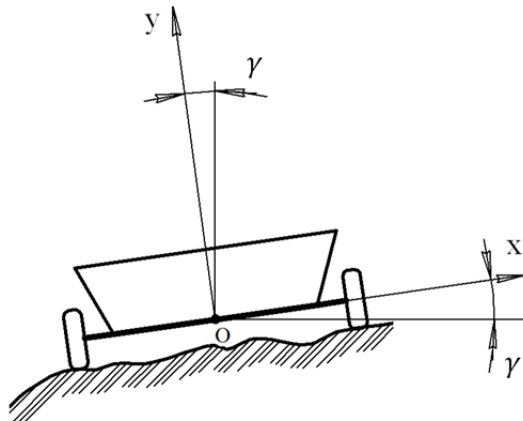


Рисунок 2.11 - Бічні кутові переміщення розкидання

Вплив дій, що викликають зміни кута φ , випадкові, по-цьому функція $\gamma(t)$ - випадкова функція часу. Вона стаціонарна і центрована відносно положення статичної рівноваги, а її математичне очікування $M[\gamma(t)] = 0$.

Розглянуті обурення, в силу інерційних властивостей технологічного процесу і частотних характеристик, роблять незначний вплив і найчастіше визначаються експериментальним шляхом.

Інакше йде справа при русі розкидання упоперек схилу, обов'язковою вимогою ґрунтозахисного землеробства, що являється.

При русі розкидання упоперек схилу (Рисунок 2.12) кутове переміщення його визначатиметься:

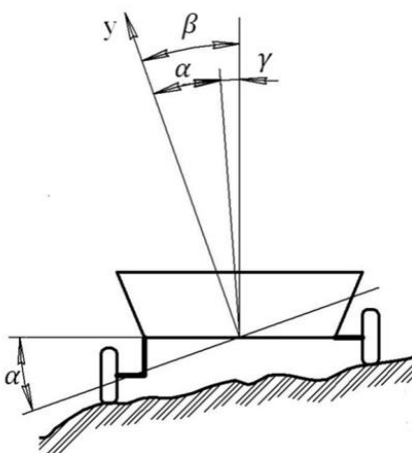


Рисунок 2.12 - Характер поперечних кутових рухів розкидання.

Зміни $\gamma(t)$ аналогічні коливанням, що виникають при русі агрегату по рівній ділянці поля. У зв'язку з прийнятим допущенням положення статичної

рівноваги визначається, в основному, кутом схилу α , який в процесі руху розкидання міняється випадковим чином. Таким чином, зміна кутового положення розкидання можна розглядати як випадковий процес $\beta(t)$ з математичним очікуванням $\alpha(t) = M[\beta(t)]$ і центрованою відносно нього випадковою функцією $\gamma(t) = \beta(t) - M[\beta(t)]$.

У похилому положенні розкидання добриво, що знаходиться на подаючому транспортері кузова, вивантажуються на одну сторону. При цьому швидкість і рівномірність подання добрива до робочих органів ротора, збільшується навантаження на нижнє по схилу колесо, з'являється розгортаючий момент, погіршується маневреність і керованість агрегату, порушується норма внесення добрива на стикових проходах агрегату.

Отже, при роботі розкидання на пересіченій місцевості з дотриманням агрономічних вимог, необхідно регулювати його положення відповідно до зміни кута нахилу ділянок поля.

Виконання поставленого завдання забезпечується різними системами автоматичного регулювання. Аналіз конструкцій елементів, що управляють, показав, що найбільш простим і надійним є датчик маятникового типу.

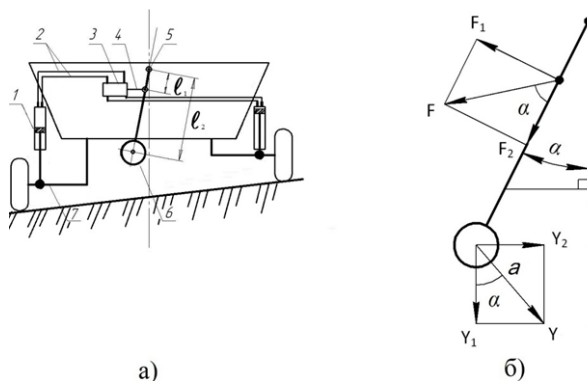


Рисунок 2.13 - Пристрій і схема сил системи стабілізації низькорамного розкидання: де 1 - гідроциліндр; 2 - трубопроводи; 3 - гідророзподільник; 4 - золотник гідророзподільник; 5 - важіль маятникового типу; 6 - вантаж; 7 - колінчаста вісь.

Для перевірки правильності наших припущень розроблений і представлений стабілізуючий пристрій.

2.5. Облаштування експериментального низькорамного розкидання органо-мінеральних добрив

Для дослідження процесу внесення гранульованих органо-мінеральних добрив, з урахуванням аналізу наявних машин, робочих органів і схем роботи на базі лабораторії був вдосконалений дослідний зразок установки для внесення органо-мінеральних добрив (Рисунок 3.1). За основу розкидання був узятий дослідний зразок, розроблений Репетовим А.Н. і надалі вдосконалений кандидатом технічних наук Лепшеевим О.М..

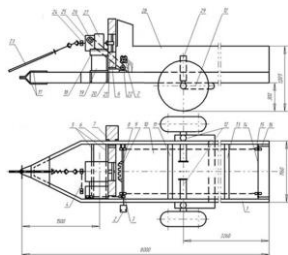


Рисунок 3.1 - Схема низькорамного розкидання :

Розкидання полягає: 1 - рама; 2 - гідромотор; 3 - провідний вал транспортера; 4 - ланцюг з кроком, 5 - балки; 6 - робочий орган роторного типу; 7 - дефлектор; 8 - шнек; 9 - вал шнека; 10 - стрічковий транспортер; 11,13 - пластини; 12 - колінний півосі; 14 - ведений вал транспортера; 15 - зірочка; 16 - натягач транспортера; 17 - пластини; 18 - опора; 19 - стойка; 20 - ребро жорсткості; 21 - ланцюг; 22 - зірочка; 23 - карданна передача; 24 - зірочка; 25 - стойка; 26 - опора; 27 - редуктор; 28 - бункер; 29 - гідроциліндр.

Раму 1 виготовили з рами автомобіля ГАЗ- 53, яку встановили на дві півосі з гідроциліндром, що змінює кут нахилу кузова залежно від кута схилу поверхні поля, що дозволяє розкиданню збільшити дорожній просвіт для безпроблемного транспортування. На раму встановили приймальний бункер 31 від машини ПБ- 2 із стрічковим транспортером 10.

На рамі перед похилою частиною стрічкового транспортера встановили барабан з робочим органом роторного типу виготовлений по аналогії з вентилятором-швирилкою з комбайна роторного причіпного "РОСЬ-2" (Рисунок 3.2). Виходячи з матеріалів експериментальних досліджень, оптимальна кількість лопатей в роторних робітниках органах складає 4...5 [54]. У

дослідного зразка п'ять лопатей. Це зменшить навантаження на сам робочий орган, в силу зменшення об'ємної маси зрушуваного пласта.

Привід робочого органу здійснюється через редуктор і карданну передачу від ВОМ трактора.

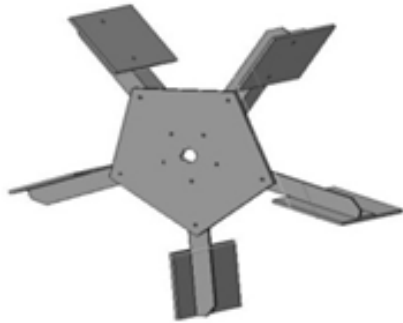


Рисунок 3.2. - Модель експериментального робочого органу роторного типу.

Викид добрив здійснюється через вивантажне вікно квадратного перерізу 250 x 250 мм. Гідромотор 2 приводить в рух транспортер, що дуже зручно, оскільки дозволяє, не виходячи з кабіни трактора, регулювати швидкість руху стрічки, і як наслідок, кількість добрив, що подаються до робочого органу. Для спрямованого подання добрив до робочого органу використовується шнек 8, який наводиться рух ланцюгової передачі 4, з валу редуктора.

Привід робочого органу здійснюється від ВОМ трактора, через редуктор 1 і зірочки 4 (кількість зубів - 12) і 3 (кількість зубів- 17), сполучені між собою ланцюговою передачею (Рисунок 3.3).

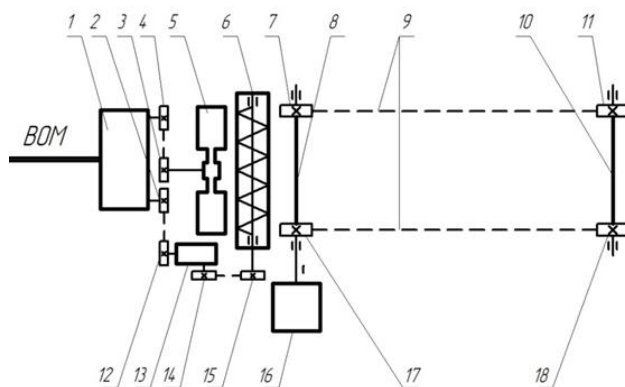


Рисунок 3.3 - Кінематична схема низькорамного розкидання де 1 - редуктор; 2 - зірочка ($z=15$); 3 - зірочка ($z=17$); 4 -зірочка ($z=12$); 5 - роторний робочий орган; 6 - шнек; 7,11,17,18 - зірочки; 9 - ланцюги транспортера; 10 - вали транспортера; 12 - зірочка ($z=26$); 13 - редуктор; 14 - зірочка ($z=25$); 15 - зірочка ($z=22$); 16 - гідромотор.

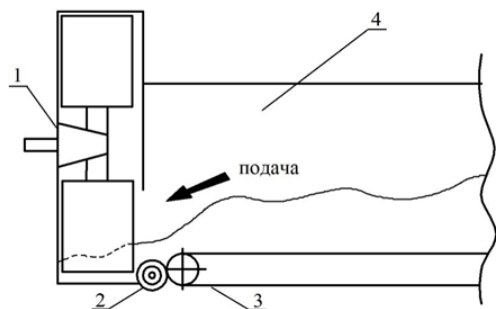


Рисунок 3.4 - Схема подання добрив до робочого органу де 1 - пневмомеханічний робочий орган роторного типу; 2 - шнек-живильник; 3 - стрічковий транспортер; 4 - кузов розкидання з добривами.

Детальніша схема подання гранульованих добрив до робочого органу представлена на рисунку 3.4. Для випробувань робочого органу і підтвердження теоретичних досліджень, розробили три види лопаток (Рисунок П.3; П.4; П.5) : плоскі (Рисунок 3.5), з бортами (Рисунок 3.6), жолобоподібні (Рисунок 3.7).

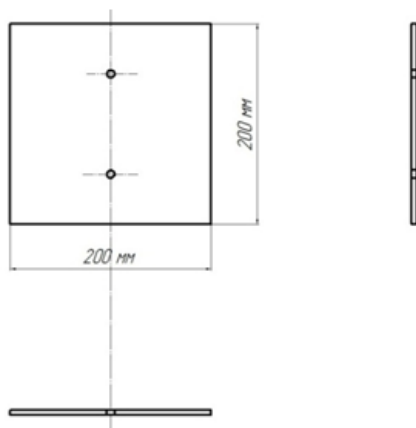


Рисунок 3.5 Схема плоских лопаток

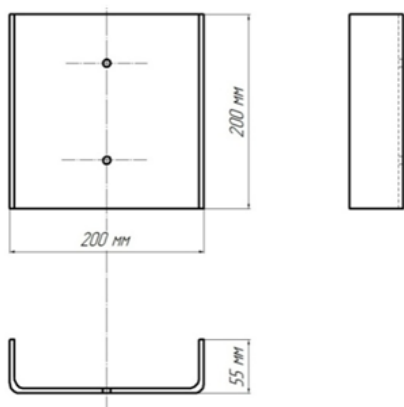


Рисунок 3.6 Схема лопаток з бортами

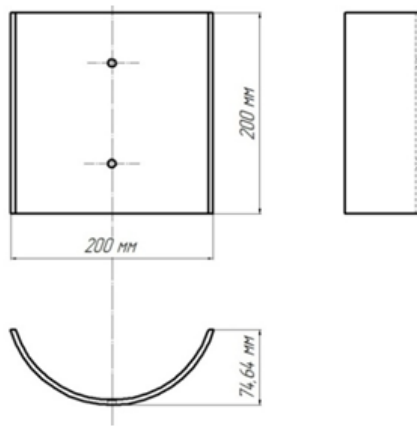


Рисунок 3.7 Схема вигнутих лопаток

Лопатки виконані із сталі завтовшки 3 мм. Габаритним розмір їх складає - 200 х 200 мм, що дозволяє якнайповніше захоплювати і ви-брасивать вантаж, що подається на них. Кріпляться лопатки за допомогою болтів до лопаті ротора. У випадку з желобообразними лопатками необхідно використати додаткове посилення для надійнішого кріплення їх до лопаті ротора.

Габаритні розміри і форма кузова були вибрані виходячи з напрацювань [3]. Форма кузова - призматична, з кутом нахилу бортів 55° , що більше кута природного укосу добрив, оскільки частки в ній розташовуються більше рівномірно (Рисунок 3.8). Маса добрив що вміщуються в кузов, - 5 т.

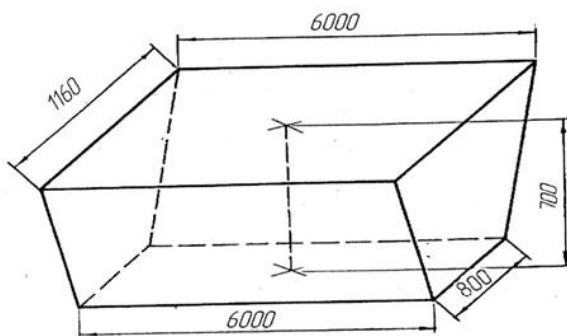


Рисунок 3.8 - Форма кузова розкидання органо-мінеральних добрив.

Швидкість руху стрічкового транспортера була вибрана виходячи з даних [13] і склала 0,0008...0,013 м/с, що дозволяє забезпечити рівномірне подання добрив до робочого органу при нормах внесення 0,1...2 т/га.

Для зручного завантаження розкидання самоскидами будь-якого типу (Рисунок П.2) його зробили низькорамним. Піввісі опускаються в нижнє положення, паралельне поверхні поля, після чого відбувається завантаження

автомобіля-самоскида. При цьому дорожній просвіт між розкидачем і поверхнею поля складає 300 мм (Рисунок 3.9). Після завантаження колінчасті піввісі піднімають кузов в робоче положення залежно від агрофону. В даному випадку агрофон дозволяє працювати при величині дорожнього просвіту 500 мм (Рисунок 3.9).

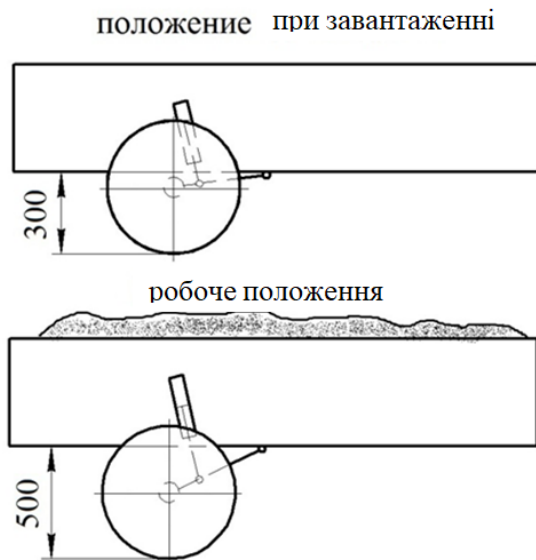


Рисунок 3.9 - Величина дорожнього просвіту розкидання при завантаженні і в робочому положенні.

Технологія завантаження розкидання залежить від величини відстані між сховищем добрив і полемо, на яке робитиметься внесення.

У окремих випадках, коли поле знаходиться у безпосередній близькості від сховища добрив, вантаження може здійснюватися без допомоги самоскидів. Оскільки гранульовані добрива робляться в основному в мішкотарі масою по 500 кг, спеціальний кран навантажувач піднімає мішки над кузовом. Після чого в мішку робиться розріз, через який добрива зсипаються в кузов.

У основних випадках розкидання завантажуються за допомогою самоскидів. Технологічна схема вантаження здійснюється таким чином: автомобіль-самоскид в сховищі завантажують добривами з мішкотари, після чого автомобіль доставляє добрива до місця роботи розкидання і перевантажує їх в його кузов (Рисунок 3.10). Для завантаження добрив в кузов розкидання він умовно ділиться на два сектори. Приймавши приблизно половину об'єму

добрів в перший сектор, агрегат проїжджає 2-3 м, після чого завантажується другий сектор.

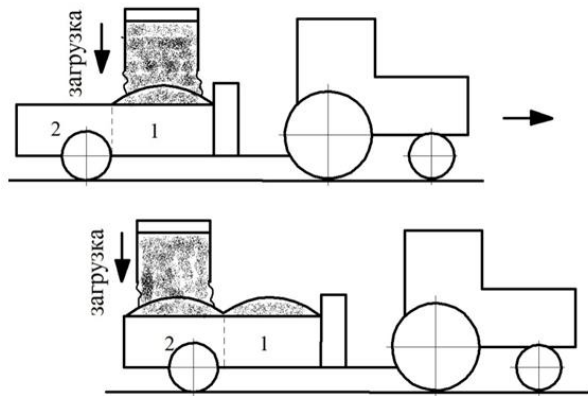


Рисунок 3.10 - Схема завантаження розкидання

Необхідно відмітити, що залежно від дози внесення і удаленно-сти поля від сховища, для забезпечення безперебійної роботи розкидання можна використати одночасно два автомобілі самоскида.

2.6. Методика планування багатофакторного експерименту

Для з'ясування ідеального поєднання усіх параметрів і режимів роботи розкидання органо-мінеральних добрив, і вплив їх на рівномірність внесення, необхідно побудувати математичну модель технологічного процесу внесення добрив і провести багатофакторний експеримент (Рисунок П.6). З цією метою застосували рототабельний композиційний план другого порядку [4, 12, 16, 17,].

Для правильного відображення процесу внесення добрив на полі необхідно, щоб його математична модель включала усі чинники, що впливають на дальність вильоту добрив. Якщо не врахувати хоч би один значимий чинник, можна отримати помилкову інтерпретацію явищ, протекаючих під час внесення добрив, що у свою чергу послужить причиною серйозної помилки в рішеннях, вживаних за допомогою моделі.

При дослідженні складного процесу внесення добрив, на який впливає велике число чинників, заздалегідь було не відомо які з цих факторів значимі. Необхідно було виділити основні, найбільш значимі чинники на тлі інших.

Внаслідок того що звичайні методи виділення істотних чинників, такі як регресійний аналіз, нам не підходили, внаслідок того, що вимагали великого числа експериментів і неприпустимих витрат часу на обробку даних, ми

скористалися спеціальним методом наднасичених факторних планів, який не вимагає безлічі експериментів і тимчасових витрат.

Запропонований метод дисперсного аналізу має на увазі під собою побудова повного факторного плану з семи чинників: де x_1 - частота обертання ротора; x_2 - радіус ротора; x_3 - маса викидаємого вантажу; x_4 - швидкість вантажу по лопатці; x_5 - ширина лопатки; x_6 - довжина лопатки; x_7 - кут нахилу розтруба вивантажного вікна.

Нами методом класичного аналізу і програми Microsoft Excel (таблиця П.3) встановлено, що мінімальна дальність польоту частки добрив досягається при $x_1 = -0,78$ (реальна величина - 772,118 хв-1), $x_2 = -0,58$ (реальна величина - 0,4 м) і $x_3 = -0,13$ (реальна величина - 4,87) і складе 17,14м.

Подальший аналіз процесу, що вивчається, зроблений за допомогою построения графіків при черговій фіксації одного з трьох показників на середньому рівні. Побудову поверхні робили за допомогою програми Microsoft Excel→Вставка→Діаграми→Поверхня, по черзі вирішуючи рівняння регресії для кожної точки графіку (таблиця П.4). Так, зафіксувавши показник маси вантажу x_3 , що викидається, на рівні 0, получили рівняння

$$y = 17,95 + 0,95x_1 + 0,53x_2 + 0,59x_1^2 + 0,36x_2^2 + 0,14x_1x_2 \quad (3.20)$$

Графік цієї залежності має вигляд

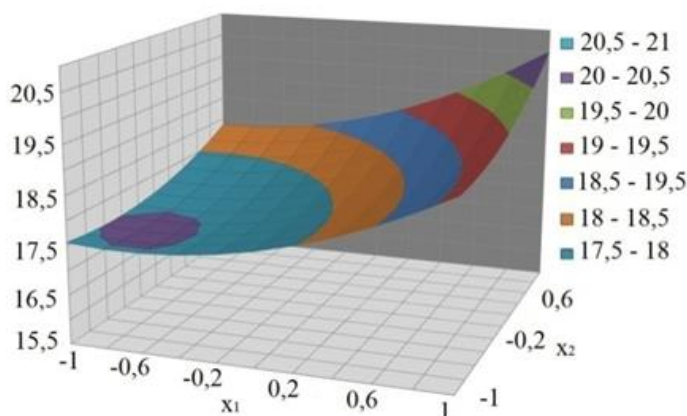


Рисунок 3.11 Поверхня при $x_3=0$ На рисунку 3.13 видно, що максимальне значення дальності польоту частки y змінюється від 20,5 до 21 м, при частоті обертання від 0,8 до 1 (від 930 до 950 хв-1, в реальних величинах) і при радіусі ротора від 0,8 до 1 (від 0,54 до 0,56 м, в реальних величинах). Зафіксувавши показник радіусу ротора x_2 , отримали рівняння $y = 17,95 + 0,95x_1 - 0,53x_3 + 0,59x_1^2 - 0,88x_3^2 - 0,39x_1x_3$.

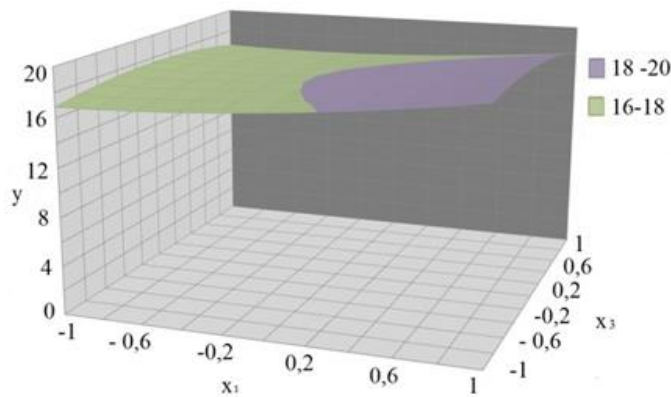


Рисунок 3.12 - Поверхня при $x_2=0$

На рисунку 3.12 видно, що максимальне значення дальності польоту частки добрива y змінюється в межах від 18 до 20 м, при частоті обертання ротора від 0 до 1 (від 850 до 950 мін - 1, в реальних величинах) і масі вантажу, що викидається, від - 0,2 до 0,2 (від 48 до 52 кг/мін). У третьому варіанті зафіксований показник частоти обертання ротора на середній відмітці і рівняння набрало вигляду $y = 17,95 + 0,53x_2 - 0,53x_3 + 0,36x_2^2 - 0,88x_3^2$.

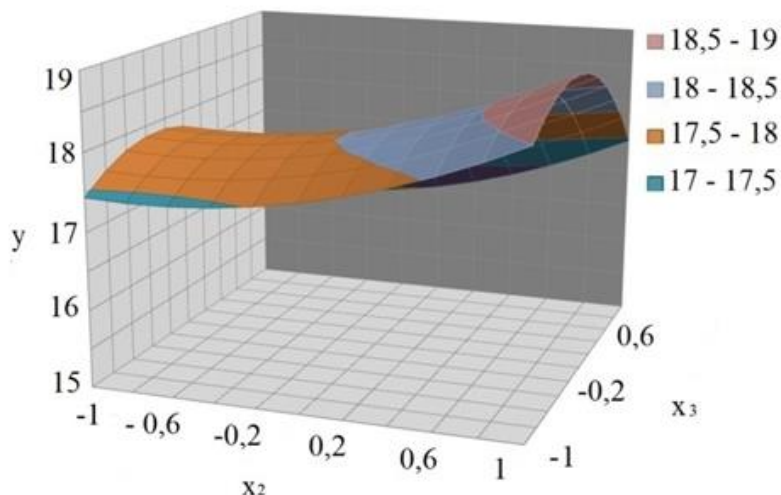


Рисунок 3.13 - Поверхня при $x_1=0$

На рисунку 3.13 видно, що максимальне значення дальності польоту частки добрива y змінюється в межах від 18,5 до 19 м, при радіусі ротора від 0,6 до 1 (від 0,52 до 0,56 м, в реальних величинах) і масі вантажу, що викидається, від - 0,2 до 0,2 (від 48 до 52 кг/мін, в реальних величинах).

Аналіз отриманих поверхонь показав, що найбільший вплив на дальність вильоту частки добрив робить радіус і частота обертання ротора. Максимальної дальності вильоту часток добрив можна добитися при частоті обертання 950 хв-

1, радіусі ротора 0,56 м і масі викидаємого вантажу зафіксованому на середньому показнику 50 кг/хв.

Під час підготовки до дослідів приготували журнал випробувань і придбані прилади і устаткування необхідні для проведення дослідів і виготовлення дослідної польової установки.

Привели експлуатаційно-технічну оцінку машин для внесення добрив відповідно до [4]. Зробили порівняння експлуатаційно-технічних показників базовим і випробовуваним машин. В якості базової використали машину МВУ-5.

- Визначили технічний стан випробовуваних машин;
- Підібрали енергетичний засіб відповідає нормативам, і що відповідає нормам безпеки і гігієни праці;
- Була зроблена обкатка і регулювання випробовуваної і базової машини згідно інструкції з експлуатації, з використанням відповідних технічних засобів і персоналу.

2.7. Методика дослідження процесів розподілу органо-мінеральних добрив робочим органом.

Дослідження процесів розподілу органо-мінеральних добрив роторним робочим органом з горизонтальною віссю обертання, установ-ленном на досвідченому низькорамному розкиданні, проводилися на полі в реальних умовах за методикою [16, 21].

Відповідно до [21] визначаються метеорологічні умови випробувань, такі як швидкість вітру, температура і відносна вологість повітря.

Для дослідження робочого органу необхідно було завантажити кузов машини добривами, відповідно до його вантажопідйомності і місткості.

До початку основних досліджень проводилися попередні дослідження машини на стаціонарі, що дозволило визначити довжину і ширину смуги розсівання добрив, форму лопаток робочого органу і найбільш раціональні параметри дефлектора, які забезпечуватимуть найбільш ефективний викид добрив. Для цього розставили пробовідбірники розміром 0,5 x 0,5 м, в 8 рядів

впритул один до одного, при цьому довжина кожного ряду складала 24 м (Рисунок 3.14).

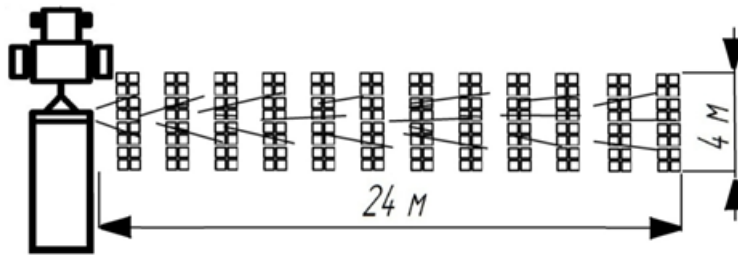


Рисунок 3.14 - Схема розміщення пробовідбірників при стаціонарних випробуваннях

Після стаціонарних досліджень, для визначення оптимальної швидкості і перевірки рівномірності внесення добрив проводили експерименти в русі. Для цього вибрали майданчик 240 м^2 (довжина - 10 м, шири-на - 24м). На майданчику встановлювалося 56 пробовідбірників, кожен з яких мав площу 1 м^2 . Розставляння робилося в шаховому порядку, в 10 рядів, з міжосьовою відстанню 1м (Рисунок 3.15).

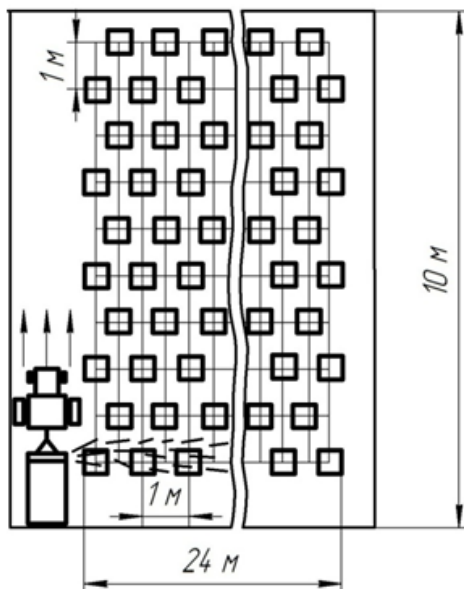


Рисунок 3.15 - Схема розміщення пробовідбірників при випробуваннях в русі.

Випробування проводили в трьох повторностях, на різних режимах, і комбінаціях параметрів розкидання добрив.

Агрегат рухався з постійною швидкістю 1,38 м/с.

Робочий орган включали за 15 м до початку контрольного майданчика, і після її проходження зважували кожен пробовідбірник з добривами, що потрапили в нього. Результат фіксували в журнал.

Обробка отриманих в ході досвіду даних здійснювалася за допомогою статистичних і математичних методів.

Висновки по розділу

1. Швидкість руху частки добрива і їх розподіл залежить від частоти обертання ротора і його радіусу, а також форми, положення і кута установки лопаток.

2. Жолобоподібна форма лопаток робочого органу порівняно з плоскою і з бортами дозволяє зменшити силу тертя добрив об стінки кожуха до 37.

3. Застосування дефлектора, встановленого над вивантажним вікном робочого органу, дозволяє скоректувати траєкторію польоту добрив.

4. З метою збереження агротехнічних показників роботи розкидання в умовах пересіченого рельєфу місцевості доцільно примінити систему стабілізації бічного крену.

5. Представлена конструкція експериментального низькорамного розкидання з пневмомеханічним робочим органом розташованим на горизонтальній осі обертання.

6. Для визначення ефективності розсіювання добрив запропоновані три варіанти форм лопаток робочого органу : плоска, з бортами і жолобоподібна.

7. З метою дослідження розподілу добрив в зоні розсіювання робочим органом роторного типу, запропонована відповідна методика.

8. На підставі попередніх експериментів, отримана математична модель об'єкту дослідження, що описує найбільш краще поєднання чинників, що впливають на дальність вильоту добрив.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Аналіз основних фізико-механічних властивостей добрив

При проведенні експериментальних досліджень по внесенню органо-мінеральних добрив, згідно методики, передусім установили їх фізико-механічні властивості. Перевірці піддавалися: торф, суперфосфат, хлористий калій, аміачна селітра, суміш торфу з суперфосфатом. Також перевіряли гранульовані органо-мінеральні добрива, що виготовлялися, таких марок як: "Універсал", "Картопляне", "Пшеничне", "Бурякове" і "Рапсове". Перевірку зробили за методикою, викладеною в пункті 2.

Відомо, що для усіх видів добрив, фізико-механічні властивості безпосередньо залежать від вологості. Вологість ОМУ, W (визначали в триразовій повторності за допомогою вагів і сушильної шафи. Для цього зважили різні проби і помістили в сушильну шафу. Після сушки повторно зважили і отримані дані підставили у формулу.

Об'ємну масу добрив, що впливає на якість роботи розкидання, визначили за допомогою зернової пурки ПХ- 1. Після вимірів результат розрахували формулі.

Розмір часток визначали за допомогою послідовного просіювання добрив через набір сит з розміром осередку від 0,5 до 7 мм. У результаті з'ясувалося, що розмір часток коливається від 1 до 5 мм, причому 55т усій масі має розмір 2-3 мм.

Кут тертя, коефіцієнт тертя і кут природного укосу впливає на розсіювання добрив по полю, визначали лабораторно. Результати помістили в таблицю 3.1.

Результати перевірки показали серйозну відмінність фізико-механічних властивостей торфу від гранульованих добрив, а також схожість усіх марок гранульованих органо-мінеральних добрив.

Коефіцієнт парусності і критична швидкість добрив, які безпосередньо залежать від розміру часток і маси, являється основним показником, що

впливає на рівномірність розподілу їх по полю. Як видно з таблиці 3.1, найбільш близьким за фізико-механічними властивостями до ОМА являється аміачна селітра. Виходячи з даних [14], коефіцієнт парусності для часток аміачної селітри розміром 1мм = 0,72; 2-3мм = 0,27; 3-5мм = 0,16. Критична швидкість часток аміачної селітри розміром 1мм = 7,1м/з; 2-3мм = 8,7м/з; 3-5мм = 10,4м/с.

Таблиця 3.1 - Фізико-механічні властивості добрив

Вид удобрення	Вологість W, %	Об'єм- на маса V, т/м ³	Кут тертя, град.	Коефіцієнт тертя	Кут відкосу, град	Розмір частинок, мм
Торф	43	0,09	45	0,35	34	<3 - 30% 3-6 - 20% 6-10 - 50%
Аміачна селітра	1,3	0,8	70	0,6	42	1 - 30% 2-3 - 60% 3-5 - 8% >5 - 2%
Суперфосфат	4	1,14	37	0,5	33	1 - 32% 2-3 - 49% 3-5 - 18% >5 - 1%
Хлористий калій	2,2	0,9	78	0,5	50	1 - 77% 2-3 - 11% 3-5 - 6% >5 - 6%
Торф + суперфосфат	42,3	0,1	43	0,41	35	<3 - 30% 3-6 - 20% 6-10 - 50%
ОМУ «Універсал»	1,6	0,85	73	0,54	34	1 - 15% 2-3 - 55% 3-5 - 25%
ОМУ «Картопляне»	1,6	0,84	73	0,53	34	1 - 13% 2-3 - 56% 3-5 - 26%
ОМУ «Пшеничне»	1,6	0,85	73	0,53	34	1 - 16% 2-3 - 53% 3-5 - 26%
ОМУ «Бурякове»	1,6	0,86	73	0,54	34	1 - 12% 2-3 - 54% 3-5 - 29%
ОМУ «Рапсове»	1,6	0,84	73	0,53	34	1 - 13% 2-3 - 56% 3-5 - 26%

Оскільки розмір часток торфу, в середньому більше в 2 рази, чим у гранульованих добрив, а об'ємна маса менше в 10 разів, коефіцієнт парусності торфу і гранульованих добрив значно відрізнятиметься. Ця відмінність приведе до нерівномірного змішування і розподілу добрив. Гранули долітатимуть значно далі, ніж торф. Тому для подальшого проведення експериментів була вибрана марка гранульованих "Універсал".

3.2. Обґрунтування основних конструктивних параметрів лопатки

При визначенні кута нахилу і найбільш ефективної форми лопаток робочого органу, що дозволяє добитися якісного внесення добрив, необхідно враховувати наступні чинники: дальність польоту і дроблення часток добрив.

Для обґрунтування залежності дальності польоту і дроблення часток від положення лопатки на стаціонарі були проведені експерименти, в яких по черзі розкидали гранульовані органо-мінеральні добрива з використанням трьох різних форм лопаток (Рисунок 3.1, 3.2, 3.3) : плоскою, з бортами і жолобоподібною. Кут нахилу лопаток відносно центра обертання ротора φ змінювали в межах від -16° до 16° . Для кожного положення, в потрібній методикою кількості повторностей, визначали дальність польоту і відсоток дроблення часток, підклавши під вивантажне вікно кожуха ротора брезент завдовжки 20 метрів. Після 60-секундної роботи ротора заміряли довжину, на яку долітали частки, і за допомогою набору сит просівали добрива. З результатів трьох повторностей вичислили середнє арифметичне. Отримані результати порівняли з даними таблиці 3.1. На рисунку 3.1 показаний вплив кута установки лопаті на дальність полета частки з трьома різними видами лопаток.

Виходячи з результатів вимірів (таблиця 3.1), мінімальна дальність польоту частки, спостерігається при негативних кутах нахилу лопатки. Максимум же досягається при нахилі лопаті $\varphi=12^\circ$, з використанням лопатки жолобоподібною форми, і складає 17,8 м. Цей ефект пояснюється тим, що встановлені на 12° вперед лопаті, забезпечують найбільш прийнятну траєкторію польоту частки

для досягнення максимальної дальності. Плавний вигин робочої поверхні жолобоподібною лопатки дозволяє зменшити силу тертя, дозволяючи збільшити щільність потоку і дальність викиду добрив.

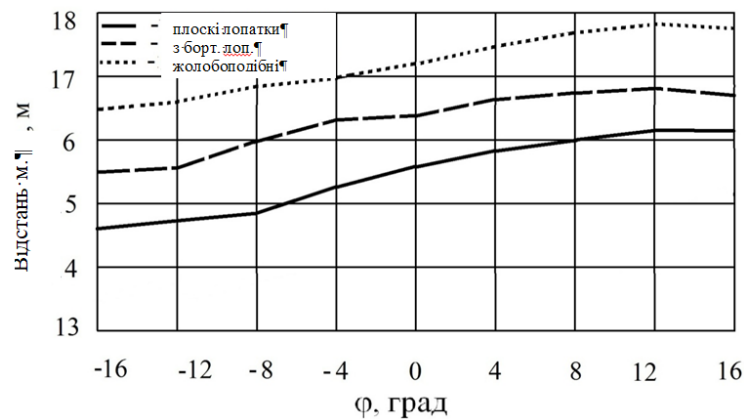


Рисунок 3.1 - Вплив кута нахилу лопаток φ на дальність вильоту добрив.

На рисунку 4.1 видно, що при радіальному розташуванні лопатей відбувається найбільш сильне дроблення гранул, яке може доходити до 14. Фракція розміром 3-5 мм розбивається на 8 позитивним кутом нахилу лопаті, і на 11 для лопаток з негативним кутом нахилу. Дрібна фракція, подібно до часток розміром 3-5мм, при радіальному розташуванні лопатей, має найбільший відсоток дроблення - 11.

Як і у випадку з впливом положення лопаті на дальність вильоту частки, перевагу мають лопатки з позитивним нахилом, а зокрема з кутом $\varphi=12^\circ$. Після подолання значення кута нахилу в 12° в одну і іншу сторону результат істотно не змінюється.

Нахил же вперед забезпечують максимальну дальність і мінімальний відсоток дроблення часток.

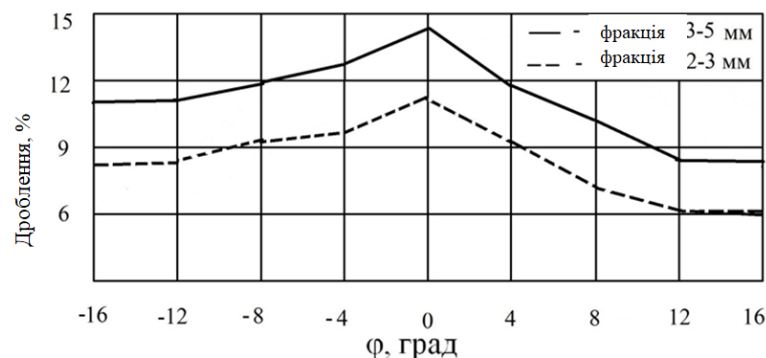


Рисунок 3.2 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу φ° , з використанням плоских лопаток

Результати випробувань робочого органу з жолобоподібними лопатками і лопатками з бортами показані, на рисунках 3.2 і 3.3.

Аналіз результатів досліджень (Рисунок 3.2 і 3.3) показав, що лопатки з бортами не дали явної переваги. Відсоток дроблення гранул лопатками з бортами, в порівнянні з плоскими, знизився на 1,2 олько при радіальному їх розташуванні. Явна перевага завдяки своїй конструкції продемонстрували лопатки жолобоподібною форми, які забезпечили зменшення відсотка дроблення в середньому на 20 усіх положеннях. За рахунок округлої форми, сила удару значно зменшується, равно як і площа зіткнення гранул з поверхнею лопатки.

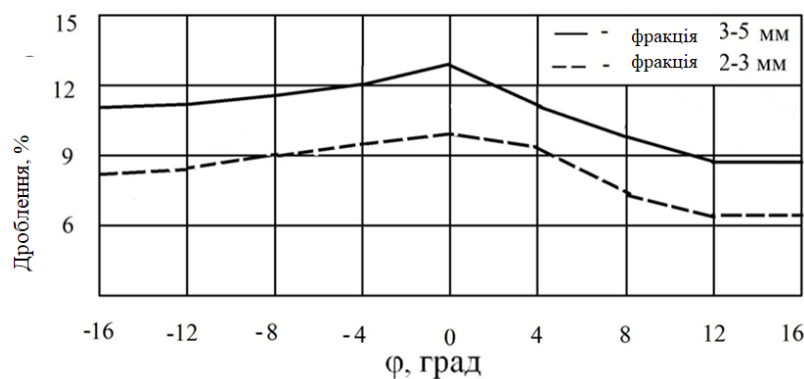


Рисунок 3.3 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу φ° , з використанням лопаток з бортами

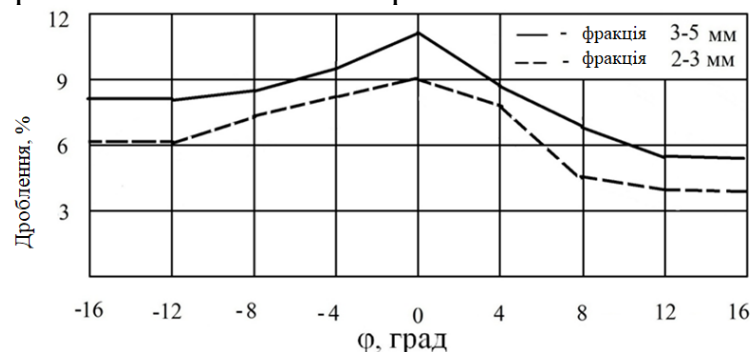


Рисунок 3.4 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу φ° , з використанням жолобоподібних лопаток.

Далі з трьома видами лопаток в різних положеннях лопатей визначили швидкість руху частки добрива в кожусі ротора. Результат показаний на рисунку 3.5.

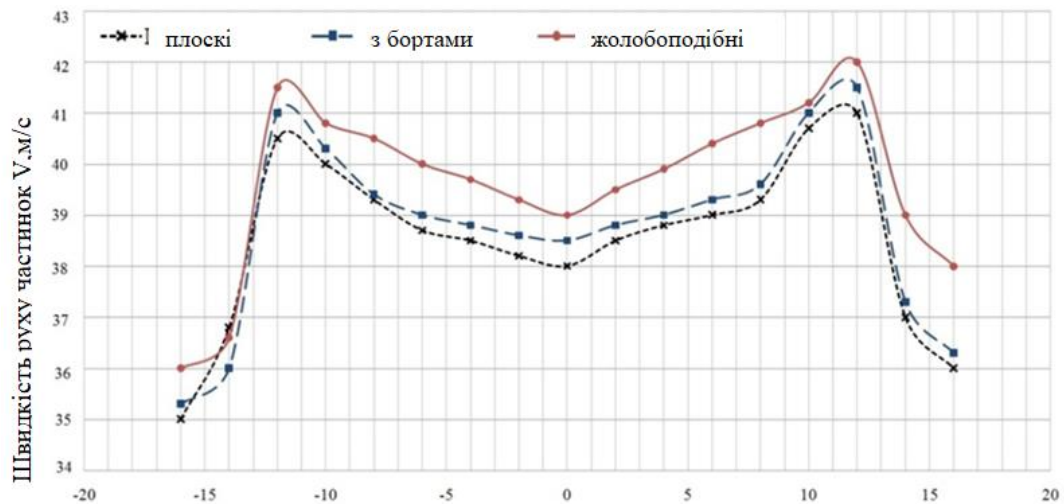


Рисунок 3.5 - Зміна швидкості руху частки добрива залежно від кута нахилу лопатки.

Найбільшу швидкість руху частка добрива придбаває при кутові нахилу 11-13° в негативну або позитивну сторону. Показники швидкості руху часток змінюються трохи. В силу зменшення значення сили тертя, жолобоподібні лопатки, порівняно з плоскими і лопатками з бортами, надають частці найбільшу швидкість і вважаються найбільш ефективними.

Проте, виникаючий повітряний натиск при обертанні ротора з лопатками в кожусі (равликові), сприяє не лише викиданню добрив через вивантажне вікно, але і частково захоплює його і перекидає в кожусі на повторне подання. Відбувається пересипання добрив через лопатки і їх дроблення, особливо це характерно для лопаток при розташуванні $\varphi < 0$. В результаті збільшується пилоподібна фракція, знижується продуктивність агрегату, порушується рівномірність розподілу добрив по площі.

Для відвертання пересипання добрив ми подовжили жолобоподібні лопатки. Довжина їх склала 440 мм. Цей розмір дозволив перекрити шляхи пересипання, оскільки лопатки стали доходити безпосередньо до осі обертання ротора. Повторивши експеримент, отримали наступний результат (Рисунок 3.6).

Конструкція суцільних лопаток виключила пересипання добрив усунувши тим самим повторний удар по них що йде услід лопаткою.

Випробування суцільних лопаток показали зменшення дроблення часток на 0,7. Крім того величина середнього повітряного натиску в кожусі ротора зросла з 156 до 209 мм. вод. ст. Відповідно виходячи з даних [13], максимальна швидкість руху частки добрива може збільшитися до 50 м/с.

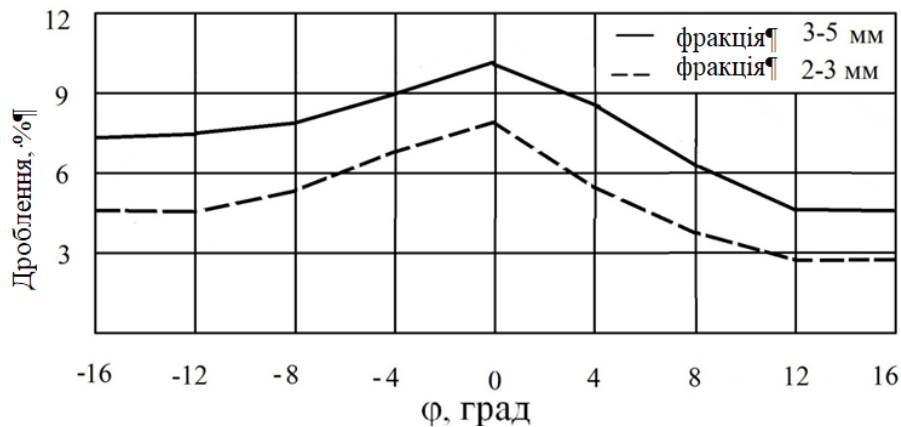


Рисунок 3.6 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу φ° , з використанням суцільних жолобоподібних лопаток.

В результаті експериментальної перевірки форми, конструктивних особливостей і положення лопатей і лопаток робочого органу встановили, що використання суцільних жолобоподібних лопаток розміром 200 x 440 мм і кутом нахилу $\varphi = 12^\circ$ дає позитивний ефект і дозволяє забезпечити найбільш якісне і ефективне внесення добрив були враховані при проведенні подальших експериментів.

3.3. Результати польових випробувань розкидання

Роботу низькорамної машини для внесення органомінеральних добрив перевіряли на різних режимах з трьома видами лопаток (прямими, з бортами, і жолобоподібними) для роторного робочого органу. Встановили вплив форми лопаток на траєкторію польоту і розміри плями розсівання добрив.

Графічне представлення траєкторії польоту частки добрива, викинутої розкиданням, здійснювали за допомогою теоретичної і фактичної кривої. Розрахунок теоретичної траєкторії польоту частки добрива визначили за допомогою програми для мови програмування Del - phi - "Політ частки"

Теоретичними розрахунками максимальна дальність вильоту частки добрива забезпечується жолобоподібними лопатками, і складає 18 м, а висоту траєкторії - 4,2м (Рисунок 3.7).

При перевірці розбіжності теоретичних результатів з практичними використали спеціальні мітки, і за допомогою відео і фотографування визначили фактичну траєкторію польоту часток добрива. Результати спостережень помістили в графіки для порівняння їх з теоретичними.

Для плоских лопаток довжина смуги розсівання склала 15 м, а максимальна на висоту, на яку піднімаються частки, - 3,1м. (Рисунок 3.8).

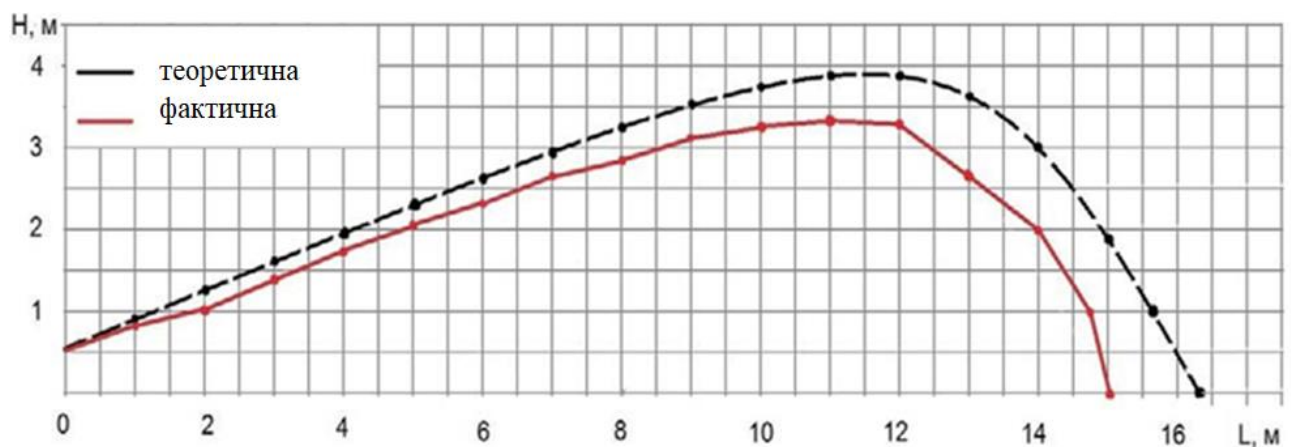


Рисунок 3.7 - Траєкторія польоту частки добрив при роботі з плоскими лопатками

Проте видно істотна розбіжність результатів теоретичних розрахунків і фактичної траєкторії. Пояснити це можна неврахованими в теорії погодними умовами і знаходженням частки в потоці.

Викид добрив лопатками з бортами дозволив підвищити дальність вильоту частки до 16 м з одночасним збільшенням висоти траєкторії.

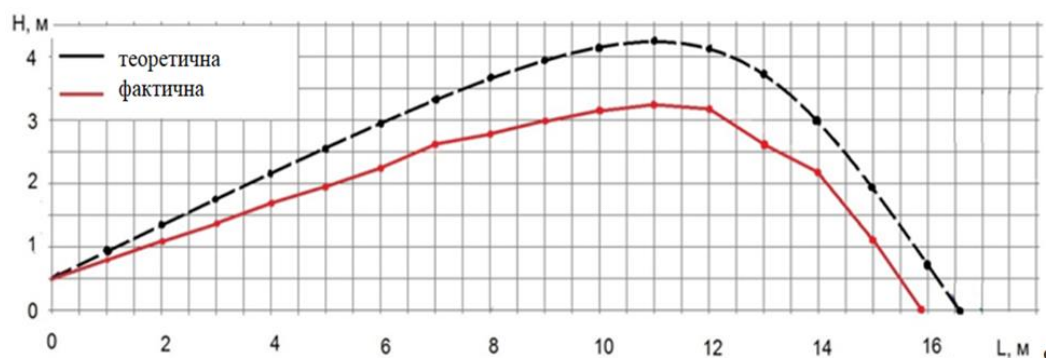


Рисунок 3.8 - Траєкторія польоту частки добрив при роботі лопаток з бортами.

При роботі розкидання з жолобоподібними лопатками результати показали не значну розбіжність (Рисунок 3.9), порівняно з попередніми дослідями. В даному випадку фактична дальність перевищила теоретичну і склала 18м. Потік добрив став візуально щільніший на ви-ходе, що спричинило збільшення дальності розсівання.

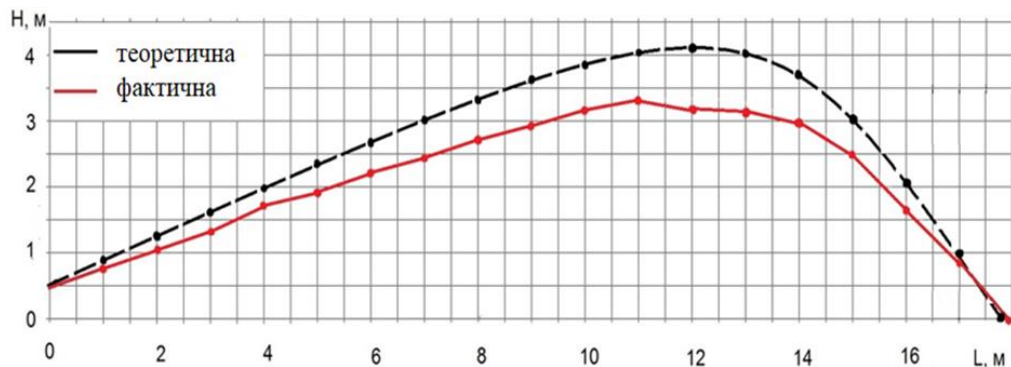


Рисунок 3.9 - Траєкторія польоту частки добрива при роботі з жолобоподібними лопатками.

Проаналізувавши усі три графіки траєкторій, можемо сказати, що вплив на дальність вильоту добрив робить не лише швидкість, але і форма лопатки, що формує їх потік. Чим щільніше потік, тим менше частки схильна до парусності.

Далі для усіх видів лопаток здійснили перевірку точності заданої дози внесення. Для цього під вивантажне вікно підстиляли лист брезенту і запустили механізм викиду добрив. Ротор працював 60 секунд, після чого усі випавші добрива по черзі зважили і визначили дозу внесення добрив.

Міра нерівномірності по довжині смуги розсівання для трьох видів лопаток визначали на стаціонарі в триразовій повторності (Рисунок 3.10). Для цього, згідно з методикою описаної в п. 3.7, по приблизній довжині і ширині смуги розсівання встановили кювети 0,5 x 0,5м (Рисунок 3.11). Після завантаження кюветов, по черзі зважуючи і фіксуючи результат, провели обчислення за допомогою програми Microsoft Office Excel (таблиця П.5).



Рисунок 3.10 - Визначення нерівномірності внесення добрив на стаціонарі.

На рисунку 3.11 показаний характер розподілу добрив на кожен метр довжини смуги розсівання.

Коефіцієнт варіації розподілу добрив склав, для плоских лопаток - 17,3, для лопаток з бортами - 15,7, жолобоподібних - 14,2.

Жолобоподібні лопатки сприяють найбільшій рівномірності розподілу добрив, проте при візуальному спостереженні процесу внесення добрив на ділянці з 6 метрів помітне сильне розшарування потоку і появи вертикального віяла часток. Це підтверджують і результати розрахунків нерівномірності в зоні розсівання. Так, крива має різкий стрибок у бік збільшення дози на цій ділянці. Потік добрив втрачає свою щільність, у зв'язку з чим їх швидкість падає і відбувається переповнювання добривами цієї області (Рисунок 3.11).

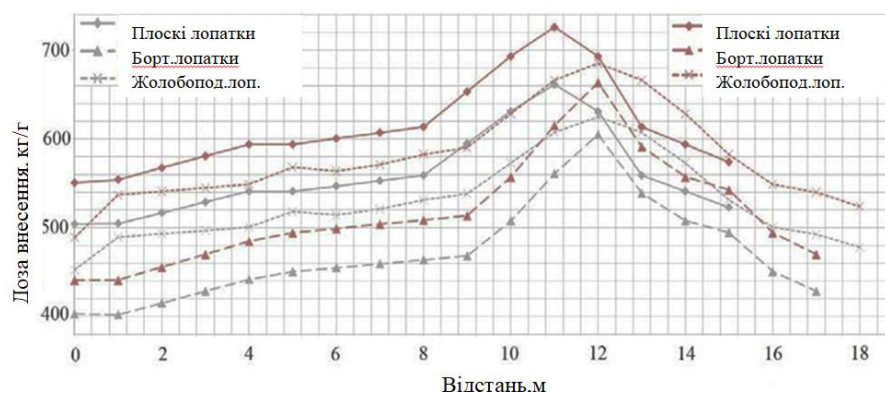


Рисунок 3.11 - Характер розподілу добрив

Полеві випробування розкидання органо-мінеральних добрив дозволили встановити найбільш відповідну для досягнення максимальної робочої ширини форму лопаток. Жолобоподібна форма дозволяє концентрувати масу добрив в центрі лопатки, утворюючи щільніший потік, порівняно з іншими. Проте

відсутність облаштування потоку, що коригує напрям, призводить до викиду різнорідних фракцій по різних траєкторіях.

Створюється вертикальний віяловий розподіл часток на видалених ділянках, що призводить до неприпустимого по агрономогам значення коефіцієнта варіації, - 14.2. Даний ефект можна вирішити шляхом установки дефлектора, що коригує потік добрив. У зв'язку з цим необхідно, з урахуванням теоретичних досліджень, визначити найбільш раціональну форму дефлектора для досягнення найбільшої щільності потоку добрив і понизити тим самим коефіцієнт варіації.

3.4. Вплив конструктивних параметрів дефлектора на траєкторію польоту часток добрива

Для знаходження найбільш раціональної форми дефлектора було розроблено три варіанти дефлектора, радіус яких складав 980 мм, 890 мм, 650 мм. Довжина кожного дефлектора змінювалася телескопічно від 935 мм до 565 мм з кроком 185 мм. (Рисунок 3.12, 3.13).



Рисунок 3.12 - Дослідний зразок дефлектора з радіусом 980 мм.

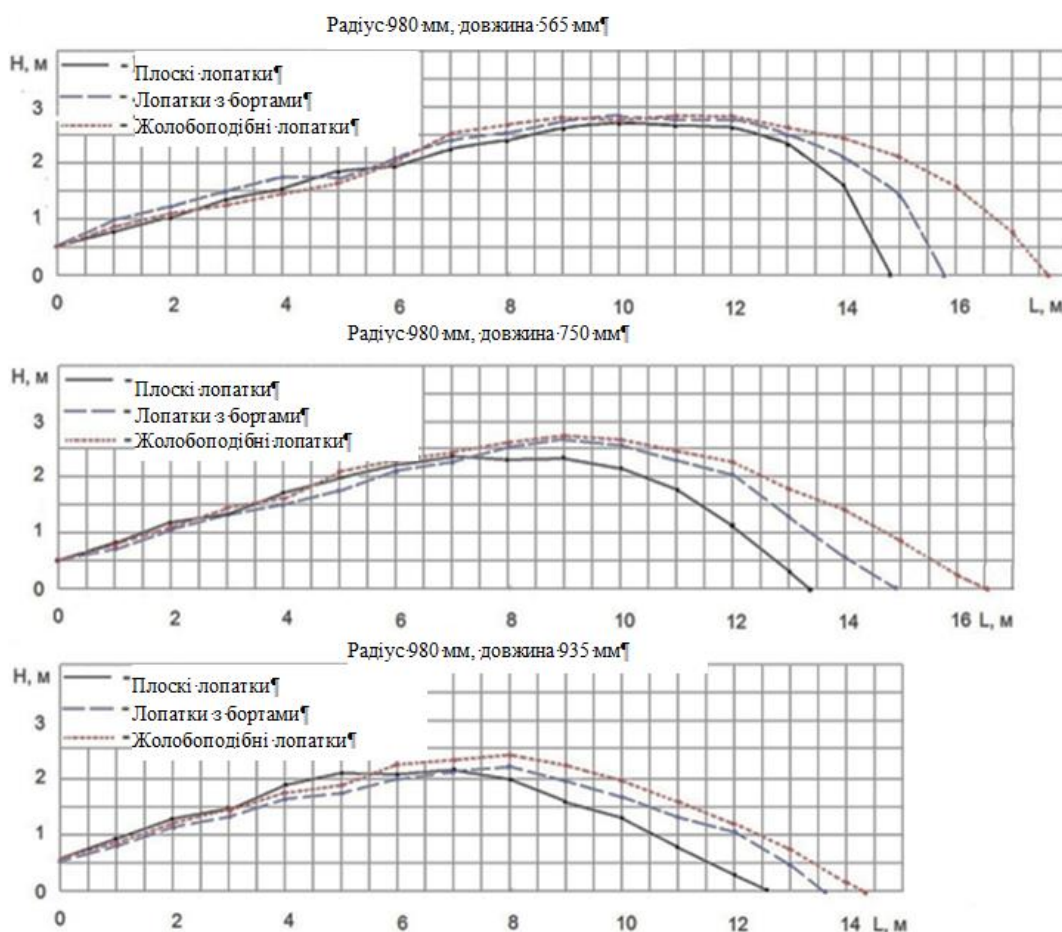


Рисунок 3.13 - Траєкторії польоту часток добрива при використанні дефлектора з радіусом 980 мм.

В першу чергу досліджували дефлектор більшого радіусу (Рисунок 3.13). За допомогою відео і фотографування, за методикою викладеної раніше, визначили фактичні значення точок траєкторій польоту часток добрива.

Телескопічний дефлектор з радіусом 890 мм, залежно від довжини висунення (Рисунок 3.14), продемонстрував зниження пікової висоти траєкторії до 2-2,5 м. Зменшення радіусу робочої поверхні вплинуло на зміну форми траєкторії в початковій точці, а дальність зменшилась до 16м.

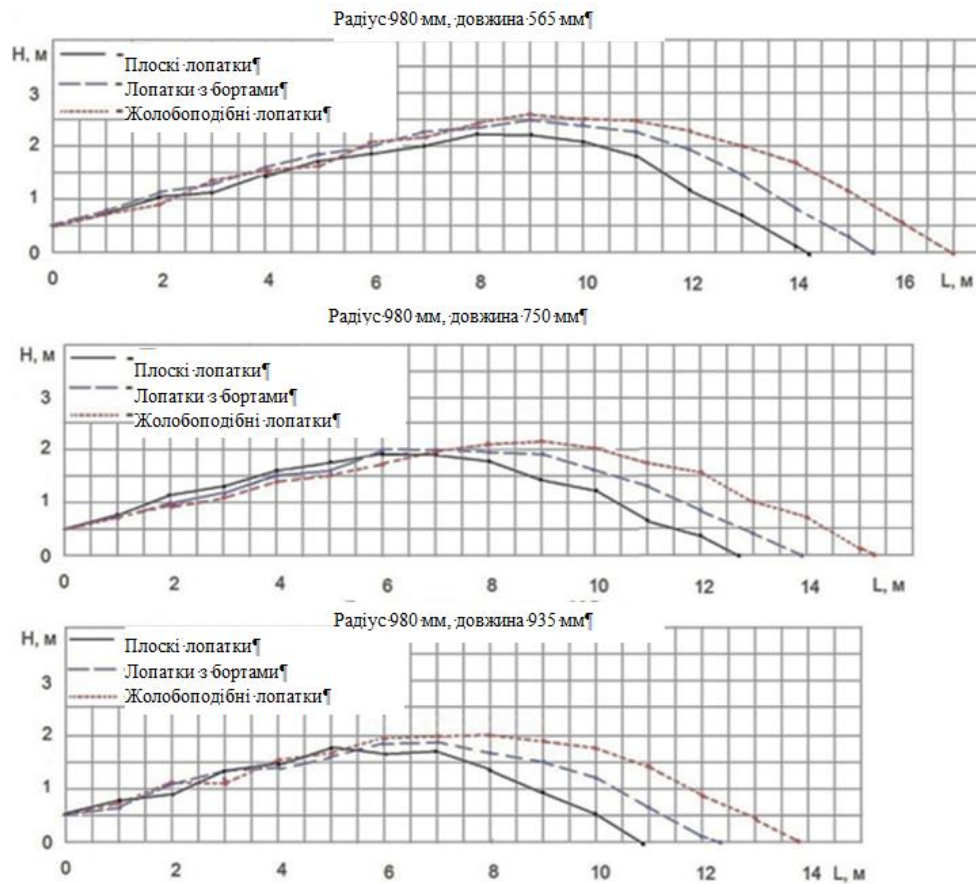


Рисунок 3.14 - Траєкторії польоту часток добрива при використанні дефлектора з радіусом 890 мм.

Випробування дефлектора з радіусом 650 мм показали, що максимальна дальність не перевищує 12 м, а довжина висунення на 935 мм сприяє фронтальному викиду, при якому початкові точки траєкторії є піковими. При такій формі траєкторії дальність польоту не перевищувала 8 м.

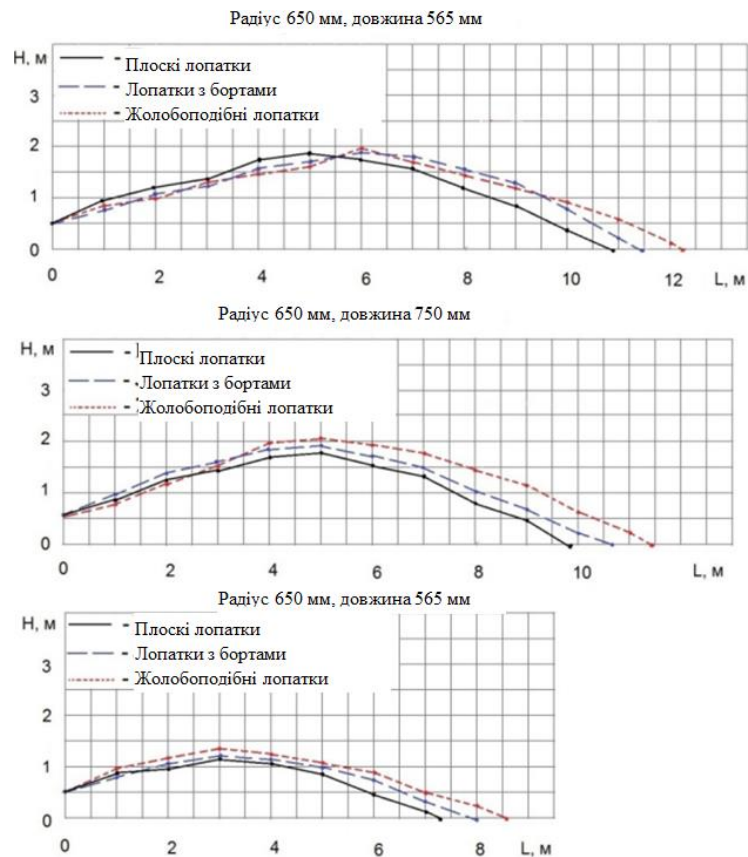


Рисунок 3.15 - Траєкторії польоту часток добрива при використанні дефлектора з радіусом 650 мм

Аналіз усіх кривих траєкторії за основними параметрами, таким як довжина дефлектора, радіус дефлектора і форма лопаток, представили графічно. Ключові критерії, по яких робилася оцінка, - дальність вильоту і висота траєкторії польоту. Для цього визначалися середні з трьох максимальних значень дальності і пікових точок траєкторії для усіх параметрів дефлектора, а отримані залежності представлені на рисунку 3.16.

Розглядаючи Рисунок 3.16, можемо відмітити дві взаємозворотні закономірності:

- при збільшенні радіусу дефлектора дальність і висота траєкторії збільшується;
- збільшення довжини дефлектора призводить до зменшення дальності і пікової висоти траєкторії.

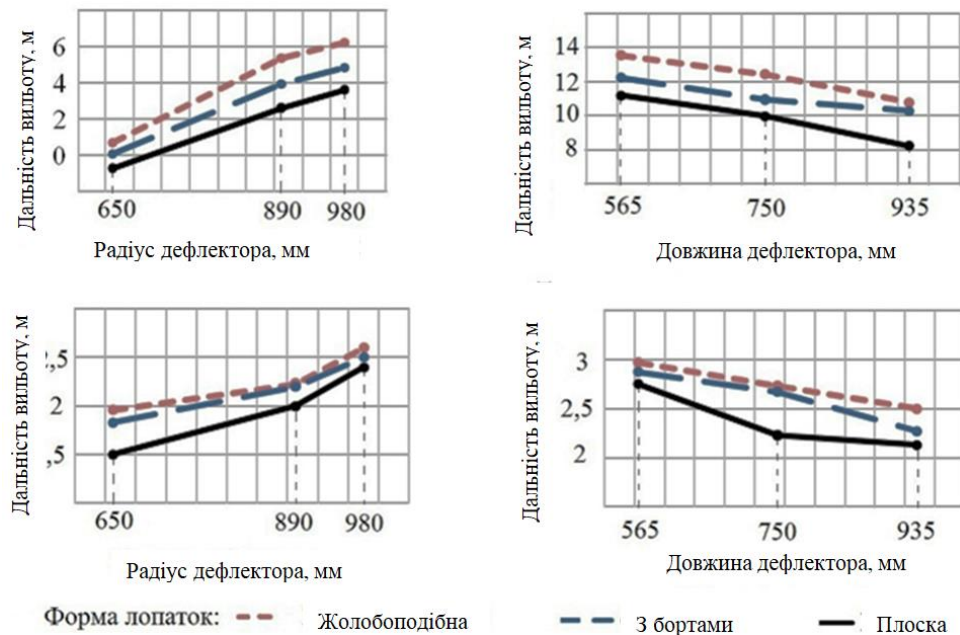


Рисунок 3.16 - Загальна оцінка роботи розкидання при різних параметрах дефлектора

Найбільш раціональними параметрами дефлектора, що дозволяють понизити пікові точки траєкторії, не завдаючи збитку дальності польоту добрив, а відповідно і продуктивності розкидання, являється радіус - 980 мм, довжина 565 мм, форма лопатки - жолобоподібна. При подальшому збільшенні довжини і зменшенні радіусу продуктивність знижується. Пікова висота траєкторії польоту, в даному випадку досягає 2,5 – 3 м, відповідає ущільненню потоку добрив і зменшує вертикальний віяловий розподіл часток.

Проте, відповідно до розділу 2.4 роботи, необхідно було перевірити можливість ще більшого зниження пікових точок траєкторії за допомогою використання дефлектора параболічної форми. Для цього нами був розроблений дефлектор завдовжки 565 мм, форма якого є параболою, що повторює траєкторію руху тіла, кинутого під кутом до горизонту (Рисунок 2.9). В результаті випробування параболічного дефлектора в сукупності з трьома різними формами лопаток, зменшився вертикальний віяловий розподіл легких фракцій гранульованих добрив. Аналогічно випробуванням дефлектора з радіусом 980 мм і жолобоподібними лопатками найменша пікова висота траєкторії польоту досягала 2,8 м (Рисунок 3.17). Крім того, форма дефлектора,

що відповідає траєкторії руху твердого тіла, кинутого під кутом до горизонту, дозволила збільшити дальність вильоту до 18 м.

Фактично форма дефлектора, близька до траєкторії руху тіла, кинутого під кутом до горизонту, збільшує дальність вильоту добрив, при роботі з усіма випробовуваними формами лопаток.

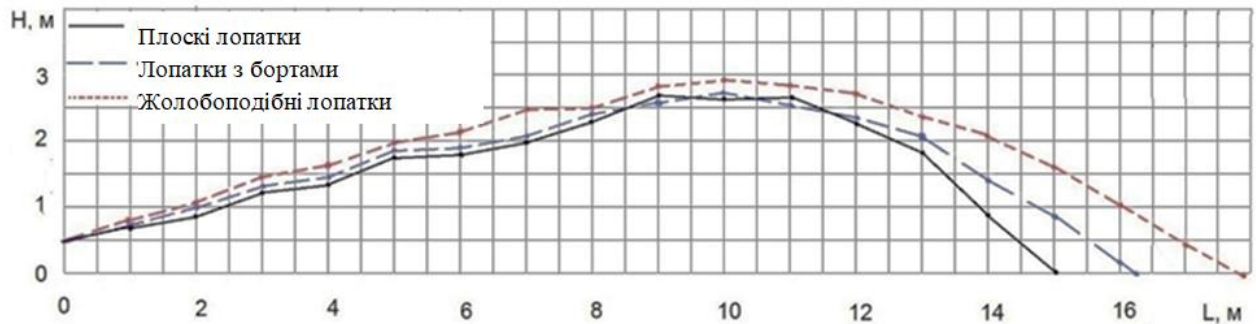


Рисунок 3.17 - Крива траєкторії польоту часток добрива при використанні параболічного дефлектора.

Для пояснення дії дефлектора на рівномірність розподілу добрив в аналогічному порядку визначили міру нерівномірності по довжині смуги розсівання для різних параметрів дефлектора. Випробування проводили на стаціонарі за вживаною раніше методикою, з використанням кюветів. Доза внесення складала 500 кг/га, а довжина смуги розкиду 18м, еталонними, що являються, для жолобоподібних лопаток.

Випробуваннями і обробкою результатів роботи дефлектора з радіусом 980 мм (таблиця П.6; П.7; П.8) показали, що при використанні жолобоподібних лопаток відхилення від фактичної дози доходило до 10 сторону збільшення (Рисунок 3.18). При цьому коефіцієнт варіації знижувався з 9,88 до 9,03 при збільшенні довжини висунення дефлектора, переналадження подання норми внесення 500 кг/га для меншої робочої ширини не робилася, лопатки плоскої форми забезпечили значне перевищення заданої дози внесення по усій смузі розсівання. Як і у випадку з жолобоподібними лопатками, коефіцієнт варіації знижувався з 14,12 до 10,23 прямо пропорційно збільшенню довжини дефлектора.

Аналогічна ситуація виникла при роботі лопаток з бортами. Нерівномірність змінювалася від 11,18 до 9,87.

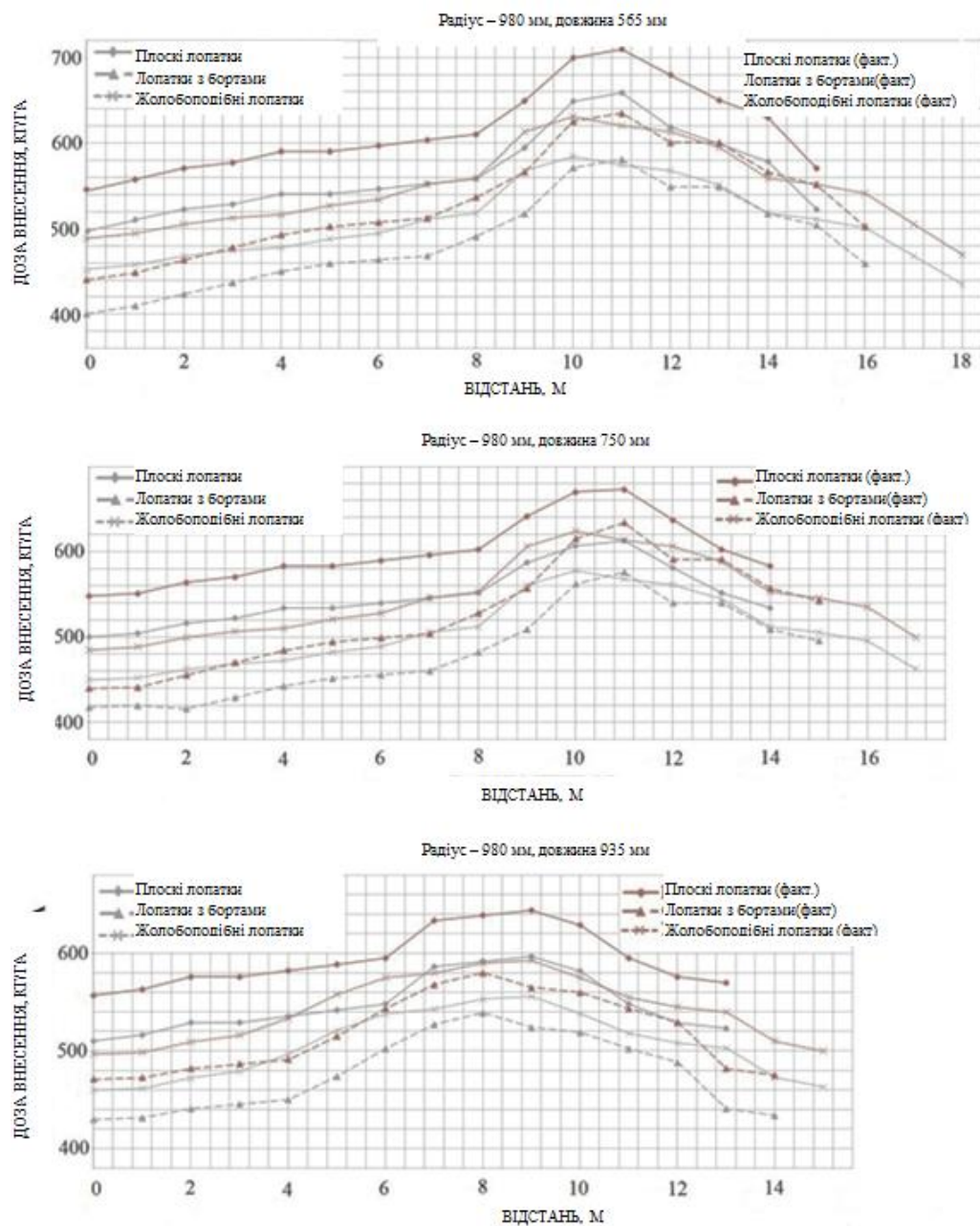


Рисунок 3.18 - Характер розподілу добрив при використанні дефлектора з радіусом 980 мм

Проаналізувавши результат, відмітимо, що допустимий коефіцієнт варіації розподілу добрив, забезпечують жолобоподібні лопатки в усіх положеннях висунення дефлектора, а так само лопатки з бортами при максимальній довжині дефлектора 935 мм.

За результатами досліджень дефлектора з радіусом 980 мм (Рисунок 3.18) закономірність зменшення коефіцієнта варіації з підвищенням довжини дефлектора підтвердилася. При роботі дефлектора завдовжки 935 мм

коефіцієнт нерівномірності залишився в межах 10 для усіх видів лопаток. Найменший відсоток нерівномірності - 9,57 забезпечили жолобоподібні лопатки. На рисунку 3.19 видно, що плоскі лопатки сприяють ще більшому перевищенню заданої дози внесення добрив.

У зв'язку з цим необхідно зробити висновок, що для кожної форми і довжини висунення дефлектора необхідно здійснювати індивідуальне налаштування заданої дози.

Обробка результатів дослідження показала відмінність дефлектора з радіусом 980 мм від попередніх. Воно полягає в зміщенні області перевищення дози на 2 м ближче до розкидання. Дана область співпадає із зоною освіти вертикального віялового розподілення часток добрив.

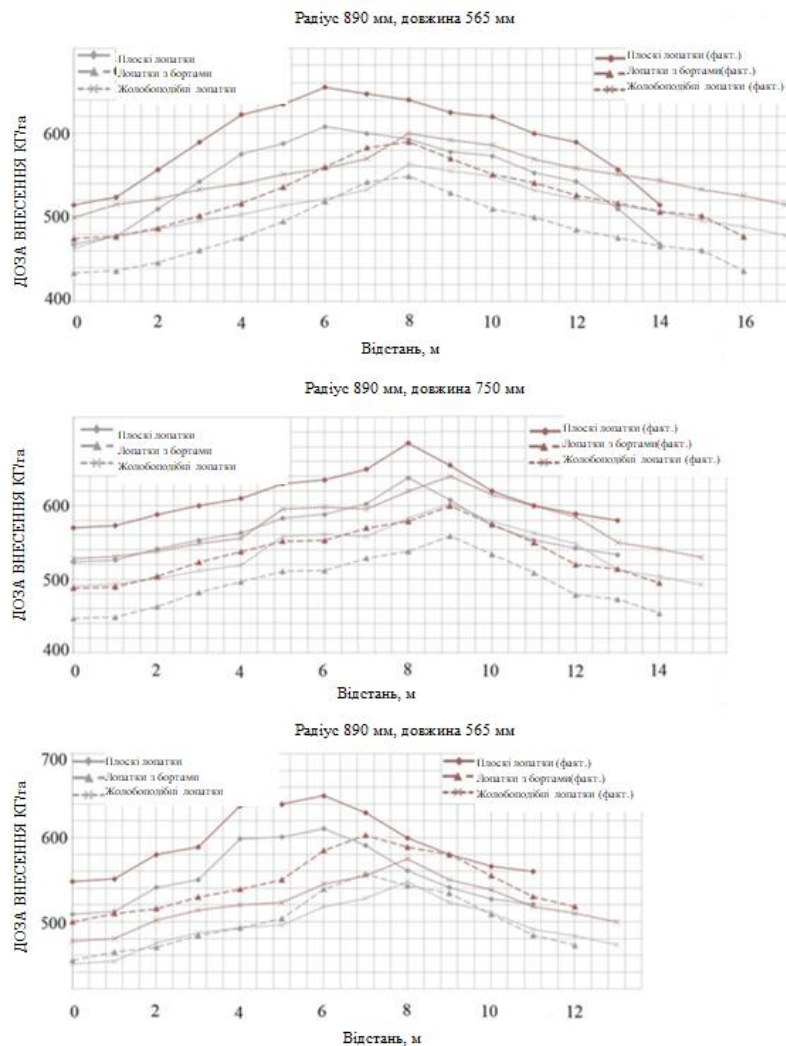


Рисунок 3.19 - Характер розподілу добрив при використанні дефлектора з радіусом 890 мм.

Після обробки результатів, отриманих при роботі розкидання з дефлектором 650 мм, було встановлено, що в силу утворення щільного потоку він забезпечив рівномірне внесення добрив усіма видами лопаток (Рисунок 3.20). Коефіцієнт варіації не перевищив допустимого значення, проте сталося перевищення заданої дози внесення майже в 2 рази.

Необхідно понизити швидкість в межах допустимого значення або зменшувати подання добрив в 2 рази для забезпечення заданої дози, проте це мало ефективно, оскільки робоча ширина при та-ком варіанті складає в середньому 10 м.

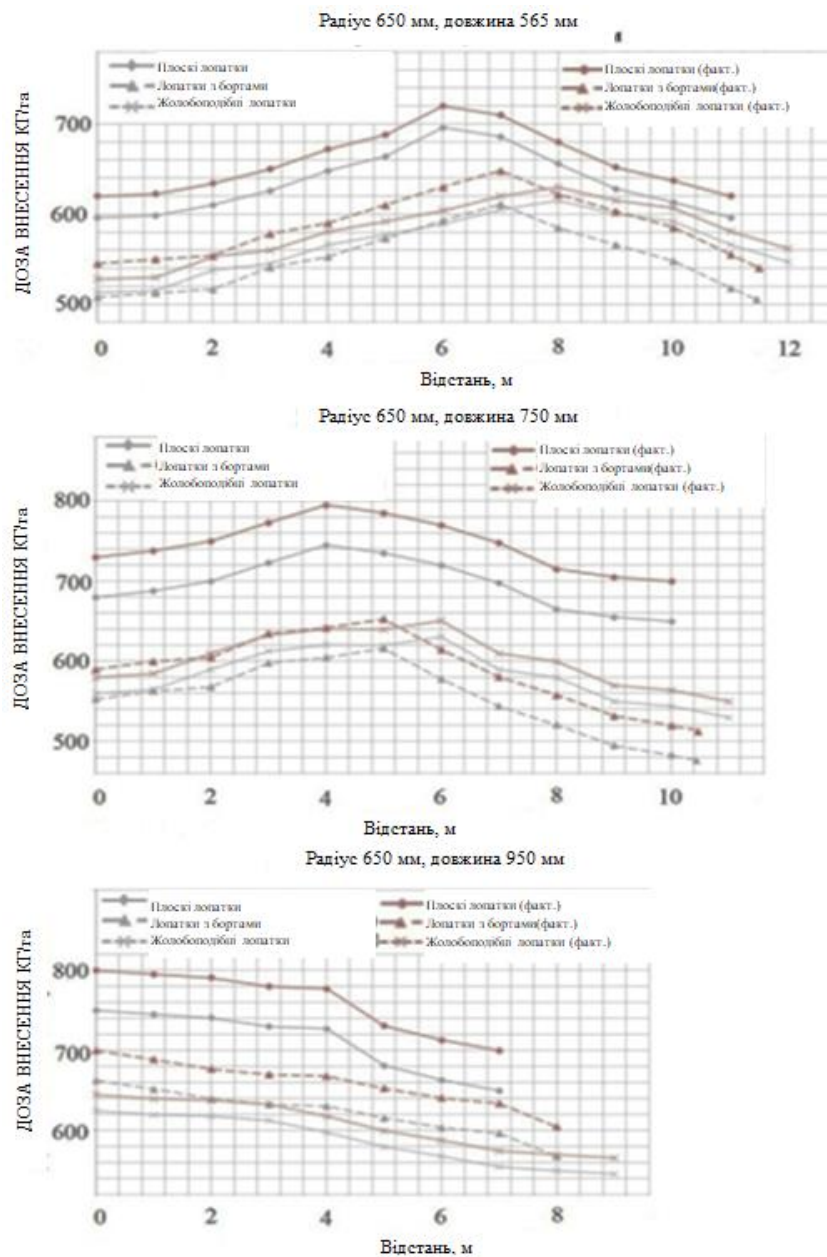


Рисунок 3.20 - Характер розподілу добрив при використанні дефлектора з радіусом 650 мм.

Випробування показали, що збільшення радіусу і довжини дефлектора дозволяє підвищити рівномірність розподілу добрив. Проте, довжина смуги розсівання яку забезпечує такий дефлектор, складає 10-12 м. Розкидання з такою робочою шириною є мало продуктивним, а так само не відповідає сучасним машинам для внесення добрив, що забезпечує робочу ширину до 25м.

У перспективі для забезпечення більшої довжини смуги розсівання необхідно збільшувати частоту обертання робочого органу, що може істотно підвищити відсоток дроблення, витрати праці і грошових коштів.

Аналіз траєкторій польоту з використанням дефлекторів різної форми, а саме параболічною, дозволив добитися підвищення дальності до 18 м, одночасно зменшивши вертикальний віяловий розподіл (Рисунок 3.17). Тому необхідно було перевірити забезпечення допустимої рівномірності при роботі з дефлектором цієї форми і довжини 565мм .

Результати випробування виявилися аналогічними дослідженням дефлектора з радіусом 980мм (таблиця П.15). Перевагу так само отримали жолобоподібні лопатки (Рисунок 3.21). Коефіцієнт варіації для них со-ставил 9,83 а відхилення від заданої дози - 8 .

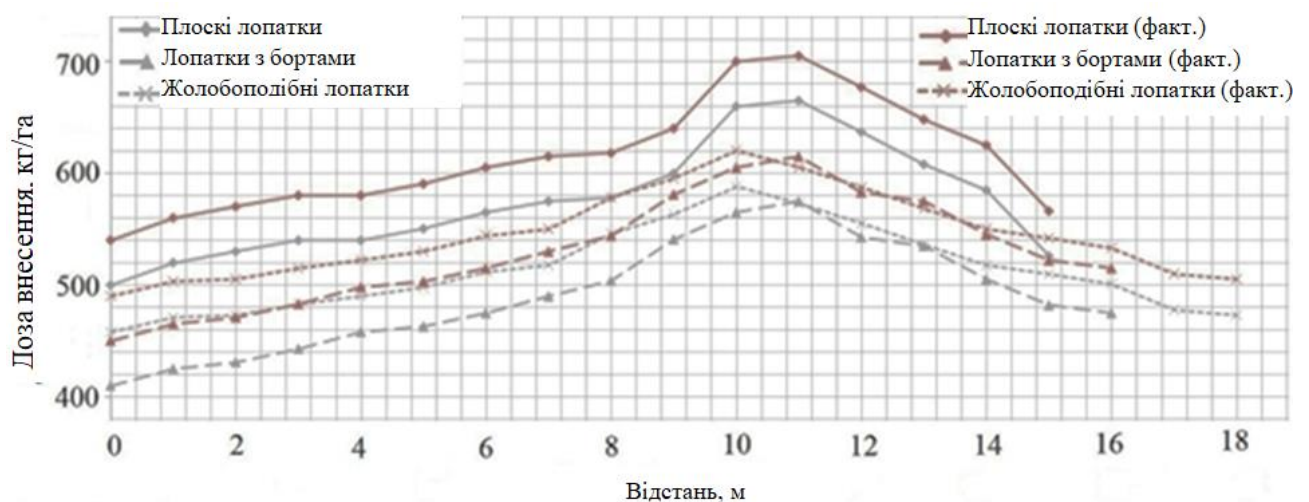


Рисунок 3.21 - Характер розподілу добрив з використанням параболічного дефлектора завдовжки 565мм.

У результаті найбільш ефективним, в плані поєднання дальності і рівномірності розподілу добрив, є розкидання з параболічним дефлектором завдовжки 565 мм.

За результатами отриманим з рекомендованим дефлектором і жолобоподібними лопатками, за допомогою введення експериментальних даних в програму Microsoft Office Excel, побудували полігон розсівання добрив. Мінімальна ширина смуги розсівання була отримана при роботі з жолобоподібними лопатками, вона склала 1,1м, тоді як плоскі лопатки забезпечили ширину в 1,8 м, а лопатки з бортами - 1,4м.

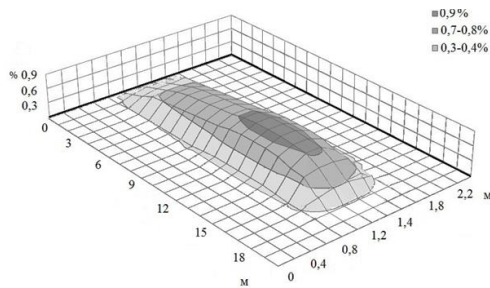


Рисунок 3.22 - Полігон розсівання добрив жолобоподібними лопатками.

Така обставина дозволяє ще раз підтвердити явище ущільнення потоку добрив, що викидаються, жолобоподібними лопатками.

Після знаходження найбільш раціональних параметрів дефлектора для їх підтвердження зробили перевірку рівномірності розподілу гранульованих добрив в русі. Розкидання в агрегаті з трактором МТЗ- 82 рухалося із швидкістю 5,55м/с, був налаштований на дозу 500 кг/га і робоча ширина внесення 18м. Внесення здійснювалося з поперемінним використанням раніше досліджених лопаток різних форм, в триразовій повторності. Після розрахунків, проведених в програмі Micro - soft Office, побудували епюри розподілу часток органомінеральних добрив (Рисунок 3.23).

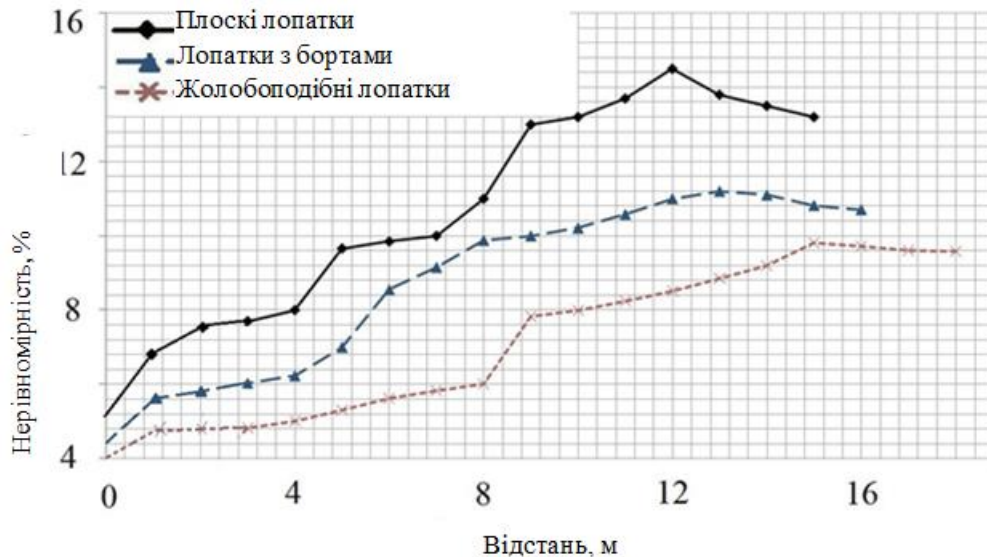


Рисунок 3.23 - Епюри розподілу часток добрива при роботі з різними видами лопаток.

В результаті коефіцієнт варіації для плоских лопаток склав 14,5 для лопаток з бортами - 11,2 для жолобоподібних - 9,81. Дослідження розкидання в русі у черговий раз підтвердили, що робота його з жолобоподібними лопатками забезпечує потрібну агротехнічну рівномірність. Для забезпечення однакової норми внесення перекриття в стикових проходах розкидання складає в даному випадку 1м, тобто 5т загальної ширини внесення і задовольняє агрономічним.

У перспективі, використовуючи дефлектор параболічної форми, можна добитися ще точнішого коригування траєкторії польоту часток добрива за допомогою установки заслінки, що коригує, в його кінцевій точці. Ця заслінка може мати схожу з козирком силосопроводу кормового комбайна конструкцію, і регулюватися за допомогою тягового троса.

Після перевірки рівномірності внесення добрив, із застосуванням методики, визначили продуктивність експериментального розкидання за годину змінного часу. В силу того що експериментальна машина є низькорамною, вона здатна здійснювати якісне, таке, що відповідає агрономічним, внесення добрив на швидкостях до 6 м/с. При швидкостях більше 6 м/с розкидання здатне працювати тільки після перенастроювання подачі, на полях із заздалегідь підготовленим рельєфом.

Продуктивність машини знаходиться в прямій залежності (рисунок 3.24) від швидкості руху агрегату.

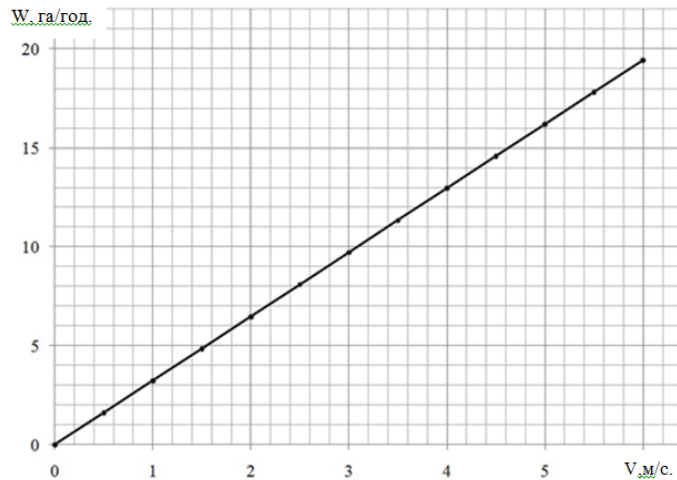


Рисунок 3.24 - Зміна продуктивності залежно від швидкості руху агрегату

З урахуванням відхилення від фактичної дози внесення при роботі низкорамного розкидання в програму Microsoft Office Excel була занесена універсальна формула, що автоматично визначає необхідну швидкість руху агрегату, необхідну для дотримання заданої дози внесення кг/га (Рисунок П.11). У програмі є присутнім два поля: в перше вводиться необхідна доза внесення кг/га, а в друге продуктивність робочого органу кг/з (4, 5 або 6 кг/із залежно від розміру встановленого завантажувального вікна). Після введення даних в поле нижче висвічується необхідна робоча швидкість, в м/с і км/год.

3.5. Експериментальна перевірка стабілізації розкидання на схилах.

Якість роботи кузовних машин для внесення органічних і мінеральних добрив суцільним розкидним способом оцінюється шириною і нерівномірністю розподілу матеріалу по поверхні поля. Практикою і раніше проведеними польовими дослідженнями встановлене, що при роботі на пересіченій місцевості величина цих показників не відповідає агротехнічним вимогам.

Нині немає радикальних способів повного усунення негативного впливу пересіченості рельєфу на роботу сільськогосподарських агрегатів. При роботі уперек схилу стійкість рівнинного трактора і сільгоспмашини, внаслідок

перерозподілу ваги, погіршується. Провідні колеса через це мають різний коефіцієнт буксування, що знижує тягові показники машини.

Величина нахилу робить значний вплив на прямолінійність руху і керованість агрегату внаслідок відведення і сповзання, що викликає зниження продуктивності і погіршення умов праці оператора.

Широкому виробничому впровадженню ґрунтозахисної технології обробітку сільськогосподарських культур заважає відсутність машин і знарядь, що дозволяють якісно виконувати технологічні операції поперек схилу.

Для розширення меж застосування серійних машин і поліпшення якісних показників їх роботи, доцільно застосовувати стабілізуючі пристрої.

Аналіз патентної літератури дозволив виявити основні, на цьому етапі, напрями в розробці стабілізуючих пристроїв : напрям уздовж бажаної колії; збереження прямолінійності руху; корекція руху агрегату по ухилу; компенсація бічної складової сили ваги агрегату.

Усім цим напрямам властиві наступні недоліки: стабілізація машин здійснюється шляхом перенесення бічної складової сили ваги зі знаряддя на трактор; значне збільшення тягового опору; значне погіршення керованості; неможливість їх застосування на серійних машинах без корінної переробки останніх; відсутність протиерозійної спрямованості в конструкції машин; значні складнощі в застосуванні пропонованих пристроїв.

Ці особливості властиві і для кузовних розкидань для поверхневого внесення добрив. При русі розкидання в горизонтальній площині поля добрива, що рухаються по стрічковому транспортеру, рівномірно розподіляються по ширині потоку і завантажувального вікна ротора.

Рух розкидання в поперечному напрямі схилу, незалежно від дорожнього просвіту, супроводжується зміщенням вантажу, що рухається по транспортеру шару, у бік нахилу, відбувається часткове збивання добрив на стінки кузова, а подальше його переміщення відбувається не лише по днищу, але і по стінці. Так, при кутові нахилу борту кузова - 50° і кутові природного нахилу матеріалу - 34° , витікання добрив по борту відбуватиметься на схилах до 6° .

Подальше збільшення кута схилу приведе, фактично, до утворення мертвої зони. Це веде до зміни координат центру тяжіння, зменшенню дози, що поступає, до завантажувального вікна (до 34 а схилах 6-13°) і підвищеної нерівномірності розподілу добрив по поверхні поля. Результати досліджень показали, що для збереження агротехнічних вимог необхідно використовувати стабілізатор бічного крену в умовах землеробства схилу.

Дослідна установка (Рисунок 3.25; 3.26) по вирівнюванню просторового положення розкидання на схилах з датчиком маятникового типу складається з маятника, гідророзподільника і двох гідроциліндрів, сполучених з піввісями опорних коліс. Працює пристрій таким чином: При бічному нахилі кузова, на кут що відповідає куту схилу, маятник, зберігаючи вертикальне положення, зміщує відповідний золотник гідророзподільника і включає гідросистему в роботу.

Гідроциліндр нижнього по схилу колеса, повертає колінчасту стойку півосі з опорним колесом доти, по-ка маятник не займе вертикальне положення і не пересуне золотник гідророзподільника в нейтральне положення. Отже, при кутах схилу до 15°, що визначають характеристику землеробства схилу, кузов розкидання завжди займатиме горизонтальне положення, а стрічковий транспортер забезпечить рівномірне подання добрива, що дозується.

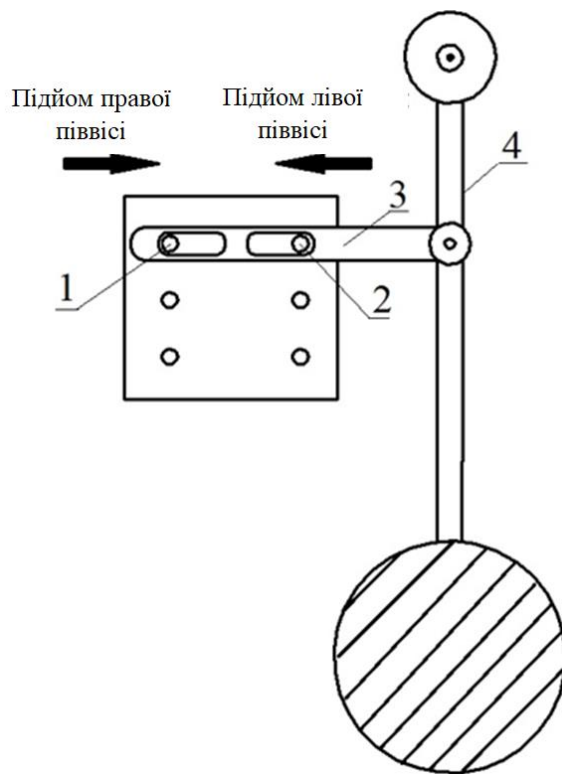


Рисунок 3.25 - Схема включення гідроциліндрів: де 1 - важіль включення правого гідроциліндра; 2 - важіль включення лівого гідроциліндра; 3 - золотник гідророзподільника з пазами; 4 - маятник.



Рисунок 3.26 - Дослідний зразок стабілізуючого пристрою: де 1 - гідророзподільник; 2 - трубопроводи; 3 - золотник гідророзподільника; 4 - важіль маятникового типу; 5 - вантаж.

Для випробування агрегату виділили типову для зони ділянку площу, достатньою для виконання робіт з кутами схилу від 0 до 13°. Показники роботи машини на схилах порівнювали з контрольними заїздами на горизонтальній ділянці.

Польові випробування низькорамного розкидання в агрегаті з трактором МТЗ- 82 проводили з метою виявлення впливу кута схилю на характеристику зони внесення добрив. Крім того, розглядали взаємодію структури і характеру руху агрегату по схилу, ходовій частині, двигуна та ін. на траєкторію руху агрегату.

На початковому етапі кут нахилу кузова заміряли за допомогою рівня і встановлювали в горизонтальне положення. Потім повертали до положення кута схилю і фіксували його відповідно до заздалегідь відтарованої шкали, що знаходиться під вантажем маятника (Рисунок 3.27). В результаті кут викиду добрива зберігався рівним 35° .

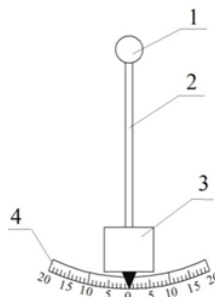


Рисунок 3.27 - Маятник з шкалою: де 1 - точка підвісу; 2 - маятник; 3 - вантаж; 4 - шкала.

Надалі, з метою автоматичного регулювання системи вирівнювання, встановили датчик маятникового типу з хлипаково-золотниковим розподільником Р-75В2 [48] (Рисунок 2.10). Враховуючи робочий тиск спрацьовування хлипака ($P=110 \text{ кг/см}^2$) і діаметр золотника ($d=25,5\text{мм}$) сила для переміщення золотника складає 243Н . Виходячи з цих характеристик визначили: вага маятника - $19,5 \text{ кг}$; l_1 з урахуванням ходу золотника - $0,15\text{м}$; $l_2 = 0,635 \text{ м}$. При цьому точку підвісу маятника бажано розташувати на миттєвій осі повороту розкидання.

Для виявлення траєкторії польоту і дальності вильоту добрив, випробування проводили на стаціонарі, з раніше дослідженими формами лопаток. При досліджах в русі, ділянка для випробування, після прибирання зернових культур, розбивали на облікові ділянки, рівні двократній ширині захоплення і контрольною довжиною 200м . Для розгону агрегату залишали

ділянки завдовжки не більше 20 м. Тривалість повторності досліду фіксувалася секундоміром.

Встановлено, що ці регулювання трохи змінили характер розподілу добрив. Так, з'ясувалося, при викиді добрив вгору по схилу, без регулювання кута нахилу вивантажного вікна, розкидання здатне працювати з прийнятною продуктивністю тільки на схилах до 8° . При цьому довжина смуги розсівання добрив зменшилася в середньому на 2 м. Тоді як при викиді добрив вниз по схилу до 12° , дальність збільшилася на 0,8 - 1,1 м (Рисунок 3.28).

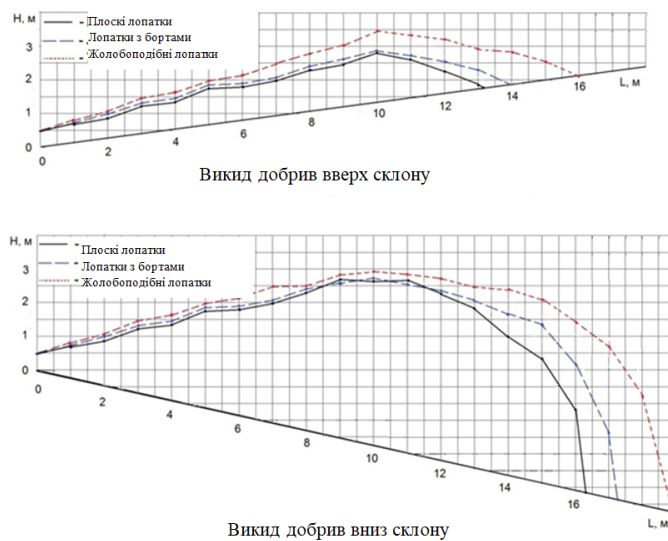


Рисунок 3.28 - Траєкторія польоту добрив при використанні стабілізуючого пристрою.

Найбільший ефект від застосування датчика маятникового типу отриманий на схилах більше $3-4^\circ$. В перспективі, для забезпечення найбільшої продуктивності при внесенні добрив вгору по схилу, потрібний розібрати пристрій, що дозволяє змінювати положення кута установки вивантажного вікна від 35 до 50° .

Якість роботи розкидання із стабілізатором в русі, перевіряли на трьох швидкісних режимах: 2,78; 4,17; 5,55 м/с. Аналіз отриманих коливань траєкторії агрегату відносно осі руху залежно від кута схилу і швидкості руху показує, що зі збільшенням швидкості руху агрегату в стаціонарному випадковому процесі коефіцієнт динамічності збільшується, процес приймає хаотичний характер, частоти, виділяються менше, криві спектральних площин знижуються [8, 14]. Тобто незалежно від крутизни схилу підвищення швидкості

руху супроводжується збільшенням коливань траєкторії руху агрегату, причому у розкидання без стабілізатора дещо більше, ніж з ним. Так само впливає на траєкторію руху агрегатів збільшення крутизни ділянки.

У зв'язку з непристосованістю навісної системи трактора для роботи із стабілізуючими пристроями, дані по куту коливання рами машин мають великий розкид. Тому зробити об'єктивний аналіз не представляється можливим. Орієнтовно можна сказати, що середнє значення кута повороту рами відповідає куту схилу залікової ділянки.

Проведені досліді також показали, що зі збільшенням швидкості руху розкидання в робочому положенні кузова (підведеному на 0,32м) на схилах більше 4...5° стійкість його погіршується. Це пояснюється тим, що водій практично не може забезпечити напрям строго по прямій і при роботі агрегат рухається зазвичай по кривих різного радіусу. При цьому на схилі до бічної складової сили ваги додається бічна сила інерції агрегату, яка збільшується з підвищенням швидкості руху.

Усе це сприяє більшому відхиленню машини від заданої траєкторії і погіршенню якості виконуваної роботи.

Так само збільшення крутизни схилу впливає на траєкторію руху, тягові характеристики і продуктивність агрегату (Рисунок 3.29). Максимальну продуктивність в силу найбільшої робочої ширини внесення, показує розкидання з жолобоподібними лопатками. При підвищенні кута схилу продуктивність падає.

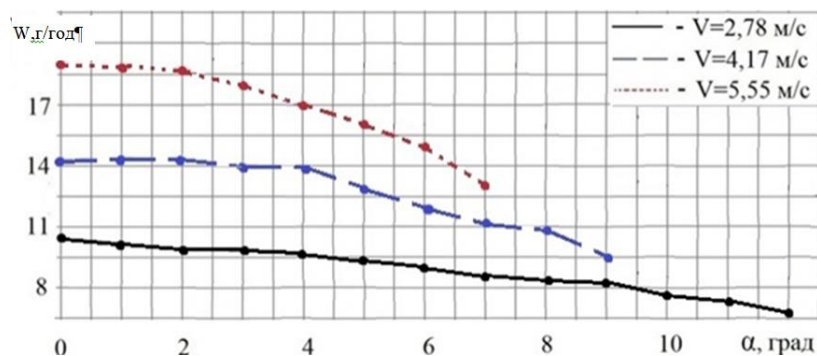


Рисунок 3.29 - Зміна продуктивності (W) розкидання від кута схилу (α) і швидкості руху (V).

Проведені дослідження з кузовним низькорамним розкиданням, забезпеченим стабілізуючим пристроєм, вказують на цілеспрямованість і ефективність його застосування на схилах до 12° з універсальними тракторами типу "Білорусь", а на схилах більшої крутизни - з тракторами крутосклонної модифікації [111]. Крім того, цей стабілізуючий пристрій є універсальним і з невеликими конструктивними змінами може бути успішно застосоване практично для усіх причіпних сільськогосподарських машин.

Питання рівномірного внесення добрив на стикових проходах агрегату можливо успішно вирішити із застосуванням навігатора і GPS.

Висновки по розділу

1. Основним показником фізико-механічних властивостей використовуваних добрив являється гранулометричний склад.
2. Відповідно до теоретичних досліджень форми лопатки і кута її установки підтверджена ефективність використання жолобоподібної лопатки з кутом установки вперед на 12° . Ця конфігурація забезпечує найменший відсоток дроблення - 5 найбільшу швидкість вильоту частки (42 м/с).
3. За результатами польових дослідів встановлена перевага використання розкидання з жолобоподібними лопатками і дефлектором параболічної форми. Ці параметри дозволяють дотриматися необхідного коефіцієнта варіації - 10 при цьому сприяють зменшенню верти-кального віялового розподілу, ущільненню потоку, що викидається, і зниженню пікових точок траєкторії польоту часток добрива до 2,8 м, не зменшуючи при цьому робочу ширину розкидання - 18 м.
4. Розроблений і випробуваний стабілізатор бічного крену показав доречне його використання на схилах до 12° в агрегаті з тракторами загального призначення.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз травмонебезпечних факторів у процесі розкидання мінеральних добрив.

У процесі розкидання мінеральних добрив, внаслідок порушення правил експлуатації та інструкцій з техніки безпеки, помилок обслуговуючого персоналу, несправного технічного стану машин, виникають небезпечні фактори, які можуть призвести до травмування:

- під час перекидання машин на нерівних частинах дороги, поворотах, на ухилах більше 20°, а також з мостів;
- під час наїзду машин на людей, які відпочивають у невстановлених для цього місцях: під машинами, причепами;
- під час травмування деталями, що обертаються, на причепах транспортера, розкидних дисків, ходової частини;
- під час захоплення одягу, взуття, частин тіла людини відкритими робочими органами чи їх приводами (транспортера, розкидачем дисків під час очищення і обслуговування), карданною передачею, маховиком;
- від механічної дії рухомих частин машин і механізмів, а також використання несправного інструменту.

Безпека праці забезпечується:

- виконанням правил технічної експлуатації машин і механізмів;
- дотримання вимог і правил допуску обслуговуючого персоналу до роботи;
- правильним регулювання сидінь по масі і росту машиніста;
- організацію безпечного переведення обслуговуючого персоналу на місце роботи і назад;
- виконання чинних правил з техніки безпеки, пожежної безпеки. 35

4.2. Розроблення моделей травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час розкидання мінеральних добрив

Під час виконання технологічного процесу розкидання мінеральних добрив виникає значна кількість небезпечних (аварійних та травмонебезпечних)

ситуацій з наслідками у вигляді аварій і травм працюючих. Серед ситуацій, які спостерігаються, можна виділити найбільш типові – це перекидання трактора, транспортних засобів, наїзди транспорту на відпочиваючих у полі людей, дорожньо-транспортні пригоди, захват одягу або частин тіла рухомими деталями машин, падіння людей з трапів, драбин, транспортних засобів, удушення людей сипкими матеріалами (мінеральними добривами, ґрунт), опіки, ураження струмом при пошкодженні ізоляції тощо.

У процесі формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події (явища), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події [4]. У результаті на схемах процесів пробігу випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими, показу причинно-наслідкових зв'язків ми одержимо логічні моделі процесів, що вивчаються. Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статично залежними або незалежними. Статично залежні події – це такі, коли поява наступної неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, можуть зв'язатися незалежно одна від одної, то такі моделі є статично незалежними. Як правило, у таких моделях незалежно випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу подій). На рис.4.1. зображено моделі формування і виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій під час виконання процесу розкидання мінеральних добрив. В результаті аналізу отриманої моделі пропонується наступні заходи запобігання небезпечних ситуаціям:

- 1) організувати постійний контроль за трактором перед виходом у рейс;
- 2) не допускати до роботи трактор без гальм;

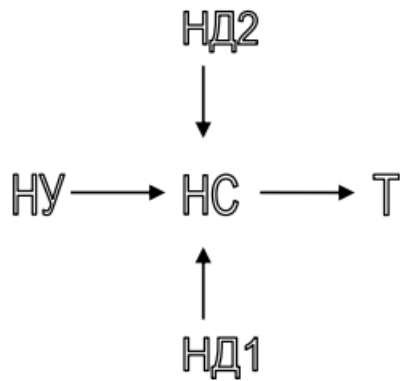


Рис. 4.1. Модель процесу формування та виникнення травмонебезпечної ситуації під час експлуатації трактора без гальм: НУ – небезпечна умова (трактор експлуатується без гальм); НД1 – небезпечна дія (перевищення швидкості руху); НД2 – небезпечна дія (різкий поворот); НС – перекидання трактора - небезпечна ситуація); Т – травма, аварія.

4.3 Техніка безпеки при застосуванні різних видів мінеральних добрив

При роботі з добривами всі робітники повинні чітко дотримуватися правил техніки безпеки і охорони праці.

До роботи з добривами допускаються особи яким виповнилося 18 років. Всі робітники (спеціалісти, механізатори, вантажники тощо) перед початком роботи з добривами повинні пройти інструктаж з техніки безпеки і охорони праці.

Правила техніки безпеки і санітарні правила при роботі з добривами вивішуються в приміщенні складу.

Відстань від складів збереження мінеральних добрив і пестицидів до житлових і суспільних будинків і підприємств по переробці і збереженню харчових продуктів повинна бути не менш 500 м, а до об'єктів, не пов'язаних з постійним перебуванням людей (за винятком підприємств по переробці і збереженню харчових продуктів), - 200м. Склади, призначені для збереження мінеральних добрив, розташовують від житлових і суспільних будинків на відстані не менш чим 200 м.

Під час роботи з добривами на складі і за його межами всі робітники повинні надіти рекомендований для даного виду роботи спецодяг: комбінезон, рукавиці, окуляри, респіратори або (при роботі з аміачною селітрою) протигази.

Під час зберігання аміачної селітри необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки.

Не дозволяється її зберігання насипом за межами складу і сумісно з горючими речовинами (торфом, соломою, нафтопереробними продуктами і ін.). У складі, де зберігають аміачну селітру, не дозволяється курити, користуватись відкритим полум'ям і приборами для обігріву.

При виникненні пожежу полум'я гасять лише водою. При гасіння пожежу необхідно користуватися протигазом, щоб уникнути отруєння окисами азоту, що виділяються.

Під час внесення добрив не дозволяється знаходитись поряд з робочими органами машин, а при роботі дискових розкидачів ближче 50—80 м від них. Завантаження машин добривами слід проводити лише при повній її зупинці.

Всі приводи машини повинні бути закриті щитами. Змашування і регулювання робочих органів слід проводити лише при повній зупинці машини і виключеним двигуном трактора. Не дозволяється сидіти на машині і знаходитись між трактором і машиною при транспортуванні і внесенні добрив. Швидкість руху машин при внесенні добрив не повинна бути вища встановленої технічними умовами. В транспорті з добривами заборонена перевіз людей, харчових продуктів, питної води і предметів домашнього використання.

При транспортуванні незатарених сипучих мінеральних добрив з метою запобігання їхніх втрат кузова автомашин і причепів повинні бути герметизовані й укриті брезентом. При безперервній роботі з добривами рекомендується робити 5-ти хвилинні перерви через кожні півгодини роботи в респіраторі.

По закінченню роботи слід прийняти душ або ретельно вимитися з милом. На місці роботи постійно повинен бути запас чистої води і аптечка.

При потраплянні добрив в очі слід промити їх великою кількістю чистої води і звернутися в медпункт, а при опіку - промити обпечені місця сильним напором води, обробити 5%-ним розчином спирту і накласти марлеву пов'язку.

Чітке дотримання правил техніки безпеки і необхідних санітарних правил є непорушною умовою правильної організації праці при роботі з добривами.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АГРЕГАТУ НА ВНЕСЕННІ ГОТОВИХ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Економічна оцінка агрегату в роботі була проведена, на полях у цінах, сформированих на період 2021 - 2022 р. Для порівняння використали машину - МВУ- 5, яка за принципом роботи, металоємності і об'єму кузова співпадає з досліджуваною низькорамною машиною.

Таблиця 5.1 - Початкові дані, необхідні для визначення економічної ефективності

Показник	МВУ- 5	Низькорамне розкидання
Завантаження машини на внесенні ОМУ, ч/рік.	650	650
Вартість машини грн.	467 000	485 000
Марка і тяговий клас трактора	МТЗ- 82 (1.4)	
Вартість трактора грн.	1 200 000	
Продуктивність розкидання, га/ч.	13	19,28
Витрата палива, кг/га.	3,6	3,24
Кількість обслуги, чол.	1	1

Виходячи з даних, вартість розкидання МВУ- 5 на 2021 р. складає 46700 грн. По металоємності, вузлам і деталям досліджена і базова машини схожі, але в низькорамному розкиданні додаткові витрати доводяться на купівлю і монтаж двох гідроциліндрів, колінчастої осі і стабілізуючого пристрою. Виходячи з цього, вартість дослідного зразка склала 485 000 грн. В якості енергетичного засобу приймаємо трактор МТЗ- 82, тягового класу 1.4, вартість якого на 2021 р. склала 1 200 000 грн.

Для того, щоб наочно показати ефективність, понизити витрати праці і грошових коштів при використанні низькорамної машини для внесення гранульованих органо-мінеральних добрив, основні показники економічної ефективності представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності.

Показники	Значення		Економія, %
	МБУ -5	досліджений розкидач	
Витрати на амортизацію, грн/га	9,23	6,47	30
Витрати на ГММ грн/га	29,97	28,53	4
Витрати на ТО і ремонт, грн/га	6,07	4,25	30
Витрати на оплату праці, грн/га	10,52	7,09	33
Капіталовкладення, грн/га	55,26	38,7	30
Приведені витрати, грн/га	63,78	52,15	18
Річний економічний ефект, грн	145747		

Висновки по розділу

1. Економічна оцінка роботи експериментального розкидання на внесенні органо-мінеральних добрив показала перевагу його в продуктивності на 33% перед аналогічною серійною машиною.

2. Річний економічний ефект від застосування досвідченого низькорамного розкидання склав 145 747 грн.

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень зробили наступні висновки і рекомендації до виробництва.

ВИСНОВКИ

1. При внесенні гранульованих органо-мінеральних добрив доцільно застосування кузовного низькорамного розкидання з пневмомеханічними робочими органами на горизонтальній осі обертання.

2. На підставі теоретичних досліджень і експериментальної перевірки встановлені наступні параметри розкидання : радіус ротора - 400 мм; частота обертання ротора - 800 хв - 1; геометричні розміри лопаток - 200 х 400 мм; кут установки лопаток - 12°; форма лопаток - жолобоподібна; кількість лопаток - 5 шт; кут нахилу вивантажного вікна ротора до горизонту - 35°.

3. Стійке транспортування часток добрива, виключення вертикального віялового розподілу і збільшення щільності потоку добрив, що викидаються, досягається установкою дефлектора параболічної форми, довгої 565 мм.

4. Експериментальна перевірка розкидання показала, що при подачі добрив 5 кг/с. забезпечується доза внесення від 300-2000 кг/га., при робочій ширині внесення до 18 м. Нерівномірність розподілу - 9,81 можливим перекриттям суміжних проходів до 1 м.

5. Продуктивність агрегату залежно від норми внесення, регульована в основному швидкістю руху агрегату, досягає 19,28 га/год.

6. При використанні машини в умові пересіченого рельєфу місцевості, на схилах до 12°, потрібна установка кузова в горизонтальне положення з використанням стабілізуючого облаштування бічного крену.

7. Річний економічний ефект від впровадження експериментального розкидання склав 145 747 грн.

Використана література

1. Адамчук В. В. Аналіз рівнянь розгону частинки мінеральних добрив відцентровим розсіювальним органом. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Зб. наук. пр. та випробування УкрНДПВТ ім. Погорімого. 2004. С. 327–333.
2. Адамчук В. В. Дослідження інтенсивності сходження мінеральних добрив з відцентрових розсіювальних робочих органів. Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. 2008. № 12, т. 2. С. 207-217.
3. Астрелін І. М. Теорія процесів виробництва неорганічних речовин / І. М. Астрелін, А. К. Запольський, В. І. Супрунчук, Г. М. Прокоф'єва. — Київ : Вища школа, 1992. — 399 с.
4. Астрелін І. М. Технологія фосфоровмісних добрив, кислот і солей : підручник / І. М. Астрелін, Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О. Я. Лобойко, Г. І. Гринь та ін. — Харків : НТУ «ХПІ», 2011. — 288 с.
5. Вакал С. В. Сучасний стан фосфатно-тукової промисловості України / С. В. Вакал, І. М. Астрелін, М. О. Трофименко, О. С. Золотарьов. — Суми : «Собор», 2005. — 80 с.
6. Волошин М. Д. Електрохімічна технологія неорганічних речовин / М. Д. Волошин, А. В. Іванченко. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. — 325 с.
7. Волошин М. Д. Розрахунки в технології нітратних та фосфатних добрив / М. Д. Волошин, Л. О. Зеленська, І. М. Астрелін. — Дніпропетровськ : Системні технології, 2003. — 314 с.
8. Волошин М. Д. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод: монографія / М. Д. Волошин, О. Л. Щербак, Я. М. Черненко, І. М. Корнієнко. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. — 230 с.
9. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва : навчальний посібник. Тернопіль : ТДПУ, 2005. 228 с.
10. Гришин. В. Вимоги, пропоновані до засобів механізації тваринництва.

"Економіка сільського господарства", 1968, № 5.

11. Гурський Д. С. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том II. Неметалічні корисні копалини / Д. С. Гурський, К. Ю. Єсипчук, В. І. Калінін, Є. О. Куліш та ін. — Київ—Львів : «Центр Європи», 2006 р. — 552 с.

12. Гурський Д. С. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том I. Металічні корисні копалини / Д. С. Гурський, К. Ю. Єсипчук, В. І. Калінін, Є. О. Куліш та ін. — Київ—Львів : «Центр Європи», 2006. — 785 с.

13. Даниленко А. С., Горлачук В. В., В'юн В. Г., Песчанська І. М., Сохнич А. Я. Управління відтворенням і збереженням родючості ґрунту у контексті сталого розвитку природокористування. Миколаїв: Вид-во ПП "Іліон", 2003. 39 с.

14. Демиденко И. М. Производство аммиачной селитры и карбамида / И. М. Демиденко, Н. А. Янковский, Б. И. Мельников. — Горловка : ОАО «Стирол», 2007. — 364 с.

15. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Машина для приготування і внесення добрив. Харків : Око, 2002. Т. 1, ч. 3. 352 с.

16. Кобець А. С. Обґрунтування конструкції відцентрового розкидача мінеральних добрив. Сільськогосподарські машини : зб. наук. праць. 2014. Вип. 29-30. С. 42-53. 30

17. Лисютін В.. Тягові дослідження одвальних і безодвальних ґрунтообробних робочих органів. "Вісник сільськогосподарської науки", 1968, № 5.

18. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 108 с.

19. Лобойко О. Я. Методи розрахунків у технології неорганічних виробництв / О. Я. Лобойко, Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ. — Харків : НТУ «ХПІ», 2001. — 512 с.

20. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Г.А. Хайліс, А.Ю. Горбовий, З.О. Гошко, М.М. Ковальов, О.О. Налобіна, С.Ф. Юхимчук. — Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 1998,-268с.

21. Рищенко І. М. Теоретичні основи і технології комплексних добрив із фосфоритів з низьким вмістом фосфору(V) оксиду: автореф. дис. на здобуття

наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.17.01 «Технологія неорганічних речовин» / І. М. Рищенко, НТУ «Харківський політехнічний інститут». — Харків, 2014. — 48, [1] с., включ. обклад. : іл. — Бібліогр.: С. 46—47.

22. Саклаков В., Б. Чойжалсанов. Визначення техніко-економічних показників перспективних тракторних агрегатів. "Вісник сільськогосподарської науки", 1968.

23. Самоходська І., Б. Шашков Механізація обробки ґрунту й внесення добрив. "Землеробство", 1968, № 4.

24. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. за ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2005.

25. Техніка сільськогосподарська. Тривалість та агросроки проведення випробувань. КНД.46.16.02.16-97. 40 с.

. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Технологія зв'язаного азоту: підручник / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О. Я. ЛОБОЙКО, Г. І. ГРИНЬ, І. О. СЛАБУН та ін. — Харків : НТУ «ХПІ», 2007. — 536 с. 350 Список літератури

26. Царенко О.М., Яцун С.С., Довжик М.Я., Олійник Г.М.; за ред. Яцуна С.С. Механіко технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник — К.: Аграрна освіта, 2000. — 243с.

27. Ценюх Я. Тенденції розвитку конструкцій розкидачів мінеральних добрив. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. праць. Дослідницьке, 2009. Вип. 13. С. 198-211.

28. Шевчук В. Я. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив з вторинної сировини: монографія / В. Я. Шевчук, К. О. Чеботько, В. М. Разгуляєв. — Київ : «Фенікс», 2001. — 220 с.

29. Яворський В. Т. Загальна хімічна технологія / В. Т. Яворський, Т. В. Перекупко, З. О. Знак, Л. В. Савчук. — Львів : НУ «Львівська політехніка», 2014. — 540 с.

30. Яворський В. Т. Історія хімічної, хіміко-технологічної освіти і науки у Львівській політехніці (1844—1991) : монографія / В. Т. Яворський, К. І. Блажівський. — Львів : НУ «Львівська політехніка», 2011. — 164 с. 7.
- Шестозуб А. Б. Концентрована нітратна кислота та продукти на її основі : монографія / А. Б. Шестозуб— Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2010. — 239 с.
31. Gerst J., Navez B. *Pepinieristes Horticulteurs Maraichers*, 1980, 207, 17-25.
32. Hunnius W. *Verwertungsgerechter Kartfffelbau*. Frankfurt (Main), 1979. — 115 s. 19. Gerdes K., Friessleben G. *Feldwirtschaft*, 1977, 18, 1, 25-27.