ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи
освітнього ступеня "Магістр"
на тему:

«Оптимізація параметрів робочого органу низькорамного розкидача для забезпечення рівномірності внесення органічних добрив»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-4-24
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Глоба Микола Андрійович

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____ _____

Дніпро 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: тракторів і сільськогосподарських машин
Освітній ступінь: "Магістр"
208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ТСГМ_____
(назва кафедри)
_____доцент_____
(вчене звання)
_____Теслюк Г.В.__
(підпис) (прізвище, ініціали)
„_____” _____20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____Глоба Микола Анрійович_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація параметрів робочого органу низькорамного розкидача для забезпечення рівномірності внесення органічних добрив
керівник роботи к.т.н., доцент Золотовська Олена Володимирівна_____
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від
“24” жовтня 2025 року №3182

2. Строк подання студентом роботи ____27.11.2025 р_____

3. Вихідні дані до роботи 1. Аналіз сучасного стану та перспектив розвитку органічного землеробства в Україні, аналіз джерел та обгурнтування дослідження з обраної тематиики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Обгрунутування стану питання. 2. Теоретичне обгрунтування дипломної роботи. 3. Обґрунтування методики проведення та результатів експериментальних досліджень 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка ефективності розробленого комбінованого агрегату. Висновок. Список літератури.

5 Перелік демонстраційного матеріалу
1. Мета і предмет досліджень. (2 аркуш, А4).
2. Огляд і аналіз конструкцій (1 аркуш, А4). 3. Теоретичні дослідження (2 аркуші,А4). 4. Експериментальні дослідження (4 аркуші А4)

5._Економічна_частина. (1_аркуш_4А)_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Золотовська О.В., доцент		
2	Золотовська О.В., доцент		
3	Золотовська О.В., доцент		
4	Золотовська О.В. , доцент		
5	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Теслюк Г.В., завідувач кафедри		

7. Дата видачі завдання____30.03.2025_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз технічних рішень	до 27.05.25 р	
2.	Виконання теоретичних досліджень	до 30. 06.25 р	
3	Виконання експериментальних досліджень	до 8.09.25 р.	
4	Охорона праці	до 06.11.25 р.	
5	Економічна частина	до 20.11.25 р.	
6.	Демонстраційний матеріал	до 23.11.25 р.	

Студент _____ _Глоба М.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ __Золотовська_О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість ар	Номер аркуша	Примітка
			Текстові документи			
1	А4	52ДР0.000.000ПЗ	Пояснювальна записка	68		
			Демонстраційні			
2	А4		Мета і задачі	2	1,2	
3	А4		Огляд і аналіз	1	3	
4	А4		Теоретичні дослідження	2	4,5	
5	А4		Експериментальні дослідження	3	6,7,8	
6	А4		Економічна частина	1	9	
7	А4		Висновки	1	10	

					52.ДР0.000.000ПЗ			
З	Арк.	№ докум.	Під	Дата				
Розробив		Глоба М.А.			Відомість дипломної роботи	літ	арк	арк
Перевірив		Золотовська О.В					4	68
Т. контр						МгАІ-4-24 ДДАЕУ		
Н. контр		Теслюк Г.В.						
Затверд.		Теслюк Г.В.						

АНОТАЦІЯ

Глоба М.А. Оптимізація параметрів робочого органу низькорамного розкидача для забезпечення рівномірності внесення органічних добрив/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Дослідження присвячене вдосконаленню низькорамного розкидача гранульованих органічно-мінеральних добрив для підвищення точності та рівномірності внесення. Проведено аналіз агротехнічних вимог, технологічних особливостей внесення добрив та конструкцій робочих органів. Встановлено, що ефективність машин залежить від типу транспортера, форми і кута нахилу лопаток ротора та способу подачі матеріалу.

Експериментально визначено, що жолобоподібні лопатки з кутом установки 12° у поєднанні з параболічним дефлектором забезпечують мінімальне дроблення, високу швидкість вильоту часток та рівномірність внесення (коефіцієнт варіації ≤10%). Використання стабілізатора дозволяє зберігати горизонтальне положення кузова на схилах до 12°, підвищуючи продуктивність і ефективність роботи агрегату.

Запропоновані конструктивні рішення дозволяють зменшити втрати добрив, поліпшити умови праці оператора та розширити сферу застосування серійних розкидачів на різних типах рельєфу.

Ключові слова: низькорамний розкидач, гранульовані добрива, жолобоподібні лопатки, параболічний дефлектор, стабілізатор, рівномірність внесення, продуктивність, дроблення часток, агротехнічні вимоги, робочий орган.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ СТАНУ ПИТАННЯ	11
1.1. Агротехнічні вимоги до органічних добрив	11
1.2. Технологічні аспекти застосування органічних добрив	13
1.3 Порівняльний аналіз конструкцій та принципів роботи машин для поверхневого внесення гранульованих добрив	13
1.4. Аналіз процесу з внесення гранульованих добрив	19
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ НИЗЬКОРАМНОГО РОЗКИДАННЯ	22
2.1 Взаємодія часток добрив з лопатками ротора	22
2.2 Вплив дефлектора в системі розподілу добрив	23
2.3 Система стабілізації просторового положення кузова розкидача добрив	25
3 ОБГРУНУТУВАННЯ МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
3.1 Оцінка схеми низькорамного розкидання	30
3.2 Аналіз результатів розподілу органічних добрив	36
3.3 Вплив конструктивно-режимних параметрів дефлектора на траєкторію руху часток добрив	39
3.4 Експериментальна перевірка стабілізації розкидання на схилах	52
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1. Аналіз травмонебезпечних факторів під час розкидання органічних добрив	58
4.2. Моделювання травмонебезпечних та аварійних ситуацій	59
4.3. Техніка безпеки при роботі з мінеральними добривами	60
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АГРЕГАТУ	63
5.1. Початкові дані для економічної оцінки	63
5.2. Основні показники економічної ефективності	63
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

Вступ

Добрива – це речовини, що застосовуються для покращення живлення рослин, підвищення родючості ґрунту та збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Ефект від використання добрив забезпечується завдяки внесенню елементів, яких бракує рослині для нормального росту та розвитку. В усіх сільськогосподарських господарствах України та світу використовують органічні добрива, які збагачують ґрунт азотом і водночас можуть стимулювати ріст бур'янів, а також мінеральні добрива, що містять один або декілька необхідних елементів.

В умовах скорочення поголів'я тварин (велика рогата худоба – у 2–3 рази, свині – у 2–4, вівці та кози – у 3–4) значно зменшився обсяг гною, тоді як його норма внесення складає не менше 15 т/га. За даними академіка Д.Н. Прянішнікова, підвищити врожайність сільськогосподарських культур на 40–60% можливо шляхом внесення органічних добрив. Дослідження показали, що нестачу органічних добрив можна компенсувати за рахунок поєднання органічних та мінеральних добрив у вигляді збалансованих сумішей.

Таким чином, доцільним є використання органічно добрив, що містять як органічну речовину, так і мінеральні сполуки, хімічно пов'язані між собою. Це дозволяє зменшити дози внесення органічних добрив, підвищити агрохімічну ефективність та покращити засвоєння мінералів рослинами.

Поєднане застосування органічних і мінеральних добрив може здійснюватися у різних формах, залежно від особливостей культур і ґрунтів. Практика передових господарств та наукові дослідження підтверджують, що використання готових гранульованих органічно-мінеральних добрив дає позитивний результат.

Агротехнічна наука пропонує різні способи внесення таких добрив. З початку 2000-х років у виробництво поступово вводяться комбіновані агрегати, які дозволяють поєднувати декілька операцій, наприклад, висів насіння та внесення добрив. На сьогодні ці машини ефективні, проте мають складну конструкцію і потребують попередньої підготовки поля.

Найпростішим і водночас ефективним способом внесення органічних і мінеральних добрив є поверхневий, із використанням кузовних розкидачів. Раціональне застосування органічно-мінеральних добрив неможливе без забезпечення сільськогосподарських підприємств машинами для підготовки, транспортування, навантаження та внесення добрив. Перспективним напрямом є підвищення рівномірності їх розподілу по полю.

У багатьох країнах світу, включаючи Україну, застосовують розкидачі гранульованих добрив із робочими органами у вигляді дисків на вертикальній осі. Однак вони мають суттєвий недолік: при збільшенні подачі добрив частина матеріалу не досягає лопаток і не набирає необхідної швидкості, що погіршує розподіл. Для усунення цього недоліку рекомендується використання роторних робочих органів на горизонтальній осі обертання.

Актуальність дослідження полягає у вдосконаленні процесу розподілу органічних добрив за допомогою роторних робочих органів на горизонтальній осі обертання. У роботі представлені результати розробки конструкції, визначення параметрів і режимів роботи низькорамного розкидача органічних добрив.

Основним способом підвищення рівномірності розподілу добрив є створення та перевірка робочих органів із різними конструктивно-режимними параметрами. Пошук технічних рішень, які дозволяють коригувати потік добрив і забезпечувати рівномірне внесення на пересіченій місцевості, є важливим для ефективної роботи агрегату.

Метою роботи є підвищення рівномірності розподілу органічних добрив шляхом вдосконалення конструктивно-режимних параметрів робочого органу для внесення органічних добрив на базі низькорамного кузовного розкидача.

Завдання роботи:

1. Визначити вплив основних конструктивних параметрів лопаток ротора на якість внесення добрив;

2. Розробити математичну модель процесу внесення органічних добрив роторним робочим органом, що дозволяє обґрунтувати його конструктивно-режимні параметри;

3. Дослідити вплив параметрів дефлектора на характеристику потоку добрив;

4. Провести польові дослідження, перевірити розробки у виробничих умовах та оцінити агроекономічну ефективність експериментального низькорамного розкидача з роторним робочим органом.

Об’єктом є технологічний процес поверхневого внесення органічних добрив роторним робочим органом.

Предметом є закономірності зміни якісних показників роботи роторного робочого органу.

Основним методом є аналіз і синтез технологічного процесу внесення добрив роторним пневмомеханічним органом із горизонтальною віссю обертання та визначення агротехнологічних властивостей розкидача з урахуванням багатофакторних польових експериментів. Використовувалися експертна оцінка чинників і планування багатофакторного експерименту, розроблені загальна та приватні методики дослідження.

Обґрунтовано технологічний процес внесення органічних добрив роторним пневмомеханічним органом із горизонтальною віссю обертання; встановлено аналітичні залежності для визначення параметрів лопаток і дефлектора; виявлено закономірності смуги розсівання залежно від конструктивних параметрів і режимів роботи; розглянуто особливості експлуатації низькорамного розкидача на пересіченій місцевості.

Реалізація технічного рішення низькорамного кузовного розкидача з роторним робочим органом забезпечує якісні показники роботи відповідно до агротехнічних вимог; результати досліджень можуть бути використані при проектуванні та експлуатації розкидачів добрив.

Підтверджується теоретичними та експериментальними дослідженнями, отриманими за допомогою вимірювальної апаратури, з достатньою кількістю повторів та обробкою даних методами математичної статистики.

1 ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1. Агротехнічні вимоги до органічних добрив

У зв’язку зі значним скороченням поголів’я тваринницьких ферм, обсяг виробництва органічного добрива знизився. Для отримання однорідної суміші необхідне компостування, яке нерідко призводить до нерівномірного змішування компонентів.

Добре перероблений, висушений та сипкий гній може використовуватися для приготування органічних добрив, проте обробка та висушування потребує значних фінансових витрат. Через це доцільніше застосовувати більш дешеві та доступні органічні компоненти, такі як торф, який відзначається доброю сипучістю та легкістю змішуються.

Історичний досвід показує, що торф у складі добрив у поєднанні з суперфосфатом, фосфорним борошном та іншими компонентами забезпечує підвищення врожайності. Дослідження початку 2000-х років показали позитивний ефект використання торф’яних добрив у дозі 50 кг/га. Склад добрив на основі торфу формується з урахуванням потреб конкретних культур та типу живлення рослин: зазвичай 3–5 т торфу, 3–5 ц вапняних матеріалів, 0,5–1 ц суперфосфату або 2–3 ц фосфорного борошна значно підвищують урожай зернових.

Для приготування торф’яного компосту придатні всі види торфу: верховий, перехідний та низовинний. Він може змішуватися з різними мінеральними добривами та вапном. Торф повинен відповідати певним агротехнічним вимогам: ступінь розкладання не менше 20, зольність до 25%, вологість не більше 60%, розмір часток не перевищує 60 мм.

Комплексні добрива на основі торфу зазвичай містять суміш часток розміром до 25 мм, до яких додають вапняк.

Приготування та змішування добрив може здійснюватися різними способами. Згідно з дослідженнями, на ручне навантаження 1 т органічних

добрив в автомобіль витрачається 0,12–0,15 людино-днів при годинному виробітку 0,8 т.

.Ефективною альтернативою для органічних добрив є установка подрібнювач-розтарювач АІР-20, яка поєднує функції змішування та подрібнення добрив продуктивністю 20 т/год.

Іншим методом є використання бульдозерів для перемішування добрив шарами, однак така технологія забезпечує лише часткове змішування і низьку ефективність. Сучасні методи включають змішування торфу з водорозчинними мінеральними добривами, проте вони знижують фізіологічну активність органічної частини. Для підвищення ефективності торф піддають окислювально-гідролітичній деструкції озонованим повітрям, після чого змішують з мінеральними компонентами.

Додавання фосфорного борошна, вапна та золи дозволяє знизити кислотність торфу та покращити засвоєння фосфору рослинами. Водночас головною проблемою залишається нерівномірне змішування мінеральних компонентів у торф’яній масі. Добре перемішані гранульовані органо-мінеральні добрива виготовляються у виробничих умовах хімічних заводів і фабрик із вмістом торфу 40–60%.

Технологія виробництва дозволяє поєднувати мінеральні та гумінові сполуки, що підвищує засвоюваність поживних елементів і дозволяє знизити норму внесення добрив. Для кожної культури розробляються добрива з оптимальним набором хімічних елементів, що забезпечує ефективний ріст і розвиток рослин. Випробування в Італії показали, що внесення органо-мінеральних добрив під зернові культури скорочує період дозрівання на 7–12 днів у порівнянні з мінеральними добривами.

Крім того, органічна складова таких добрив сприяє покращенню родючості ґрунту і поступовій віддачі мінеральних елементів, що зменшує забруднення довкілля. Завдяки сипкій структурі гранул (1–6 мм) зменшується навантаження на робочі органи розкидача, витрати палива та обслуговування техніки.

1.2. Технологічні аспекти застосування органічних добрив

Рівномірний розподіл добрив по поверхні поля є ключовим чинником для отримання якісного врожаю. Нерівномірність понад 25% призводить до неоднорідного розвитку рослин і зниження продуктивності. Надлишкове внесення добрив може викликати вилягання рослин, особливо колосових, що ускладнює збір урожаю комбайнами. Систематичне нерівномірне внесення органічних добрив призводить до накопичення доступного азоту у ґрунті.

Основні фізико-механічні властивості добрив, що впливають на їх аеродинаміку та розподіл, включають: Коефіцієнт парусності, що визначає дальність польоту гранул; гранулометричний склад, який забезпечує рівномірний потік добрив у робочі органи; коефіцієнт тертя, що впливає на сепарацію часток; вологість і вологоємкість, що визначають злежування, міцність та щільність гранул.

Відхилення цих показників призводить до псування добрив, збільшення дроблення гранул та зниження рівномірності внесення. Наприклад, при застосуванні центробіжних робочих органів до 11% гранул руйнується, що підвищує нерівномірність розподілу та знижує біологічну активність добрив.

Кут нахилу лопатей робочих органів також впливає на дроблення та сектор метання часток. Зменшення сили удару часток об робочу поверхню сприяє збереженню гранулометричного складу та рівномірності розподілу добрив.

1.3 Порівняльний аналіз конструкцій та принципів роботи машин для поверхневого внесення гранульованих добрив

На сьогодні існує велика кількість різноманітних способів та технічних засобів для внесення добрив як у твердому, так і в рідкому вигляді.

Хоча рідкі добрива зазвичай дешевші за тверді та легше засвоюються рослинами, їх застосування потребує спеціалізованих машин та обладнання

(рис. 1.1), які не можуть використовуватися для виконання інших агротехнічних операцій. Крім того, рідкі добрива складні у зберіганні та можуть спричиняти опіки при контакті з листям рослин.

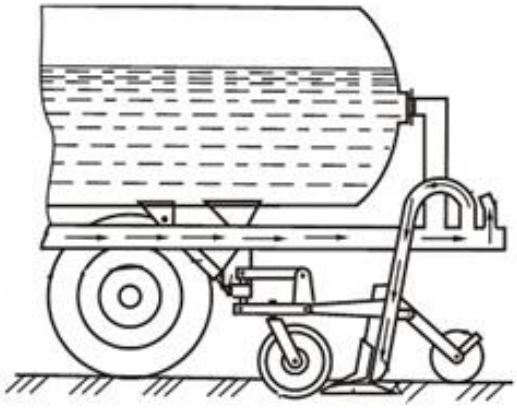


Рисунок 1.1 - Схема пристрою для внесення рідких добрив.

Внесення твердих добрив здійснюється двома основними способами: поверхневим (розкидним) та локальним. На рисунку 1.2 наведено приклад конструкції робочого органу, призначеного для локального внесення гранульованих добрив.

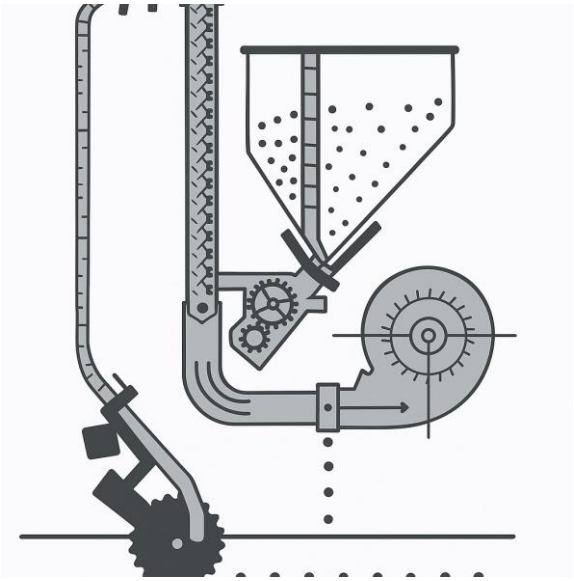


Рисунок 1.2 – Схема робочого органу для локального внесення добрив

Проте локальне внесення має низку суттєвих недоліків:

– ускладнення конструкції робочих органів;

– обмеження можливості використання машин для виконання інших сільськогосподарських операцій;

– при застосуванні комбінованих агрегатів спостерігається переважання однієї операції за рахунок іншої;

– підвищені вимоги до попередньої підготовки поля.

У зв’язку з цим найбільш доступним і поширеним методом є поверхневе внесення із застосуванням кузовних розкидачів. Переваги таких розкидачів полягають у простоті конструкції кузова та робочих органів, а також у відносно низькій вартості. Крім того, кузовні розкидачі можна використовувати й для інших сільськогосподарських операцій.

При поверхневому внесенні великі обсяги твердих добрив, залежно від відстані транспортування від складу до поля, доставляються за прямоточними, перевантажувальними або перевалочними технологіями із застосуванням кузовних розкидачів. Технологічна схема роботи більшості кузовних розкидачів є ідентичною: добрива завантажуються за допомогою навантажувачів різних типів, транспортуються транспортером до робочого органу і викидаються на поле. Кузов розкидача встановлюється на причепі з однією або двома осями.

У разі зняття робочих органів кузовний розкидач у деяких випадках може використовуватися як звичайний тракторний причіп. Для подачі добрив до робочих органів застосовуються різні типи транспортерів: ланцюгово-планочні, шнекові, вібраційні та стрічкові (рис. 1.3).

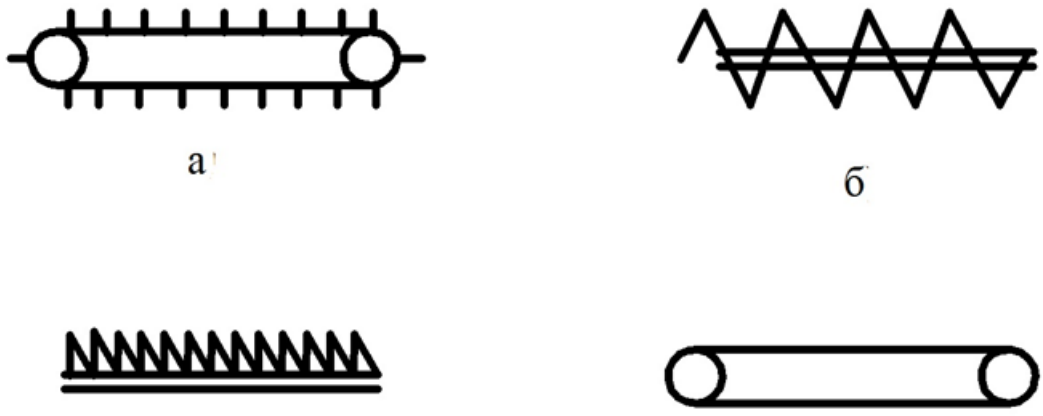


Рисунок 1.3 - Транспортери розкидачів :
а - ланцюгово-планочні; б - шнекові; у - вібраційні; г - стрічкові.

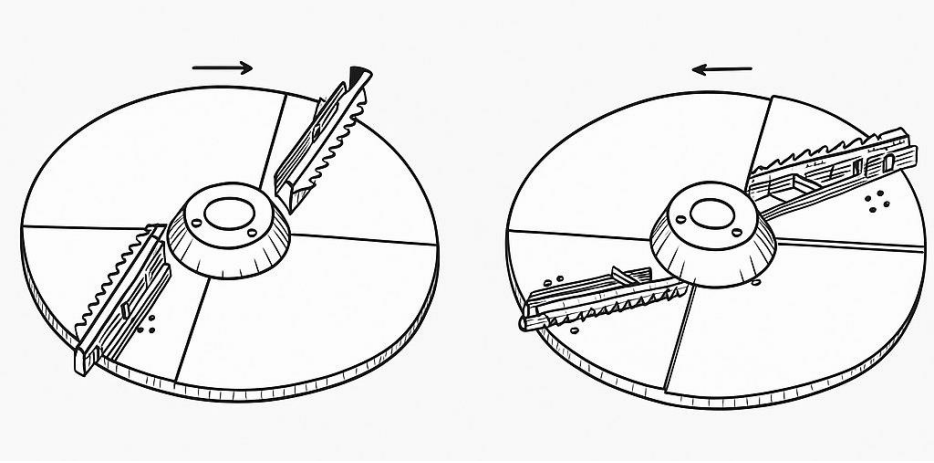
Вібраційні транспортери відзначаються простотою конструкції та легкістю у ремонті й обслуговуванні, проте вони менш ефективні при роботі з сухими сипкими добривами.

Шнекові транспортери забезпечують найбільшу ефективність при подачі сухих сипких добрив. Однак при використанні торф'яно-мінеральної суміші, де торф може мати високу вологість, ефективність шнекового транспортера значно знижується.

Ланцюгово-планочні транспортери є найскладнішими в конструкції, ремонті та експлуатації. Велика кількість деталей ускладнює їх очищення, хоча вони придатні для транспортування всіх типів добрив.

На відміну від твердих органічних добрив, для подачі яких зазвичай використовують ланцюгово-планочні або шнекові транспортери, при внесенні гранульованих добрив із дрібною фракцією найчастіше застосовують стрічкові транспортери.

У багатьох країнах світу, зокрема в Україні, поширене використання розкидачів добрив з робочими органами у вигляді дисків, змонтованих на вертикальній осі обертання (рис. 1.4). Такі органи здійснюють обертання і викид добрив під дією відцентрових сил.



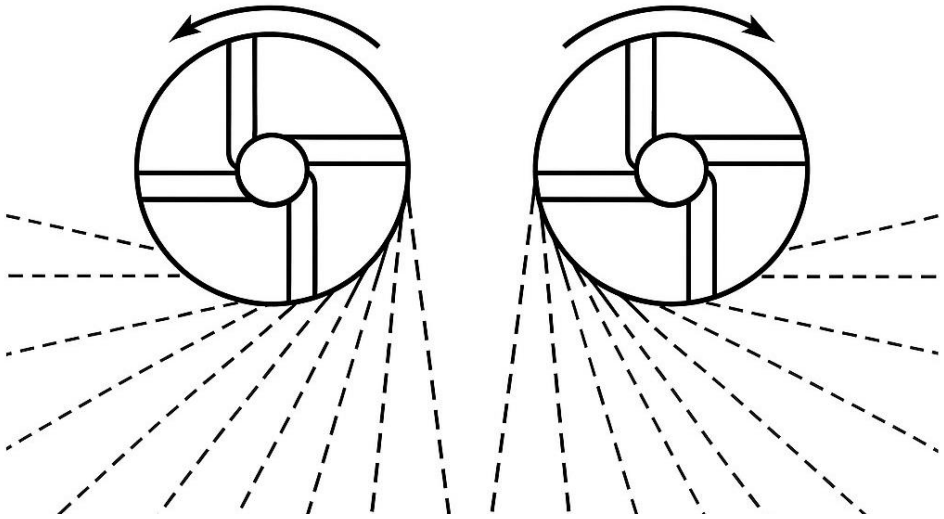


Рисунок 1.4 - Робочі органи для внесення мінеральних добрив.

У сучасних умовах в Україні застосовуються розкидачі мінеральних і органічних добрив таких марок, як РУМ-1.5, РУМ-3.0, РМГ-4, МВУ-5, СТТ-10, а в Німеччині — Amazone ZA та ZG-B. Дальність вильоту добрив при викиді робочими органами цього типу досягає 15–20 м.

Проте дискові робочі органи на вертикальній осі мають суттєвий недолік: при збільшенні кількості поданих добрив частина матеріалу не встигає досягти поверхні лопаток і сходить прямо з диска, не набравши необхідної швидкості. Внаслідок цього добрива зсипаються у безпосередній близькості від диска, що значно підвищує нерівномірність їх розподілу. Надлишок добрив на окремих ділянках поля негативно впливає як на врожай, так і на його якість.

Спроби вдосконалення дискових лопаток найчастіше призводять до ускладнення конструкції та потреби у великій кількості приводних механізмів.

Іншим типом робочих органів для поверхневого внесення твердих добрив є роторні органи з горизонтальною віссю обертання, які застосовуються як для внесення органічних, так і мінеральних добрив. Вони складаються із диска, встановленого на маточині, з прикріпленими лопатками. Кількість лопаток зазвичай варіюється від 4 до 6, залежно від типу матеріалу та навантаження на привід робочого органу.

Так, у 1983 році був розроблений шестилопатевий роторний орган із нахилом лопатей вперед на 20°, що дозволило збільшити дальність вильоту часток добрива. Існують також робочі органи розкидачів мінеральних добрив, що складаються з двох роторів із лопатями (рис. 1.5), які забезпечують ефективне розкидання добрив по полю.

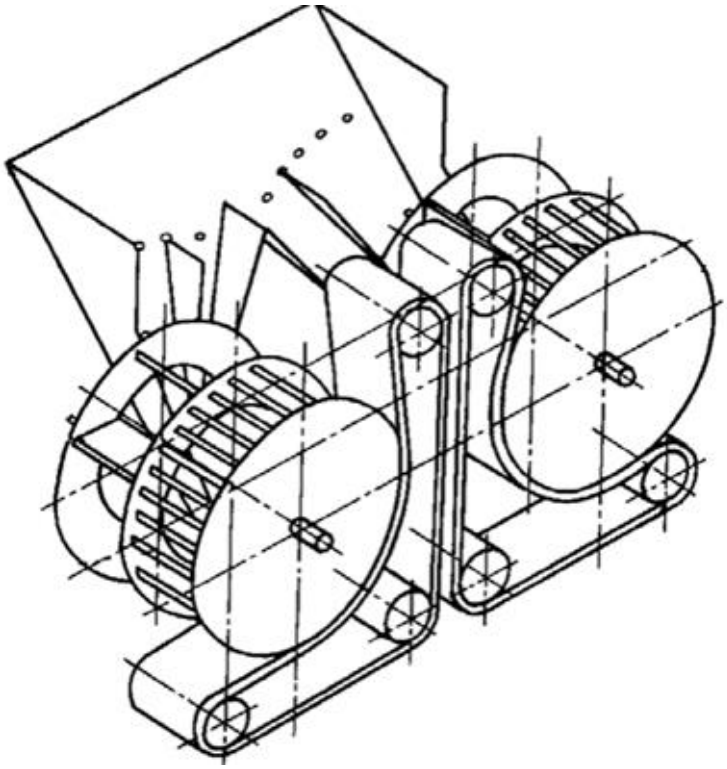


Рисунок 1.5 - Робочий орган розкидача мінеральних добрив

Використання ремінної передачі для приводу робочих органів у розкидачах добрив є недоцільним через обмежений термін служби ременя та неможливість передавати підвищене навантаження. Для забезпечення викиду добрив безпосередньо під робочим органом необхідно зменшувати кут викиду, що призводить до скорочення ширини захоплення. При викиді добрив під кутами до горизонту частки розсіюються хаотично, формуючи вузький віяловий потік, у якому важко досягти заданої рівномірності розподілу.

1.4. Аналіз процесу з внесення гранульованих добрив

Внесення гранульованих добрив є одним із ключових процесів у сучасному землеробстві, оскільки від рівномірності їх розподілу по поверхні поля залежить ефективність живлення рослин, урожайність і екологічна безпека виробництва. Серед відомих машин для поверхневого внесення твердих добрив найбільш поширеними є розкидачі роторного типу з горизонтальною віссю обертання, які забезпечують високу продуктивність і простоту конструкції [9, 13, 14, 17].

Відомо, що траєкторія руху гранул добрива по поверхні диска робочого органу описується логарифмічною або архімедівською спіраллю, що дозволяє аналітично визначати вплив сили тертя та парусності часток на дальність їх польоту [17]. Як зазначав П. М. Василенко, збільшення коефіцієнта тертя часток призводить до підвищення кута вильоту добрив, проте водночас зменшує кутову швидкість їх руху. Це погіршує дальність розльоту та рівномірність покриття поля. Для зменшення тертя запропоновано застосування лопаток із перемінним вигином робочої поверхні [15], проте ефективність такої конструкції залежить від фізико-механічних властивостей конкретного виду добрив, оскільки різні гранули мають різну щільність, міцність і коефіцієнт тертя.

Дослідження М. С. Хоменка [19] показали, що оптимальний діаметр роторного робочого органу становить 400 мм, а частота його обертання — близько 650 об/хв. Саме такі параметри забезпечують необхідну дальність вильоту часток без значного руйнування гранул. Разом із тим у роботі [16] вказується, що розмір завантажувального вікна повинен відповідати ширині робочої поверхні лопаті для рівномірного подання добрив.

Згідно з результатами досліджень В. А. Чорноволова [19], надмірне збільшення частоти обертання ротора призводить до підвищення швидкості зіткнення часток добрива з лопаткою, що викликає їх роздроблення. Установлено, що руйнування гранул починається при частоті обертання понад

800 об/хв [11]. Крім того, збільшення частоти обертання на кожні 100 об/хв підвищує відсоток дроблення часток, що було підтверджено С. М. Закутським [24]. Для зменшення цього ефекту автор рекомендує застосовувати лопатки спеціальної форми, які знижують силу удару, а також зменшувати радіус подання добрив на диск. Однак зменшення радіуса подання водночас знижує продуктивність машини.

В. І. Якубаускас [23] встановив, що дальність польоту часток та рівномірність розподілу значною мірою залежать від кута вильоту, який має становити 30–50°, а також від кута нахилу лопаті до площини обертання. Зокрема, при нахилі лопаті у бік обертання на 10–15° підвищується відцентрова сила на її кінцях, що збільшує дальність викиду, але водночас сприяє подрібненню гранул і утворенню пилоподібної фракції.

Особливу увагу в останні роки приділяють дослідженню пневмомеханічних робочих органів. Як зазначають А. Н. Репетов і О. М. Лепшеєв [18], створення повітряного тиску в кожусі ротора дозволяє підвищити дальність вильоту гранул у середньому на 20% без істотного збільшення частоти обертання. У низькорамному розкидачі, розробленому цими авторами, тиск у кожусі досягав 156 мм водяного стовпа, що майже вдвічі перевищує показники традиційних відцентрових робочих органів. Проте навіть за таких умов при частоті 1048 об/хв гранули частково руйнувалися, що зумовлює необхідність подальшого вдосконалення геометрії лопатей і дефлектора.

Водночас у більшості відомих досліджень недостатньо уваги приділено умовам роботи розкидачів на схилах, де нерівномірність подання добрив різко зростає через зміну напрямку потоку матеріалу відносно площини обертання ротора [29, 30]. Це призводить до зниження рівномірності внесення, що особливо відчутно при внесенні гранульованих органо-мінеральних добрив. Спроби вирішити цю проблему за допомогою додаткових живильників і регульованих механізмів подання [19] лише частково компенсують вплив

нахилу рельєфу, але збільшують енергетичні витрати та складність експлуатації.

Таким чином, проведений аналіз наукових праць показує, що одним із перспективних напрямів удосконалення машин для внесення гранульованих органічно-мінеральних добрив є застосування пневмомеханічних робочих органів роторного типу з горизонтальною віссю обертання. Такі системи забезпечують підвищення рівномірності розподілу, збільшення дальності вильоту гранул і зменшення їх дроблення. Подальші дослідження мають бути спрямовані на визначення оптимальних конструктивно-режимних параметрів лопаток і дефлектора, а також на розробку математичної моделі процесу руху гранул у повітряному потоці.

Висновки

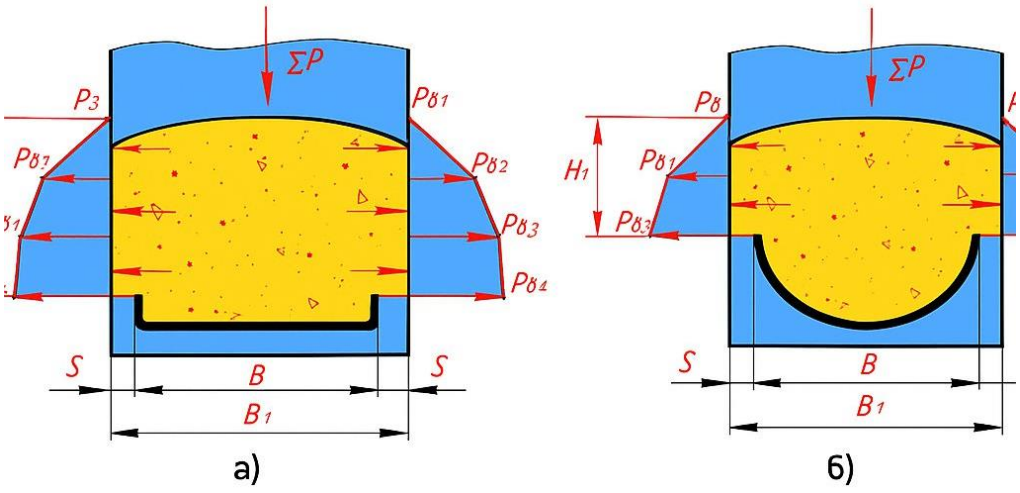
1. Проведений аналіз показав, що ефективність машин для внесення добрив залежить від типу транспортера, конструкції робочого органу та способу подачі матеріалу.
2. Вібраційні транспортери прості, але малоефективні для сипких сумішей; шнекові — придатні для сухих гранульованих добрив, проте не працюють із вологими сумішами; ланцюгово-планочні — універсальні, але складні в обслуговуванні.
3. Найпоширенішими є дискові розкидачі, які забезпечують рівномірне розсіювання, хоча потребують вдосконалення приводу та оптимізації кута викиду.
4. Основним напрямом розвитку є підвищення рівномірності внесення, надійності механізмів і зниження енергоспоживання.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ НИЗЬКОРАМНОГО РОЗКИДАННЯ

2.1 Взаємодія часток добрив з лопатками ротора

Під час висипання добрив зі стрічкового транспортера на лопатки ротора, що обертається, на частки матеріалу діють основні сили: сила тяжіння mg, сила інерції ma та сила тертя Fтр, яка виникає внаслідок взаємодії вантажу зі стінками кожуха. Залежно від розрахункових значень бічного тиску Рб для кожного шару добрив можна побудувати епюри цих сил, що діють у поперечному напрямку в точках контакту зі стінками барабана.

Як показано на рисунку 2.1, величина бічного тиску Рб зростає зі збільшенням висоти шару добрив Н на лопатці. Це призводить до підвищення навантаження на конструкцію ротора, нерівномірного розподілу матеріалу та можливих втрат енергії під час розсіювання.



Рисунко 2.1 - Взаємодія часток добрив з лопатками ротора

Для зменшення впливу бічних сил доцільно зменшити висоту шару Н або змінити геометрію лопаток. Найефективнішим рішенням є застосування лопаток з бортами (рис. 2.1а), що обмежують поперечне переміщення добрив,

або жолобоподібних лопаток (рис. 2.1б), форма яких сприяє спрямованому русі часток уздовж поверхні та знижує їх бокове зміщення.

Таким чином, удосконалення форми лопаток ротора дозволяє підвищити рівномірність розсіювання, зменшити втрати добрив і підвищити ефективність процесу внесення.

2.2 Вплив дефлектора в системі розподілу добрив

У теоретичних дослідженнях значна увага приділяється дефлектору як важливому елементу транспортної системи розкидачів добрив. Застосування дефлектора в барабанних розкидаючих апаратах дозволяє уникнути вертикального розсіювання часток добрив та регулювати щільність і дальність їх польоту (рис.2.2). Підвищення щільності потоку органічних добрив сприяє частковій компенсації різниці в парусності окремих часток. У рамках дослідження обґрунтовуються конструктивні та режимні параметри дефлектора та його вплив на технологічні показники роботи розкидача. Частки добрив рухаються по вигнутій робочій поверхні дефлектора, що охоплює кут 90°, використовуючи накопичену кінетичну енергію і досягаючи певної швидкості на виході.

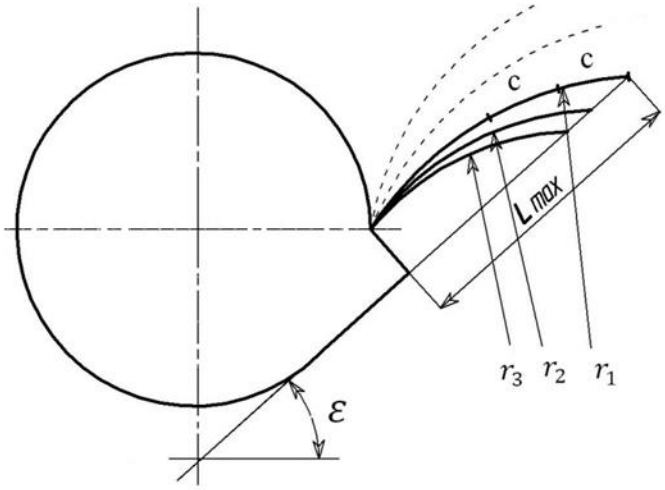


Рисунок 2.2 - Схема роботи телескопічного дефлектора
де ε - кут нахилу вивантажного вікна; з - крок виміру довжини телескопічного дефлектора; Lmax - максимальна довжина вильоту.

Припускаємо, що дефлектор має поверхню постійного радіусу (рис. 2.3.). На частку добриви, яка рухається по цій поверхні, діють декілька сил: сила тяжіння mgmgmg, яка розкладається на дві складові - по дотичній до поверхні mg·cosα та по нормалі m·gsinα; відцентрова сила інерції Fc; а також сила інерції Fi. Взаємодія цих сил визначає траєкторію руху часток по дефлектору та їх дальність і напрям польоту після вильоту.

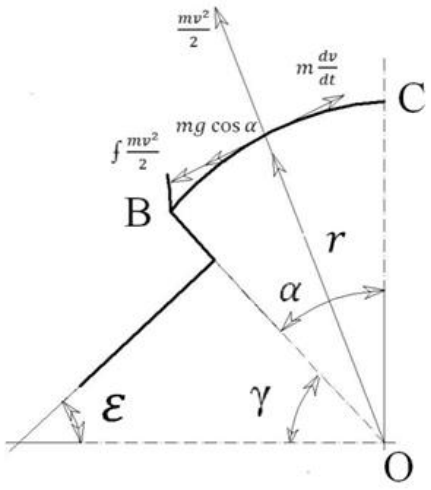


Рисунок 2.3 - Схема сил, що діють на частку добрива при русі її по дефлектору; де α =55°, ε = 35°, γ = 55°.

Було встановлено, що складова сили тяжіння при максимальних значеннях незначна у порівнянні з силою тертя, тому її можна не враховувати. При такому допущенні швидкість руху добрив по дефлектору визначається головним чином коефіцієнтом тертя та часом проходження по його поверхні. Зі збільшенням довжини дефлектора швидкість руху часток зменшується.

У низці досліджень [2,8,10,14] рекомендується застосовувати параболічну форму дефлектора, яка краще підходить для транспортування матеріалу з урахуванням його фізико-механічних властивостей. Ефективність роботи дефлектора перевірялася на робочих поверхнях із параболічним профілем. Форма параболічного дефлектора (рис. 2.4) має відповідати траєкторії руху добрив, що виходять у нижній зоні вивантажного вікна, забезпечуючи більш рівномірний та керований потік часток.

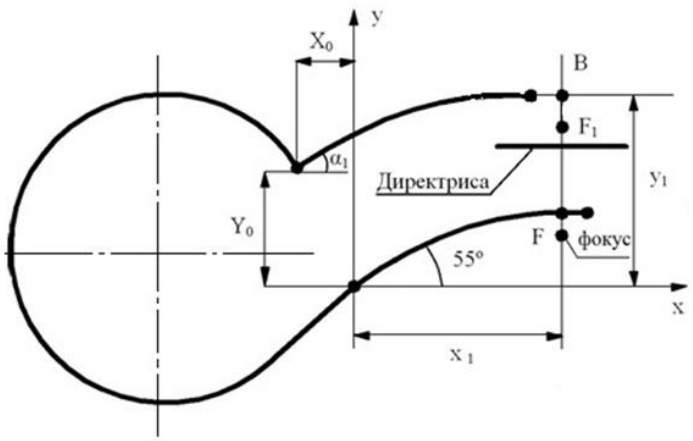


Рисунок 2.4 – Схема параболічного дефлектора

Теоретичні положення щодо визначення оптимальної форми робочої поверхні дефлектора були перевірені на практиці в умовах реальної експлуатації розкидування добрив.

2.3 Система стабілізації просторового положення кузова розкидача добрив

Експлуатація машинно-тракторних агрегатів (МТА) у системах ґрунтозахисного землеробства на схилах має низку особливостей порівняно з роботою на рівнинних ділянках. В умовах пересіченого рельєфу змінюються агротехнічні вимоги до процесу розсіювання добрив, а також енергетичні та експлуатаційні показники роботи агрегату. Це в повній мірі стосується причіпних кузовних розкидачів на пневматичному ходу, призначених для суцільного поверхневого внесення добрив.

Основним критерієм ефективності роботи таких машин є забезпечення рівномірності розподілу добрив по поверхні поля. В умовах схилів це завдання значно ускладнюється через зміну просторового положення розкидача під час руху.

Питання забезпечення рівномірності внесення добрив на нерівному рельєфі розглядали багато науковців [6,7,16]. Для аналізу цього процесу розглянемо роботу кузовного розкидача добрив на схилових ділянках.

Під час руху агрегату по пересіченій місцевості відбуваються коливання просторового положення кузова, зумовлені нерівномірною деформацією ґрунту під колесами, різницею у жорсткості шин, змінами мікрорельєфу та впливом зовнішніх силових факторів. Навіть при русі по відносно рівній поверхні розкидач здійснює бічні коливальні рухи, які викликають відхилення його кузова від положення статичної рівноваги.

У прийнятій системі координат (рисунок 2.5) ці відхилення описуються кутом φ(t), який визначається між віссю OY та геоцентричною вертикаллю. Зміна цього кута характеризує динамічне положення кузова відносно горизонтальної площини та дає змогу оцінити ступінь впливу просторових коливань на рівномірність розсіювання добрив.

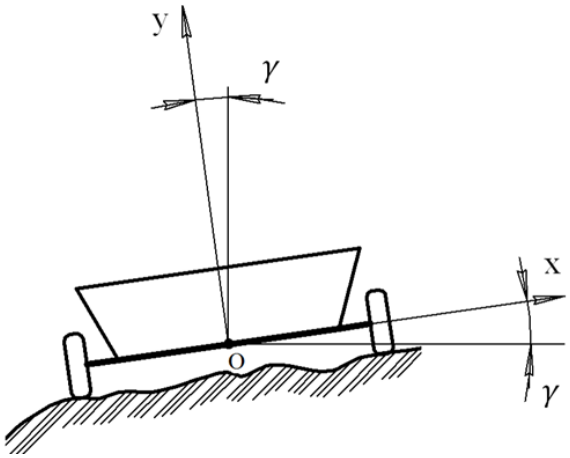


Рисунок 2.5 - Кутові бічні переміщення розкидання

Вплив зовнішніх дій, які спричиняють зміну кута φ, має випадковий характер, тому функція γ(t) розглядається як випадкова функція часу. Вона є стаціонарною і центрованою відносно положення статичної рівноваги, тобто її математичне очікування дорівнює нулю - M[γ(t)] = 0. Такі збурення, з огляду на інерційні властивості технологічного процесу та частотні характеристики руху агрегату, зазвичай мають незначний вплив і визначаються експериментальним шляхом.

Однак під час руху розкидача упоперек схилу ситуація змінюється - у цьому випадку вплив зовнішніх факторів стає суттєвим. Такий режим руху є

невід’ємною вимогою ґрунтозахисного землеробства, проте саме в цих умовах відбувається помітне кутове відхилення розкидача відносно поверхні поля.

Кутове переміщення машини при русі упоперек схилу (рисунок 2.6) визначається комплексом силових і геометричних факторів, що діють на агрегат, зокрема розподілом маси, положенням центра ваги та кутом нахилу робочої поверхні.

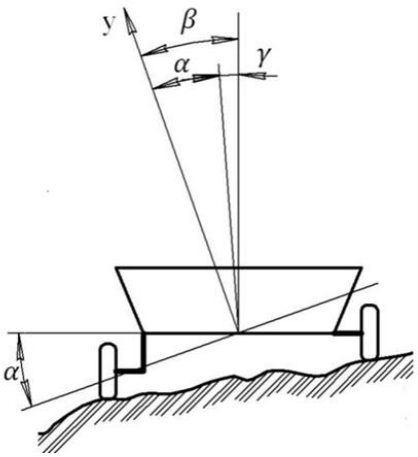
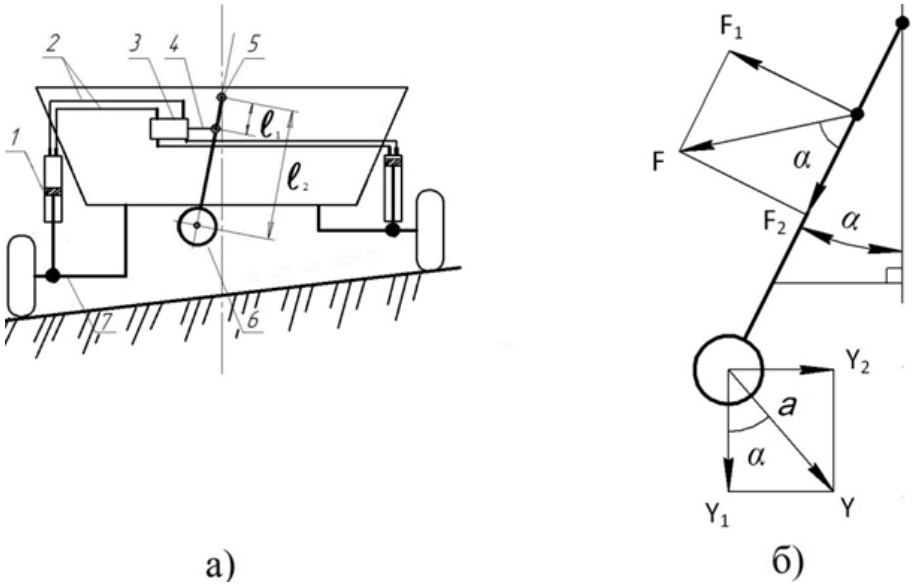


Рисунок 2.6 – Характер поперечних кутових рухів розкидання

Зміни функції γ(t) за своїм характером подібні до коливань, які спостерігаються під час руху агрегату по рівній ділянці поля. З урахуванням прийнятих допущень положення статичної рівноваги визначається переважно кутом схилу α, який у процесі руху розкидача змінюється випадковим чином. Таким чином, зміни кутового положення розкидача можна розглядати як випадковий процес β(t), для якого математичне очікування α(t) = M[β(t)], а відхилення описується центрованою випадковою функцією γ(t) = β(t) – M[β(t)].

Під час роботи розкидача на похилій поверхні добрива, що подаються транспортером, зміщуються на нижню сторону кузова. Це призводить до нерівномірного завантаження, збільшення подачі матеріалу до одного з роторів, перевантаження нижнього по схилу колеса, виникнення розгортального моменту та погіршення керованості агрегату. Як наслідок, порушується рівномірність розподілу добрив та норма внесення, особливо на стикових проходах.

Для забезпечення стабільної роботи розкидача на пересіченій або похилій місцевості необхідно постійно регулювати його положення відповідно до зміни кута нахилу поля. Реалізація цього завдання можлива за допомогою систем автоматичного регулювання просторового положення агрегату. Аналіз існуючих конструкцій показав, що найбільш ефективним, простим та надійним варіантом є використання маятникового типу датчика, який забезпечує своєчасне виявлення змін кута нахилу і корекцію положення машини під час руху.



а) б)

Рисунок 2.7 - 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 підтвердження правильності висунутих припущень був розроблений і представлений експериментальний стабілізуючий пристрій, призначений для підтримки оптимального просторового положення розкидача добрив під час його руху по пересіченій місцевості.

Висновки

1. Динаміка руху часток добрив і рівномірність їх розподілу значною мірою залежать від частоти обертання ротора, його радіусу, а також від форми, кута нахилу та положення лопаток.

2. Жолобоподібна форма лопаток ефективніше знижує силу тертя добрив об стінки кожуха порівняно з плоскими або лопатками з бортами, забезпечуючи до 37% зменшення тертя.
3. Встановлення дефлектора над вивантажним вікном робочого органу дозволяє коригувати траєкторію польоту добрив і підвищує точність їх розподілу.
4. Для забезпечення стабільної роботи розкидача на пересіченій місцевості доцільно застосовувати систему стабілізації бічного крену, що зберігає агротехнічні показники внесення добрив.

3 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Оцінка схеми низькорамного розкидання

Для вивчення процесу внесення органічних добрив, з урахуванням аналізу існуючих машин, робочих органів і схем їх роботи, на базі лабораторії було вдосконалено дослідний зразок установки для внесення добрив (рис. 3.1). За основу розкидача взято попередній дослідний зразок, який надалі був удосконалений для підвищення ефективності розподілу матеріалу.

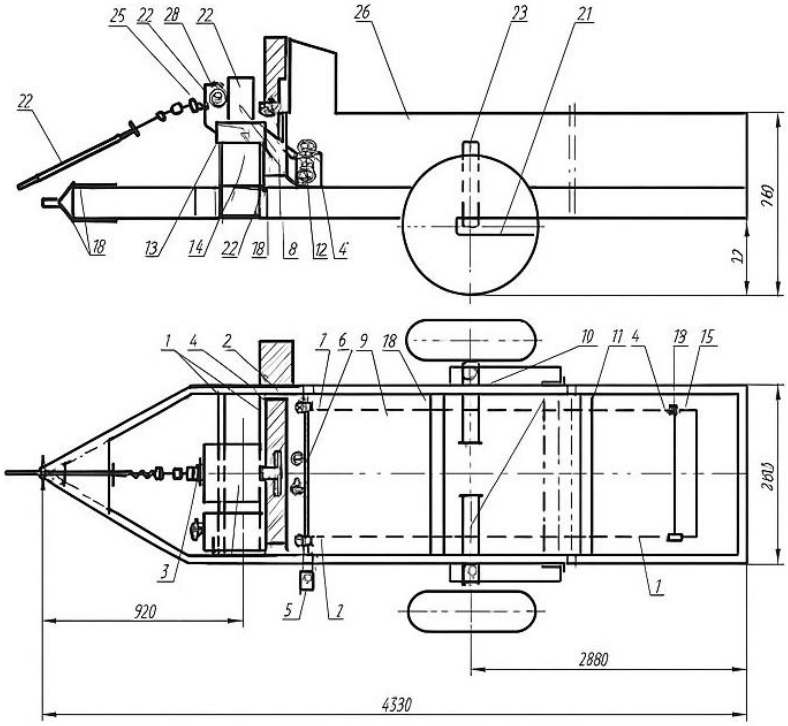


Рисунок 3.1 - Схема низькорамного розкидання :

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 установки виготовлено на базі рами автомобіля ГАЗ-53, яка змонтована на дві півосі з гідроциліндром, що забезпечує регулювання кута нахилу кузова відповідно до схилу поверхні поля. Це дозволяє розкидачу збільшити дорожній просвіт та забезпечує безперешкодне транспортування. На рамі розміщено приймальний бункер від машини ПБ-2 зі стрічковим транспортером.

Перед похилою ділянкою стрічкового транспортера встановлено барабан з роторним робочим органом, виготовлений за аналогією з вентилятором-швирялкою роторного причіпного комбайна (рис. 3.2). Згідно з експериментальними дослідженнями, оптимальна кількість лопатей у роторних робочих органах становить 4–5, тому в дослідному зразку використано п’ять лопатей, що зменшує навантаження на робочий орган завдяки зниженню об’ємної маси переміщуваного шару. Привід робочого органу здійснюється через редуктор і карданну передачу від ВОМ трактора.

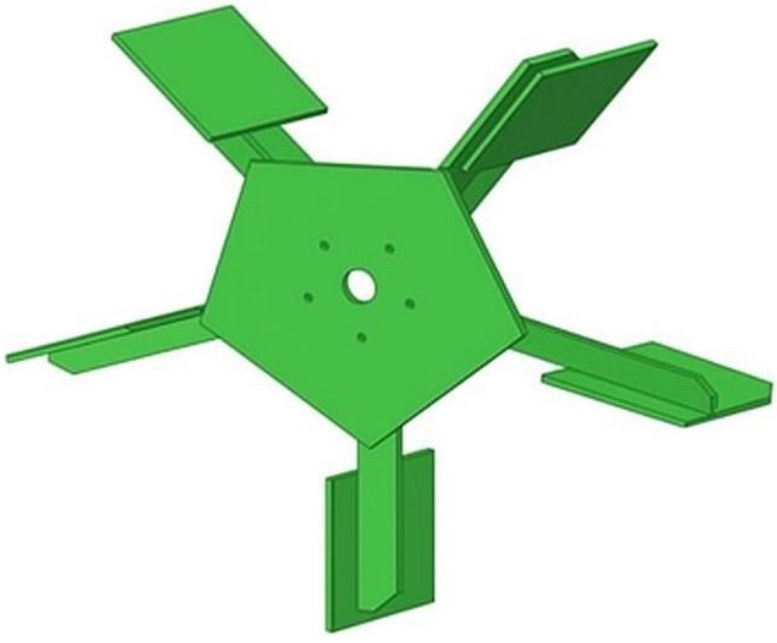


Рисунок 3.2. - Модель експериментального робочого органу роторного типу.

Викид добрив здійснюється через вивантажне вікно квадратного перерізу 250×250 мм. Привід стрічкового транспортера здійснюється гідромотором, що

дає змогу регулювати швидкість його руху безпосередньо з кабіни трактора, а отже, контролювати кількість добрив, що подаються до робочого органу. Для спрямованого подання добрив до ротора застосовано шнек, який приводиться в рух ланцюговою передачею від валу редуктора.

Детальна схема подання добрив до робочого органу наведена на рисунку 3.3. Для проведення випробувань та підтвердження теоретичних розрахунків було виготовлено три типи лопаток: плоскі (рис. 3.4 а), з бортами (рис. 3.4 б) та жолобоподібні (рис. 3.4 в).

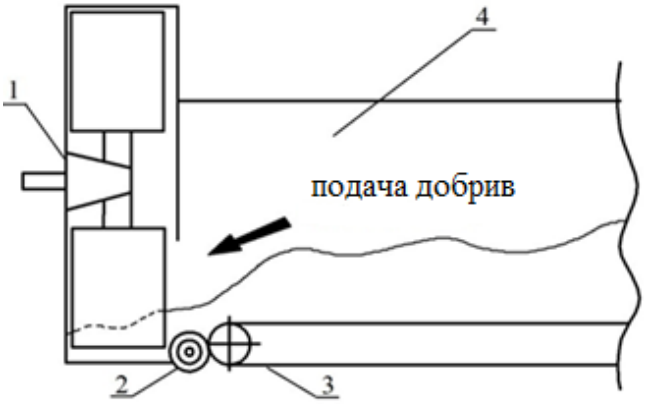
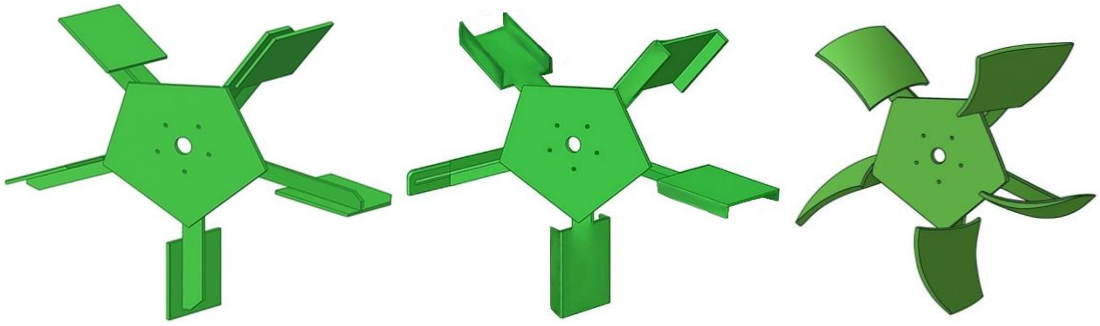


Рисунок 3.3 - Схема подання добрив до робочого органу де 1 - пневмомеханічний робочий орган роторного типу; 2 - шнек-живильник; 3 - стрічковий транспортер; 4 - кузов розкидання з добривами



а) б) в)

Рисунок 3.4 – Схеми лопаток

Лопатки виготовлені зі сталі товщиною 3 мм, їх габаритні розміри становлять 200×200 мм, що забезпечує ефективне захоплення та викидання поданого матеріалу. Кріплення здійснюється за допомогою болтів до лопаті

ротора. Для жолобоподібних лопаток передбачене додаткове посилення для надійнішого закріплення.

Габарити та форма кузова визначені на основі наявних напрацювань [3]. Кузов має призматичну форму з кутом нахилу бортів 55°, що перевищує кут природного укосу добрив, що сприяє більш рівномірному їх розташуванню (рис. 3.5). Максимальна місткість кузова становить 5 т добрив.

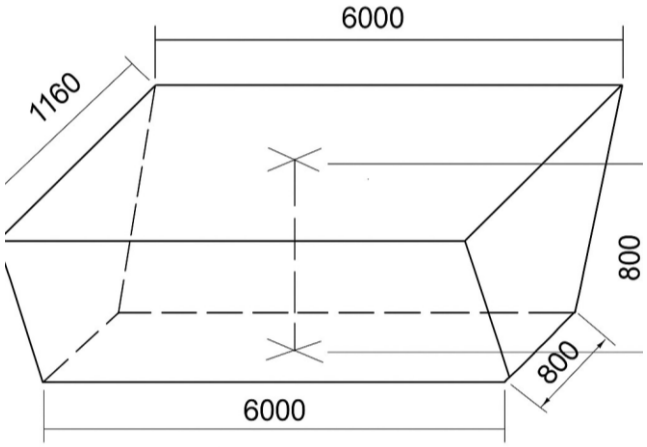


Рисунок 3.5 - Форма кузова розкидання органічних добрив.

Швидкість руху стрічкового транспортера була обрана на основі даних [13] і становить 0,0008…0,013 м/с, що забезпечує рівномірне подання добрив до робочого органу при нормах внесення 0,1…2 т/га.

Для зручності завантаження розкидача самоскидами будь-якого типу конструкцію виконано низькорамною. Півосі опускаються в нижнє положення, паралельно поверхні поля, після чого здійснюється завантаження автомобіля-самоскида. У такому положенні дорожній просвіт між розкидачем та поверхнею поля складає 300 мм (рис. 3.6). Після завантаження колінчасті півосі піднімають кузов у робоче положення відповідно до агрофону, що дозволяє підтримувати необхідний дорожній просвіт під час роботи.

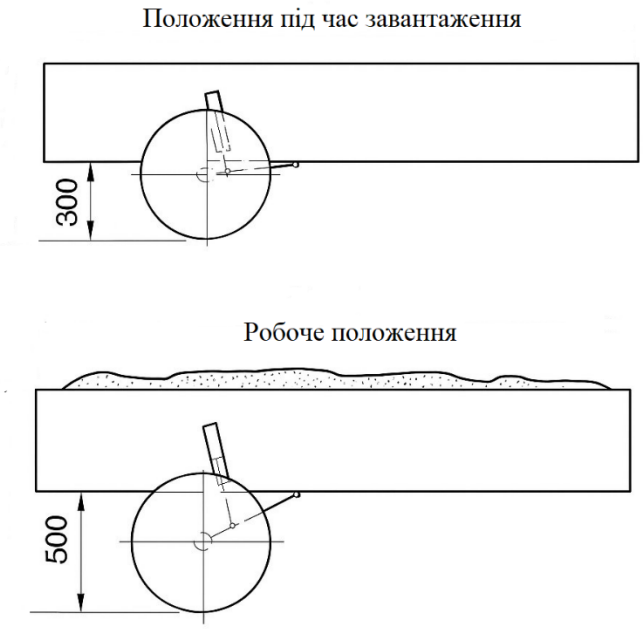


Рисунок 3.6 - Величина дорожнього просвіту розкидання при за вантаженню і в робочому положенні.

Технологія завантаження розкидача залежить від відстані між сховищем добрив та полем, на яке здійснюється внесення. У випадках, коли поле розташоване поруч із сховищем, завантаження можна виконати без використання самоскидів: гранульовані добрива, як правило, фасовані в мішки по 500 кг, піднімають спеціальним краном-вантажувачем над кузовом розкидача, після чого роблять розріз мішка і висипають добрива безпосередньо в кузов.

У більшості випадків завантаження здійснюється за допомогою самоскидів. Технологічна схема передбачає, що автомобіль-самоскид спершу завантажується добривами у сховищі, доставляє їх до місця роботи розкидача і перевантажує в його кузов (рис. 3.7). Для зручності розподілу добрив кузов розкидача умовно ділиться на два сектори: спочатку заповнюється перший сектор приблизно наполовину, агрегат проїжджає 2–3 м, після чого завантажується другий сектор, що забезпечує рівномірний розподіл матеріалу в кузові.

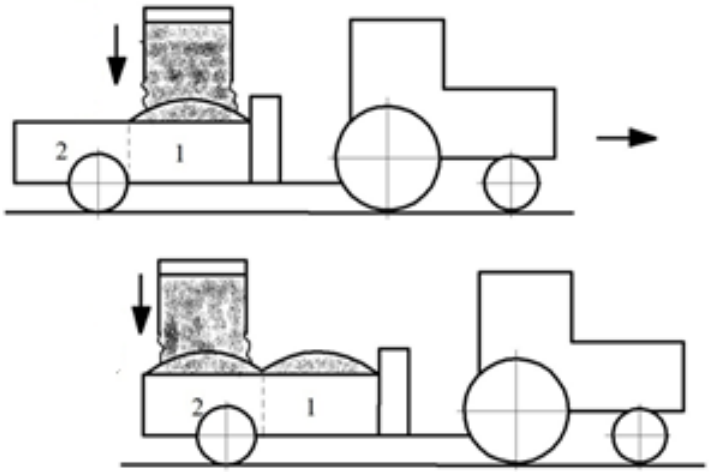


Рисунок 3.7 - Схема завантаження розкидання

Слід зазначити, що залежно від норми внесення добрив і відстані між полем та сховищем, для забезпечення безперебійної роботи розкидача доцільно використовувати два автомобілі-самоскиди одночасно.

Для визначення оптимального поєднання параметрів і режимів роботи розкидача органічних добрив та оцінки їх впливу на рівномірність внесення необхідно побудувати математичну модель технологічного процесу внесення добрив і провести багатофакторний експеримент. Для цього застосовано рототабельний композиційний план другого порядку.

Для коректного моделювання процесу внесення добрив на полі математична модель повинна враховувати всі чинники, що впливають на дальність вильоту добрив. Ігнорування хоча б одного значущого чинника може призвести до хибної інтерпретації явищ, що відбуваються під час внесення, і, як наслідок, до помилок у прийнятті рішень на основі моделі.

У дослідженні складного процесу внесення добрив, який підпорядкований великій кількості факторів, заздалегідь не було відомо, які з них є найбільш значущими. Тому необхідно було виділити основні чинники на фоні менш впливових.

Зважаючи на те, що традиційні методи визначення істотних чинників, такі як регресійний аналіз, потребують великої кількості експериментів і значних часових витрат на обробку даних, для нашого дослідження застосовано метод

наднасичених факторних планів. Цей підхід дозволяє визначити вплив факторів без проведення численних експериментів і значної витрати часу.

3.2 Аналіз результатів розподілу органічних добрив

Вивчення процесу розподілу органічних добрив за допомогою роторного робочого органу з горизонтальною віссю обертання, змонтованого на експериментальному низькорамному розкидачі, проводилися безпосередньо в польових умовах відповідно до методичних вказівок [16, 21].

Перед початком експерименту фіксували метеорологічні умови, здатні впливати на рівномірність розсіювання добрив, зокрема швидкість вітру, температуру повітря та його відносну вологість [21].

Для забезпечення коректності випробувань кузов розкидача завантажували органічними добривами у межах його номінальної вантажопідйомності та об’єму.

На етапі підготовчих випробувань у стаціонарних умовах визначали основні технологічні параметри роботи роторного органу, зокрема ширину та довжину смуги розсіювання, форму лопаток та оптимальні налаштування дефлектора, які забезпечують максимально ефективний і рівномірний викид добрив.

Для оцінки розподілу на полі розміщували пробовідбірники розміром 0,5×0,5 м у вісім рядів, щільно примикаючи один до одного, при цьому довжина кожного ряду складала 24 м. Така організація експериментальної ділянки дозволяла отримати повну характеристику поперечного профілю розсіювання добрив (рис. 3.14).

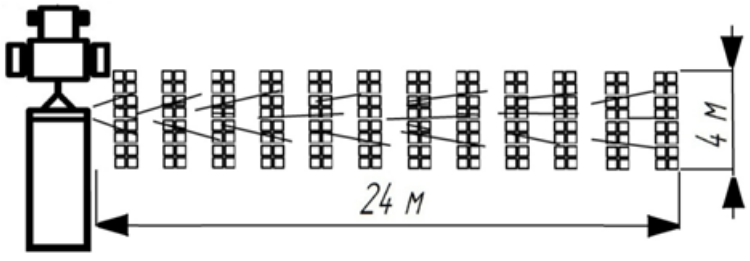


Рисунок 3.8 - Схематичне зображення розташування пробовідбірників на полі під час стаціонарних експериментальних випробувань

Після проведення стаціонарних випробувань, з метою визначення оптимальної швидкості руху розкидача та оцінки рівномірності внесення добрив у динаміці, було організовано польові експерименти з рухом машини. Для цього обрали майданчик площею 240 м² (довжина – 10 м, ширина – 24 м).

На дослідній ділянці розміщували 56 пробовідбірників, кожен з яких мав площу 1 м². Розстановка здійснювалася у шаховому порядку в 10 рядів з міжосьовою відстанню 1 м, що дозволяло отримати детальну характеристику просторового розподілу добрив (рис. 3.9).

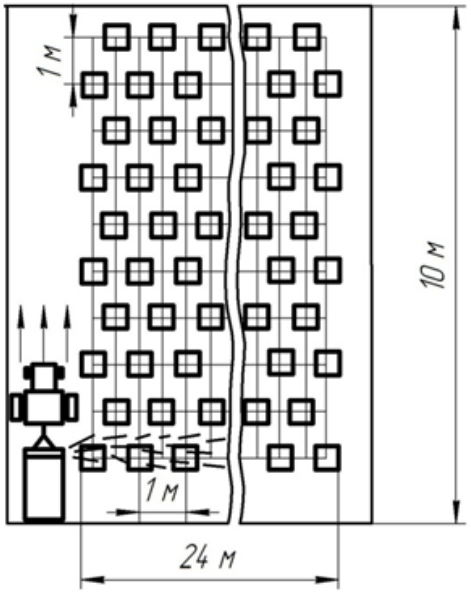


Рисунок 3.9 - Схема розташування пробовідбірників під час випробувань у русі

Експериментальні випробування виконувалися у трьох повторностях із застосуванням різних режимів роботи агрегату та комбінацій параметрів розкидання органічних добрив. Під час досліджень рух машини підтримували на постійній швидкості 1,38 м/с.

Активацію роторного робочого органу здійснювали за 15 м до початку контрольного майданчика. Після проходження експериментальної ділянки

проводилося зважування пробовідбірників із зібраними добривами, а результати заносилися до журналу спостережень.

Подальша обробка експериментальних даних виконувалася із використанням статистичних та математичних методик, що забезпечувало кількісну оцінку рівномірності розподілу добрив та ефективності роботи робочого органу в різних експлуатаційних режимах.

Нерівномірність розподілу добрив по довжині смуги розсівання для трьох типів лопаток визначали в лабораторних умовах на стаціонарі з триразовою повторністю (рис. 3.10). По всій довжині та ширині смуги розсівання розміщували кювети розміром 0,5×0,5 м. Після заповнення кювет добривами проводили їх послідовне зважування та фіксували результати. Подальші розрахунки виконували в середовищі Microsoft Office Exce.

Рисунок 3.10 – Визначення нерівномірності внесення добрив на стаціонарі

Визначено характер розподілу добрив уздовж довжини смуги розсівання. За результатами вимірювань коефіцієнт варіації розподілу добрив становив: для плоских лопаток - 17,3%**,** для лопаток з бортами - 15,7%**,** а для жолобоподібних - 14,2%**.**

Таким чином, жолобоподібні лопатки забезпечують найвищу рівномірність розподілу добрив по площі. Проте під час візуального спостереження процесу внесення на ділянці довжиною близько 6 метрів спостерігалося розшарування потоку та утворення вертикального віяла часток**.**

Це явище підтверджується результатами розрахунків нерівномірності в зоні розсівання: на графіку помітний різкий стрибок у бік збільшення дози на цій ділянці. Таке перевантаження пояснюється тим, що потік добрив у цій зоні втрачає щільність, зменшується швидкість руху часток, унаслідок чого відбувається локальне накопичення добрив.

Польові випробування процесу розкидання органо-мінеральних добрив дали змогу визначити найбільш ефективну форму лопаток для забезпечення максимальної робочої ширини внесення. Встановлено, що жолобоподібна форма лопаток сприяє концентрації маси добрив у центральній частині лопатки, формуючи щільніший і спрямованіший потік порівняно з плоскими або лопатками з бортами.

Разом з тим, відсутність елемента, що коригує напрям потоку**,** призводить до розкидання часток різних фракцій по неоднакових траєкторіях**.** У результаті утворюється вертикальний віяловий розподіл добрив на периферійних ділянках, що спричиняє підвищення коефіцієнта варіації до 14,2 %**,** що є неприпустимим згідно з агротехнічними вимогами.

Для усунення цього недоліку доцільно застосувати дефлектор, який коригує напрям потоку добрив. З урахуванням проведених теоретичних досліджень подальші роботи мають бути спрямовані на визначення раціональної форми дефлектора, що забезпечить підвищення щільності потоку і зменшення коефіцієнта варіації розподілу добрив**.**

3.3 Вплив конструктивно-режимних параметрів дефлектора на траєкторію руху часток добрив

Для визначення найбільш раціональної форми дефлектора, що забезпечує рівномірність розподілу органічних добрив по поверхні ґрунту, було розроблено три варіанти конструкцій. Радіуси кривизни дослідних зразків становили відповідно 980 мм**,** 890 мм та 650 мм. Довжина кожного дефлектора мала телескопічне регулювання в межах від 935 мм до 565 мм з інтервалом 185

мм, що дозволяло змінювати геометричні параметри елемента та оцінювати їхній вплив на напрям і щільність потоку часток добрив (рис.3.11, 3.12).

Рисунок 3.11 – Дослідний зразок дефлектора з радіусом 980 мм

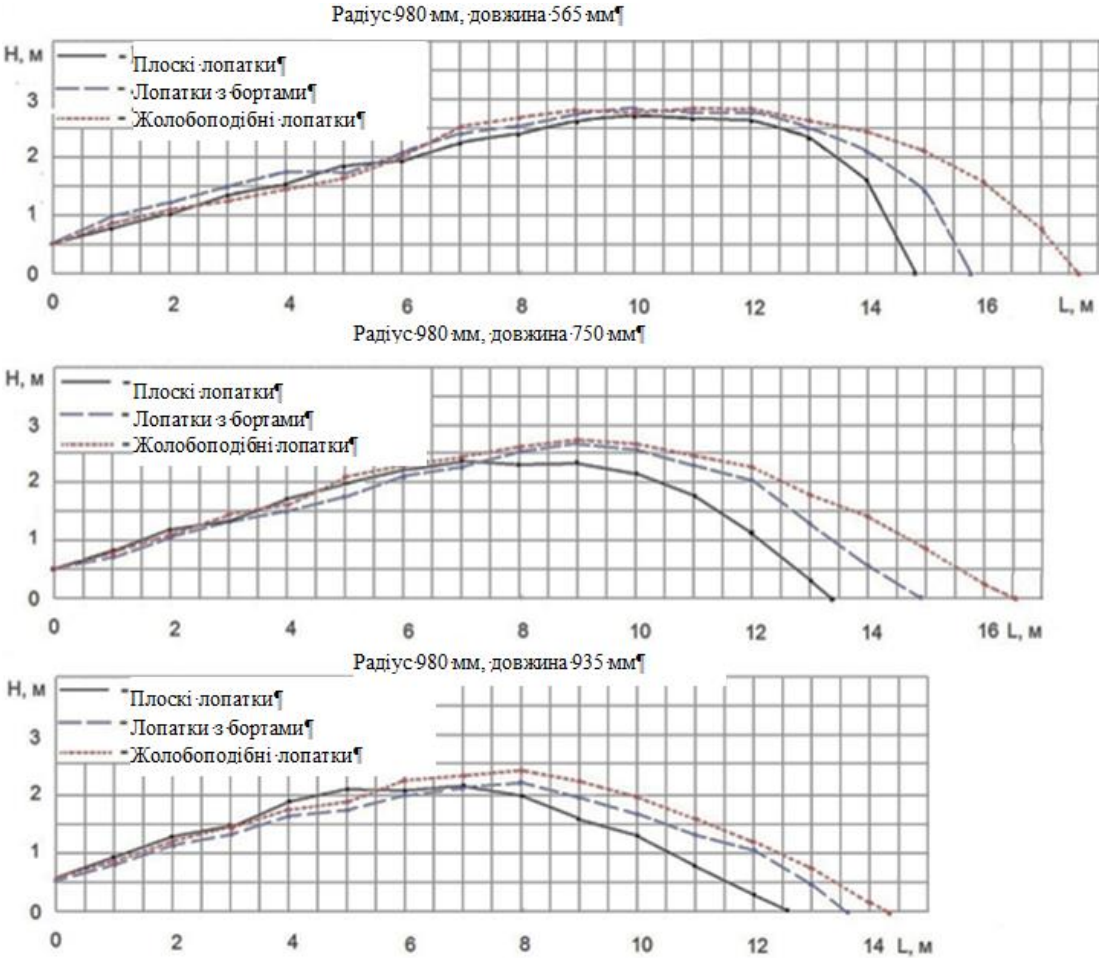


Рисунок 3.12 - Траєкторії польоту часток добрива при використанні дефлектора з радіусом 980 мм.

В першу чергу дослідження проводили на дефлекторі з найбільшим радіусом кривизни (980 мм) (рис. 3.12). Фактичні значення точок траєкторії польоту часток добрив визначали за допомогою відео- та фотозйомки відповідно до раніше описаної методики.

Телескопічний дефлектор із радіусом 890 мм (рис. 3.13) показав залежність висоти та дальності польоту часток від довжини висунення. При зменшенні радіуса кривизни пікова висота траєкторії знизилася до 2–2,5 м, а дальність польоту зменшилася до 16 м. Зміна радіусу вплинула на форму траєкторії в початковій точці руху добрив, що свідчить про важливість підбору оптимальних геометричних параметрів дефлектора для забезпечення рівномірного розподілу матеріалу.

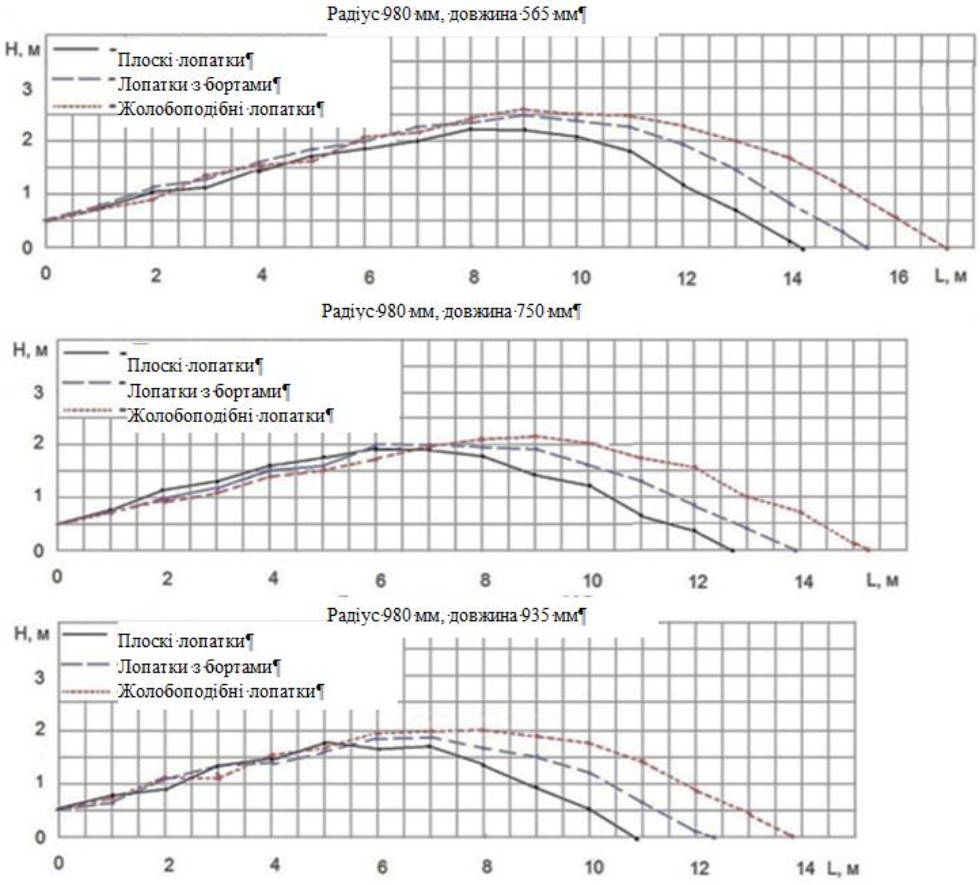


Рисунок 3.13 - Траєкторії польоту часток добрива при використанні дефлектора з радіусом 890 мм.

Випробування дефлектора з радіусом 650 мм показали, що максимальна дальність польоту часток добрив не перевищує 12 м, а при максимальній довжині висунення 935 мм спостерігається фронтальний викид. У цьому

випадку початкові точки траєкторії стають піковими, що призводить до зменшення дальності польоту часток до 8 м. Така форма траєкторії є менш ефективною для рівномірного розподілу добрив, оскільки значна частина матеріалу зосереджується в центральній зоні потоку, а периферійні ділянки залишаються недообробленими.

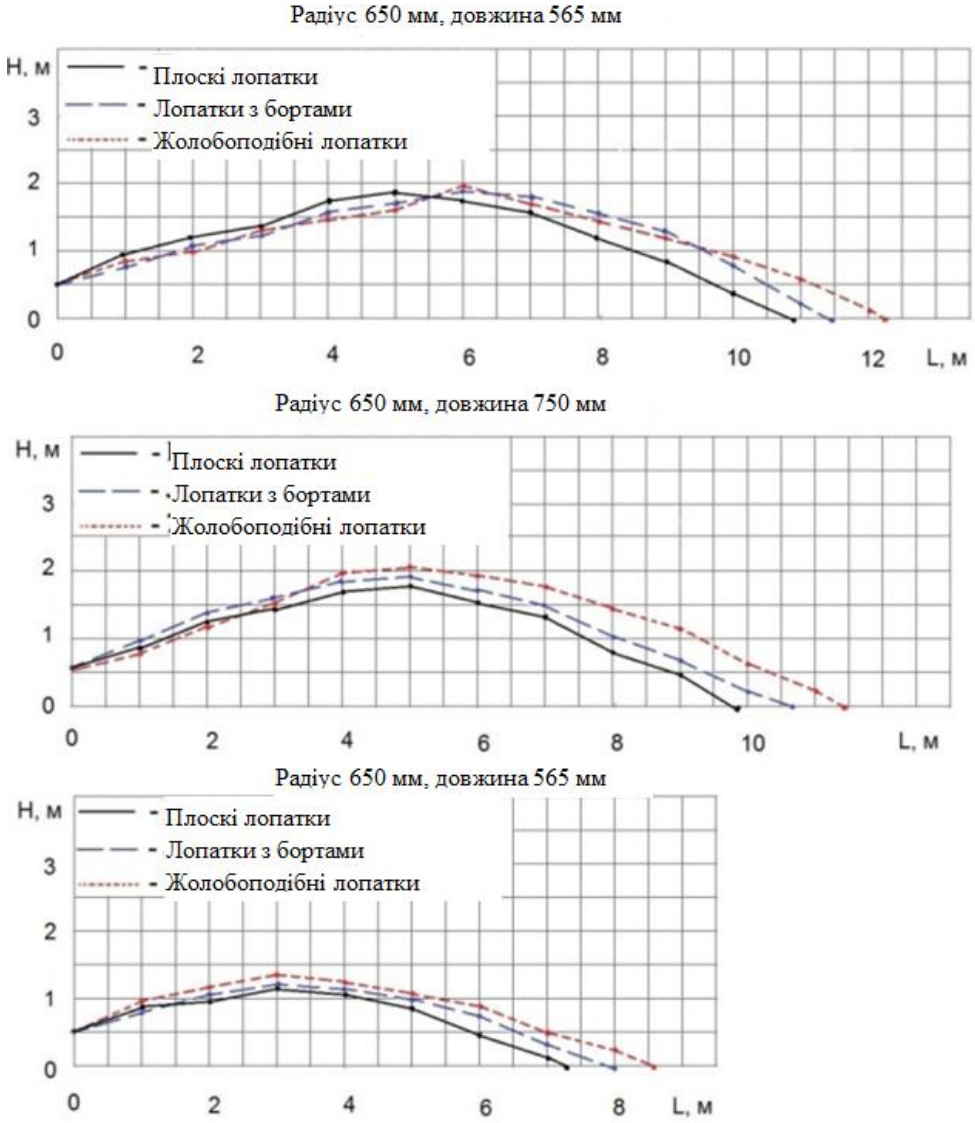


Рисунок 3.14 - Траєкторії польоту часток добрива при використанні дефлектора з радіусом 650 мм

Аналіз усіх кривих траєкторії для основних параметрів дефлектора, таких як довжина, радіус і форма лопаток, здійснювався графічно. Ключовими критеріями оцінки були дальність вильоту часток та висота траєкторії польоту. Для цього визначали середнє значення трьох максимальних дальностей і

пікових точок траєкторії для кожного варіанту дефлектора, а отримані залежності відображені на рисунку 3.14

З аналізу даних (рис. 3.15) виділяються дві взаємозворотні закономірності: по-перше, збільшення радіусу дефлектора сприяє зростанню дальності вильоту і висоти траєкторії; по-друге, збільшення довжини дефлектора призводить до зменшення дальності та пікової висоти траєкторії.

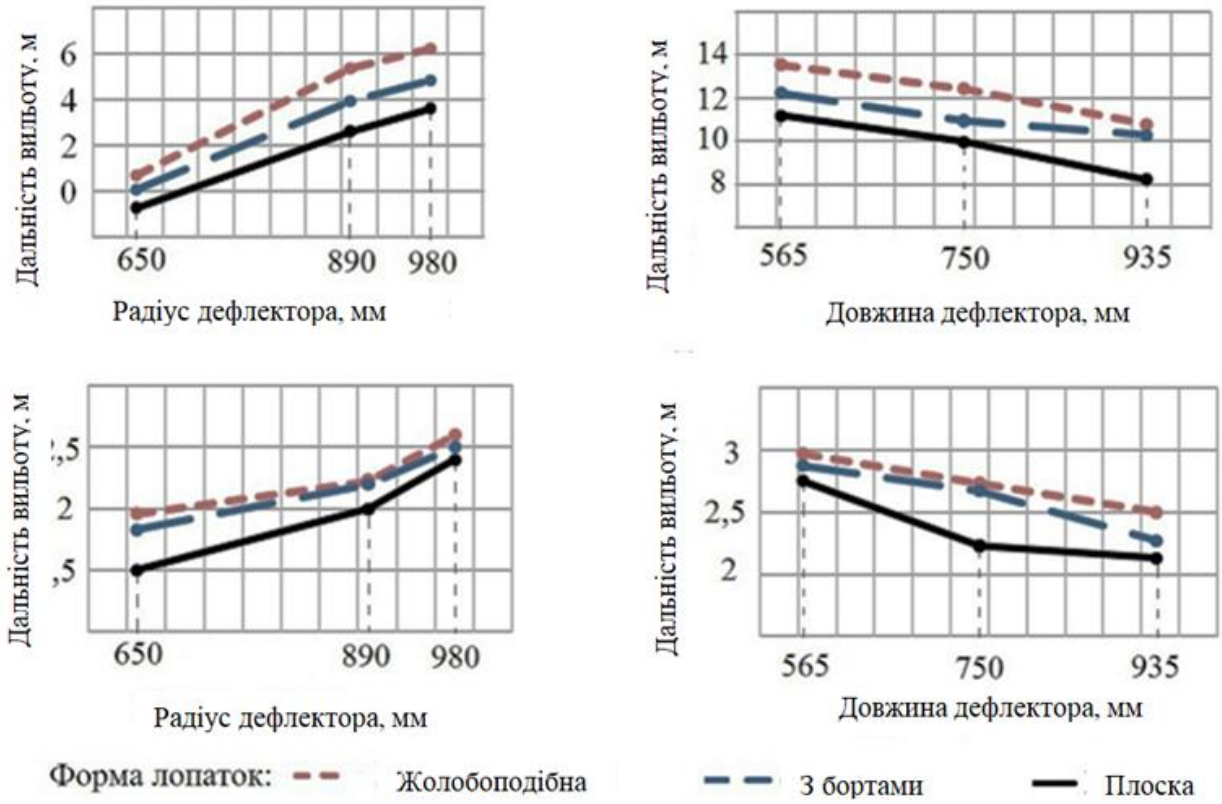


Рисунок 3.15 - Загальна оцінка роботи розкидання при різних параметрах дефлектора

Найбільш раціональними параметрами дефлектора, що забезпечують зниження пікових точок траєкторії без втрати дальності польоту і продуктивності розкидання, є: радіус 980 мм, довжина 565 мм, форма лопатки – жолобоподібна. При подальшому збільшенні довжини або зменшенні радіусу продуктивність машини знижується. Пікова висота траєкторії польоту в цих умовах становить 2,5–3 м, що забезпечує ущільнення потоку добрив і зменшення вертикального віялового розподілу часток.

Водночас, відповідно до результатів розділу, досліджувалася можливість додаткового зниження пікових точок траєкторії за рахунок використання параболічного дефлектора завдовжки 565 мм, форма якого повторює траєкторію руху тіла, кинутого під кутом до горизонту. Випробування показали, що параболічний дефлектор у комбінації з різними формами лопаток зменшує вертикальний віяловий розподіл легких фракцій гранульованих добрив.

Найменша пікова висота траєкторії при такому дефлекторі досягала 2,8 м (рисунок 3.16), а дальність вильоту збільшилася до 18 м. Таким чином, форма дефлектора, наближена до траєкторії руху твердого тіла під кутом до горизонту, забезпечує одночасне зростання дальності польоту та ущільнення потоку добрив для всіх випробовуваних типів лопаток.

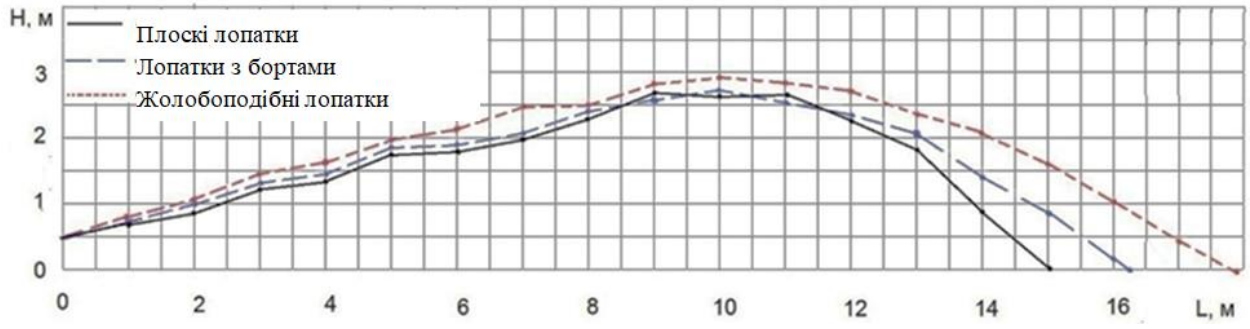


Рисунок 3.16 - Крива траєкторії польоту часток добрива при використанні параболічного дефлектора.

Для оцінювання впливу конструктивних параметрів дефлектора на рівномірність розподілу добрив було проведено визначення міри нерівномірності вздовж смуги розсіювання за різних геометричних параметрів дефлектора. Дослідження виконувалися у стаціонарних умовах за методикою, описаною у попередньому розділі, із застосуванням кювет для збору гранул. Норма внесення становила 500 кг/га, а довжина смуги розсіювання -18 м, що приймалося еталонним значенням для жолобоподібних лопаток.

Результати випробувань і подальшої обробки даних роботи дефлектора з радіусом 980 мм показали, що при використанні жолобоподібних лопаток відхилення фактичної дози внесення від заданої досягало до 10 % у бік збільшення (рис. 3.17). При цьому коефіцієнт варіації зменшувався з 9,88 до

9,03 із ростом довжини висунення дефлектора. Переналаштування системи подачі матеріалу для забезпечення норми 500 кг/га на меншу робочу ширину не проводилось.

Під час роботи з плоскими лопатками спостерігалося перевищення розрахункової дози внесення по всій ширині смуги розсіювання. Як і у випадку з жолобоподібними лопатками, збільшення довжини дефлектора призводило до зниження коефіцієнта варіації з 14,12 до 10,23.

Схожа закономірність спостерігалась і для лопаток з бортами, де нерівномірність розподілу змінювалась у межах від 11,18 до 9,87, що також свідчить про покращення рівномірності розсіювання при збільшенні довжини дефлектора.

За результатами проведених досліджень встановлено, що допустимий коефіцієнт варіації розподілу добрив забезпечується при застосуванні жолобоподібних лопаток незалежно від положення дефлектора, а також лопаток із бортами за умови максимального висунення дефлектора до 935 мм**.** Дослідження дефлектора з радіусом 980 мм (рис. 3.17) підтвердили тенденцію до зменшення коефіцієнта варіації зі збільшенням довжини дефлектора. При роботі дефлектора довжиною 935 мм значення коефіцієнта нерівномірності розподілу не перевищувало 10 % для всіх типів лопаток. Найкращі показники рівномірності внесення (коефіцієнт варіації 9,57 %) отримано при використанні жолобоподібних лопаток.

Як показано на рисунку 3.18, застосування плоских лопаток призводить до перевищення розрахункової дози внесення добрив у більшості точок смуги розсіювання, що свідчить про необхідність індивідуального регулювання подачі матеріалу для кожного типу лопаток та положення дефлектора.

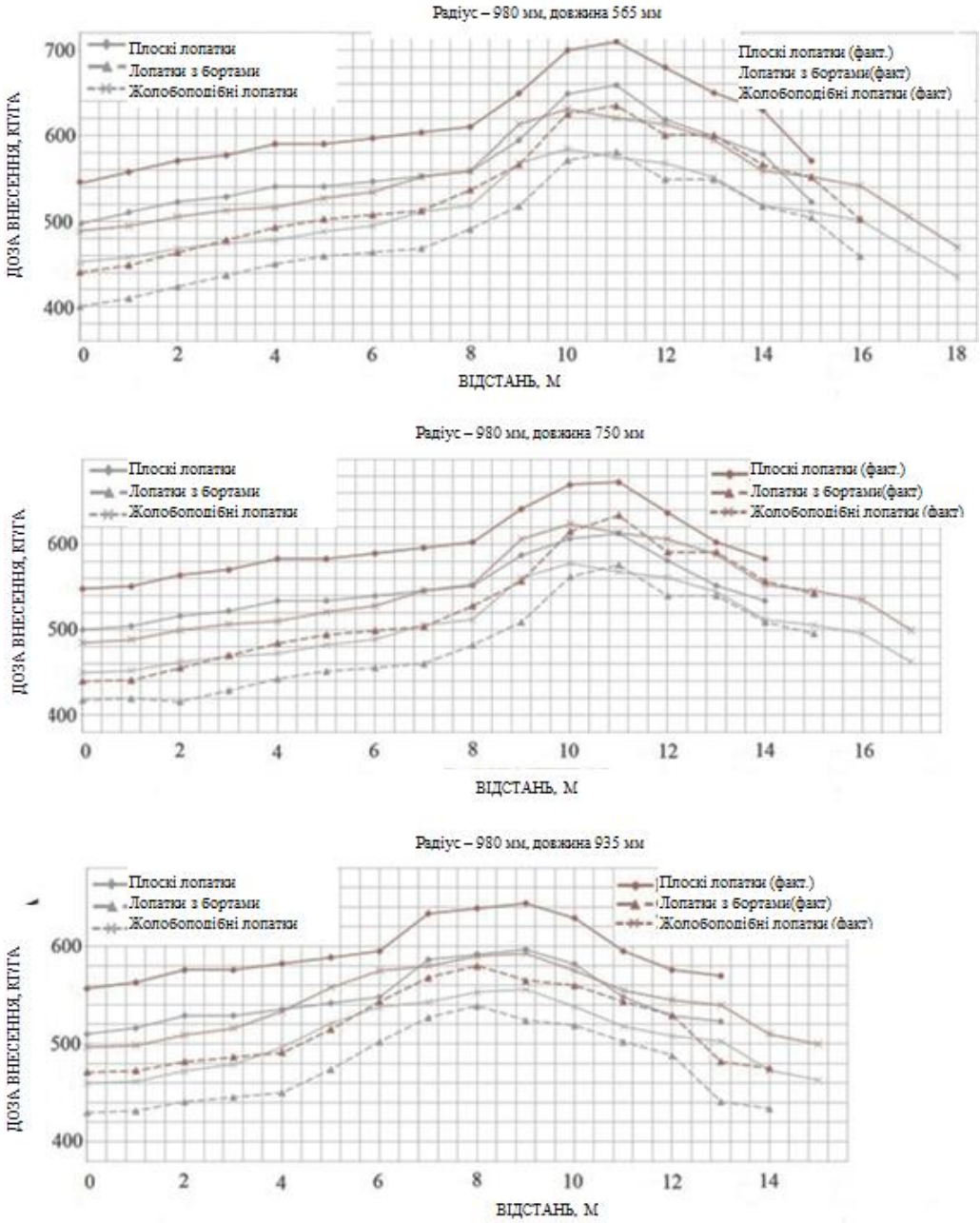


Рисунок 3.17 - Характер розподілу добрив при використанні дефлектора з радіусом 980 мм

Порівняння результатів експериментів засвідчило, що дефлектор із радіусом 980 мм відрізняється від попередніх варіантів зміщенням зони перевищення дози внесення приблизно на 2 м ближче до розкидача. Ця зона збігається з ділянкою формування віялоподібного вертикального розподілу часток добрив, що пояснюється зміною напрямку початкової швидкості потоку під дією збільшеного радіуса кривизни дефлектора.

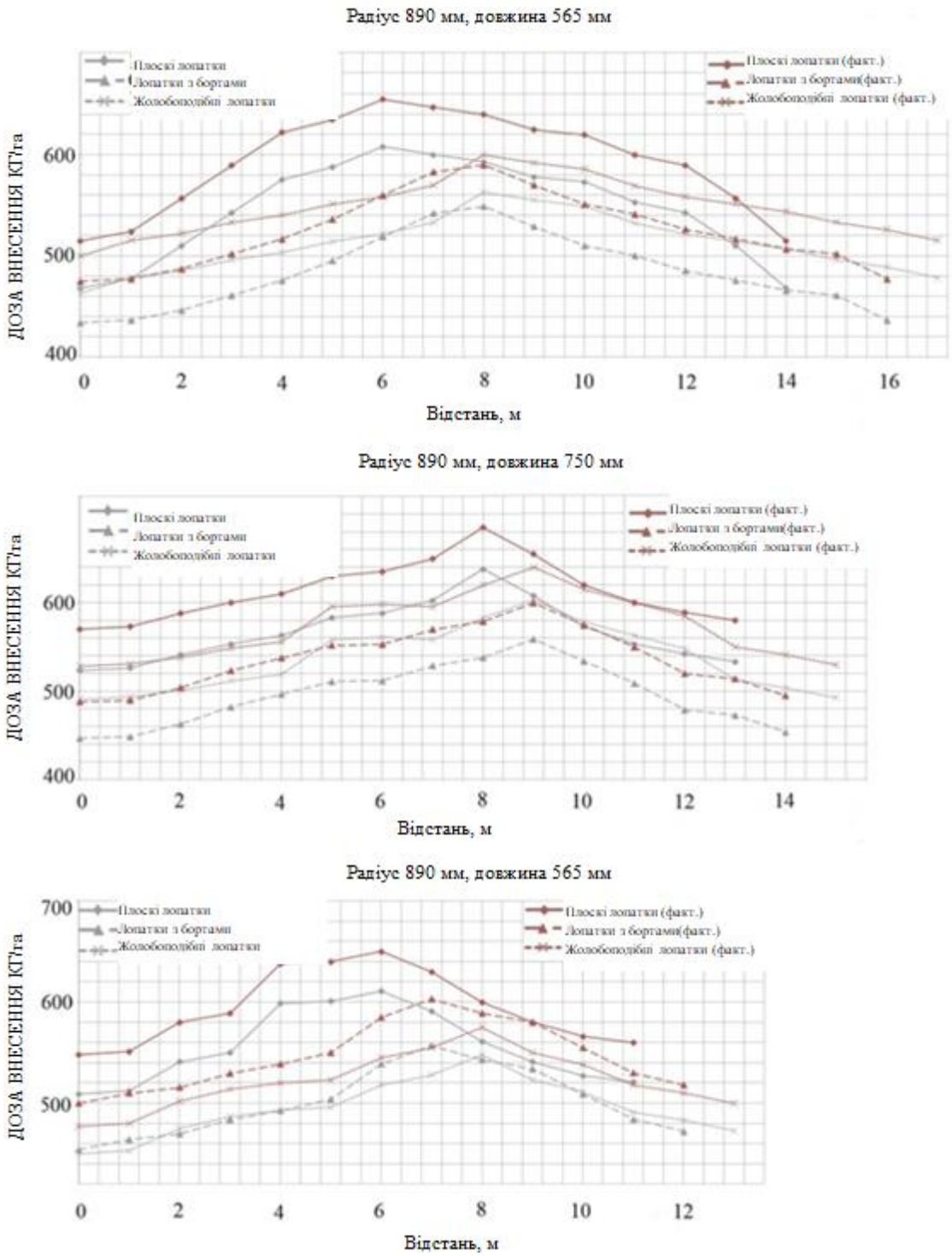


Рисунок 3.18 - Характер розподілу добрив при використанні дефлектора з радіусом 890 мм.

Після опрацювання експериментальних даних, отриманих під час роботи розкидача з дефлектором довжиною 650 мм, встановлено, що завдяки формуванню щільного потоку гранульованих часток забезпечується достатньо рівномірне внесення добрив незалежно від типу лопаток (рис. 3.19).

При цьому коефіцієнт варіації не перевищував допустимих меж, однак було зафіксовано перевищення заданої дози внесення майже удвічі.

Для досягнення нормативної дози розподілу необхідно або зменшити швидкість руху агрегату до допустимого рівня, або знизити подачу добрив удвічі. Проте такий підхід виявився малоефективним, оскільки в цьому режимі робоча ширина смуги розсіювання зменшується до приблизно 10 м, що негативно впливає на продуктивність агрегату.

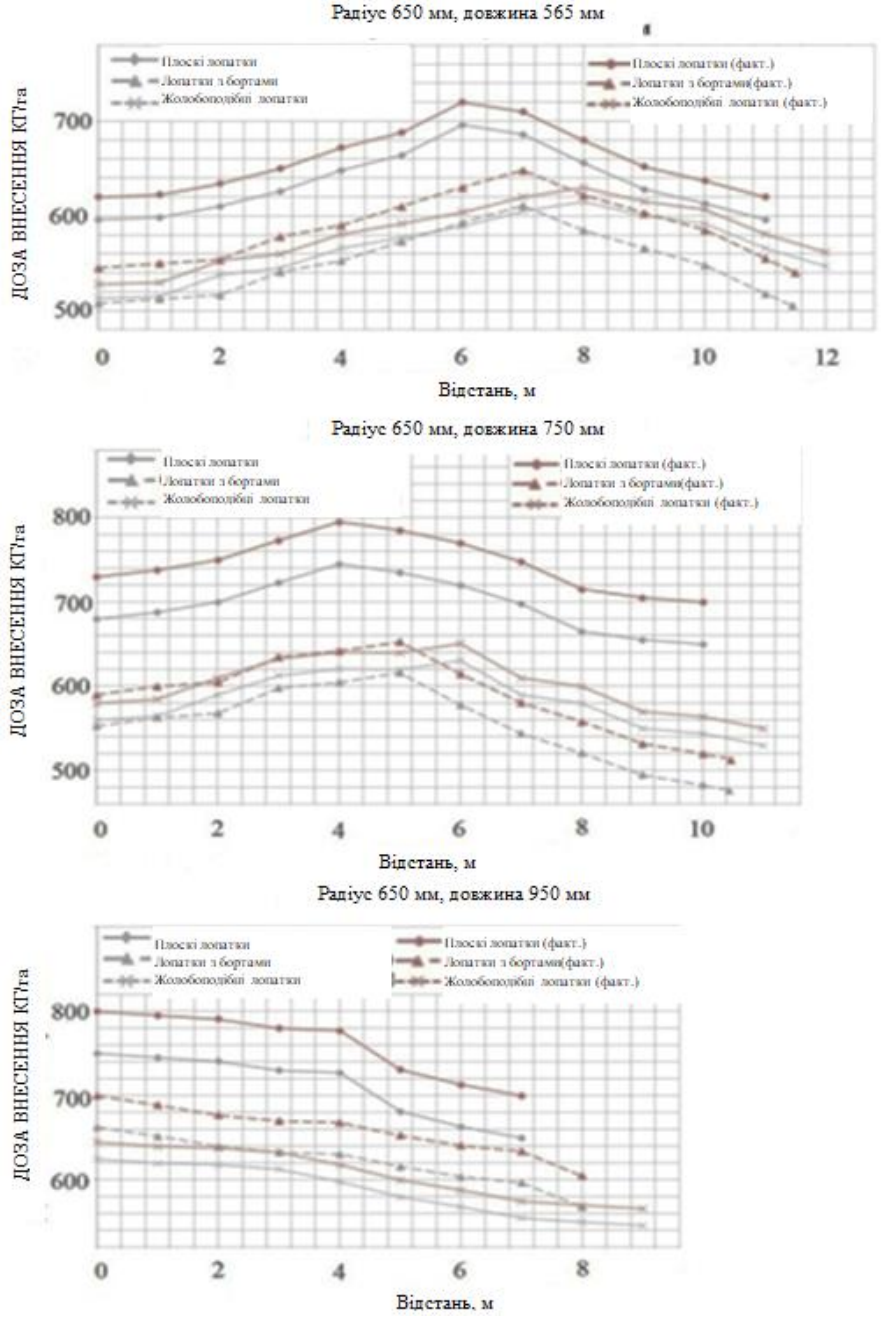


Рисунок 3.19 - Характер розподілу добрив при використанні дефлектора з радіусом 650 мм.

Випробування показали, що збільшення радіусу та довжини дефлектора сприяє підвищенню рівномірності розподілу добрив. Проте при цьому довжина смуги розсіювання, яку забезпечує такий дефлектор, складає 10–12 м, що є низькопродуктивним та не відповідає сучасним стандартам машин для внесення добрив, які забезпечують робочу ширину до 25 м.

Для досягнення більшої робочої ширини в перспективі можна підвищувати частоту обертання робочого органу, однак це призведе до збільшення відсотка дроблення добрив, а також витрат праці та фінансових ресурсів.

Аналіз траєкторій польоту з використанням дефлекторів параболічної форми показав можливість збільшення дальності розсіювання до 18 м при одночасному зменшенні вертикального віялового розподілу часток (рис. 3.20). Тому було проведено перевірку рівномірності внесення добрив при роботі з дефлектором цієї форми і довжини 565 мм.

Результати випробувань показали аналогічні тенденції, що і для дефлектора з радіусом 980 мм. Найбільш ефективними виявилися жолобоподібні лопатки (рис. 3.29), для яких коефіцієнт варіації складав 9,83, а відхилення від заданої дози — 8 %.

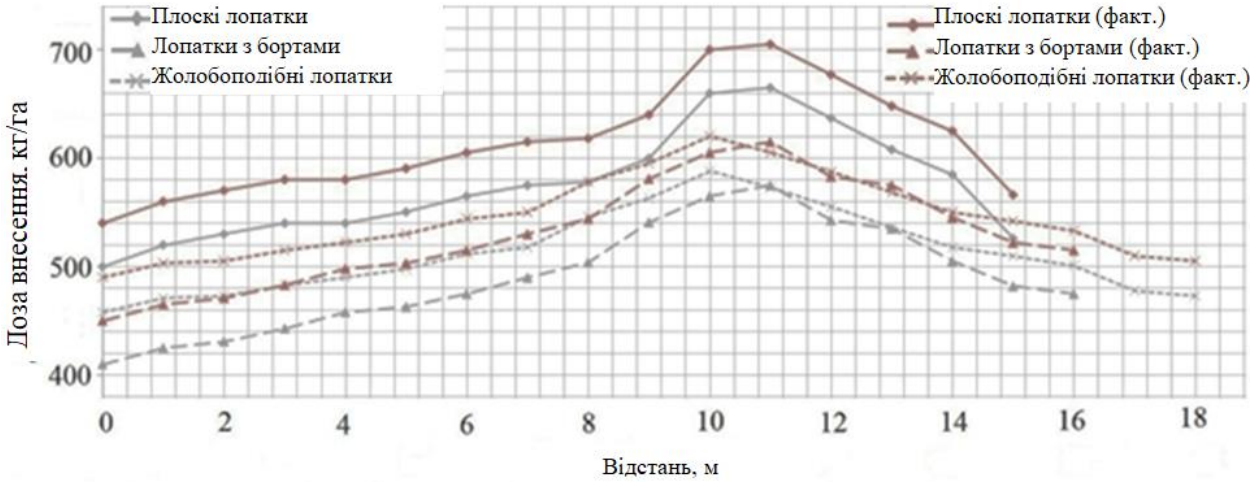


Рисунок 3.29 - Характер розподілу добрив з використанням параболічного дефлектора завдовжки 565мм

В результаті проведених досліджень найбільш ефективним варіантом, з точки зору поєднання дальності вильоту добрив та рівномірності їх розподілу, виявилося розкидання з параболічним дефлектором довжиною 565 мм.

На основі отриманих експериментальних даних, за допомогою Microsoft Office Excel, побудували полігон розсівання добрив. При цьому встановлено, що мінімальна ширина смуги розсівання була досягнута при використанні жолобоподібних лопаток і склала 1,1 м, тоді як плоскі лопатки забезпечили ширину 1,8 м, а лопатки з бортами — 1,4 м.

Дане дослідження ще раз підтвердило ефект ущільнення потоку добрив, що викидаються жолобоподібними лопатками.

Для перевірки раціональності обраних параметрів дефлектора було здійснено оцінку рівномірності розподілу гранульованих добрив у русі. Розкидання проводилося на агрегаті з трактором МТЗ-82 зі швидкістю 5,55 м/с, при налаштованій дозі 500 кг/га і робочій ширині внесення 18 м. Внесення виконували з поперемінним застосуванням лопаток різних форм у триразовій повторності.

На основі отриманих результатів, оброблених у програмі Microsoft Office, було побудовано епюри розподілу часток органічних добрив (рис. 3.30).

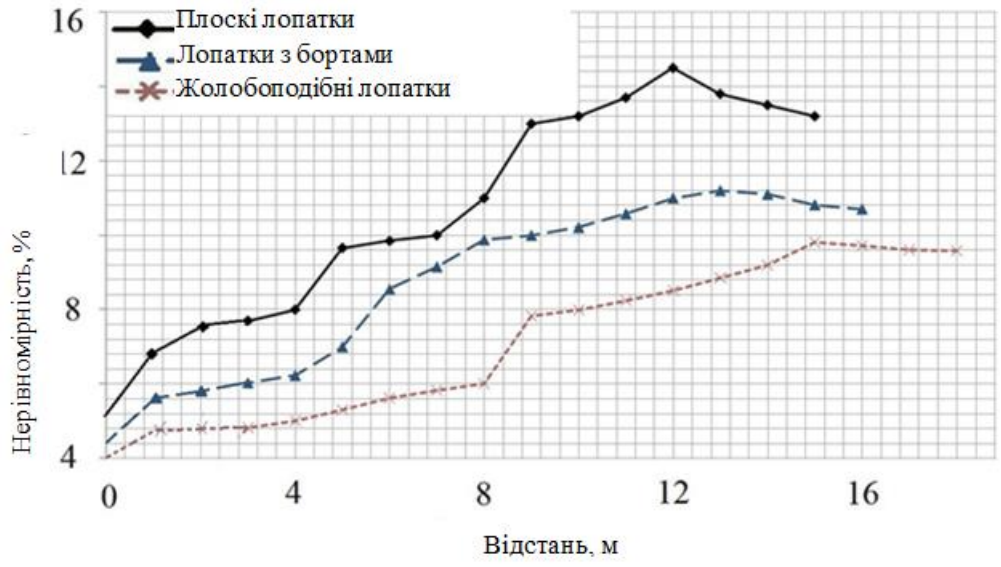


Рисунок 3.30 - Розподіл часток добрива при роботі з різними видами лопаток.

В результаті проведених досліджень коефіцієнт варіації складав: 14,5 для плоских лопаток, 11,2 для лопаток з бортами та 9,81 для жолобоподібних. Дослідження розкидання в русі повторно підтвердили, що використання жолобоподібних лопаток забезпечує необхідну агротехнічну рівномірність внесення добрив. Для забезпечення однакової норми внесення, перекриття в стикових проходах склало 1 м, що відповідає 5% загальної ширини внесення і задовольняє сучасним агровимогам.

У перспективі застосування дефлектора параболічної форми дозволяє досягти більш точного коригування траєкторії польоту часток добрива шляхом установки коригуючої заслінки в його кінцевій точці. Конструктивно заслінка може повторювати форму козирка силосопроводу кормового комбайна та регулюватися за допомогою тягового троса.

Після перевірки рівномірності внесення добрив визначили продуктивність експериментальної машини за годину змінного часу. Експериментальна низькорамна машина здатна забезпечувати якісне внесення добрив на швидкостях до 6 м/с, що відповідає агровимогам. При швидкостях понад 6 м/с розкидання може працювати лише після перенастроювання подачі та на полях із заздалегідь підготовленим рельєфом.

Продуктивність машини знаходиться у прямій залежності від швидкості руху агрегату (рис.3.31)

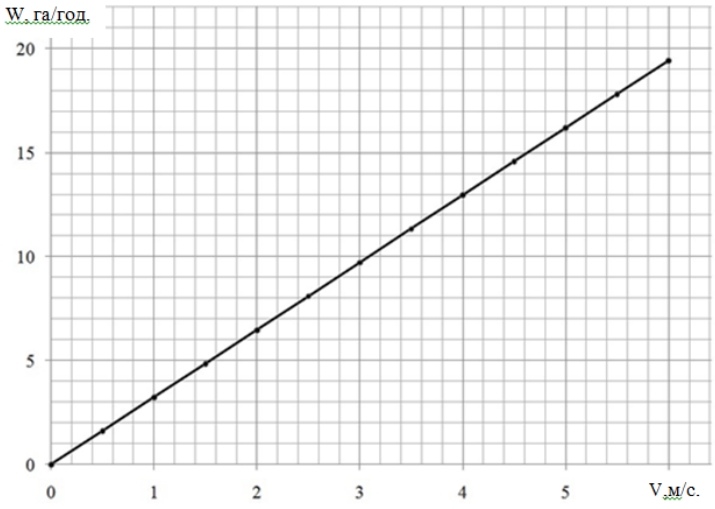


Рисунок 3.31 – Залежність продуктивності від швидкості руху агрегату

3.4 Експериментальна перевірка стабілізації розкидання на схилах

На схилах при русі розкидання упоперек нахилу виникає зсув вантажу, що призводить до нерівномірного надходження добрив до завантажувального вікна та порушення агротехнічних вимог. Для стабілізації роботи запропоновано пристрій з маятниковим датчиком, гідророзподільником і двома гідроциліндрами, з'єднаними з піввісями опорних коліс.

При бічному нахилі маятник підтримує вертикальне положення, активує гідросистему і повертає нижнє по схилу колесо, забезпечуючи горизонтальне положення кузова. Випробування показали, що при кутах схилу до 15° стрічковий транспортер забезпечує рівномірну подачу добрив та збереження заданої норми внесення.

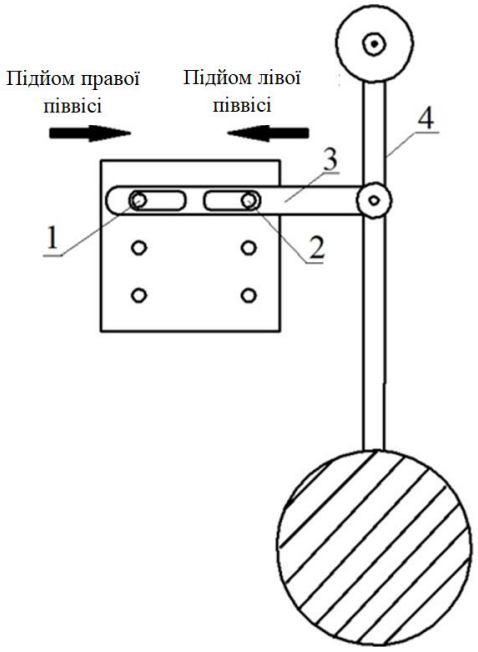


Рисунок 3.32 - Схема включення гідроциліндрів: де 1 - важіль включення правого гідроциліндра; 2 - важіль включення лівого гідроциліндра; 3 - золотник гідророзподільника з пазами; 4 - маятник.

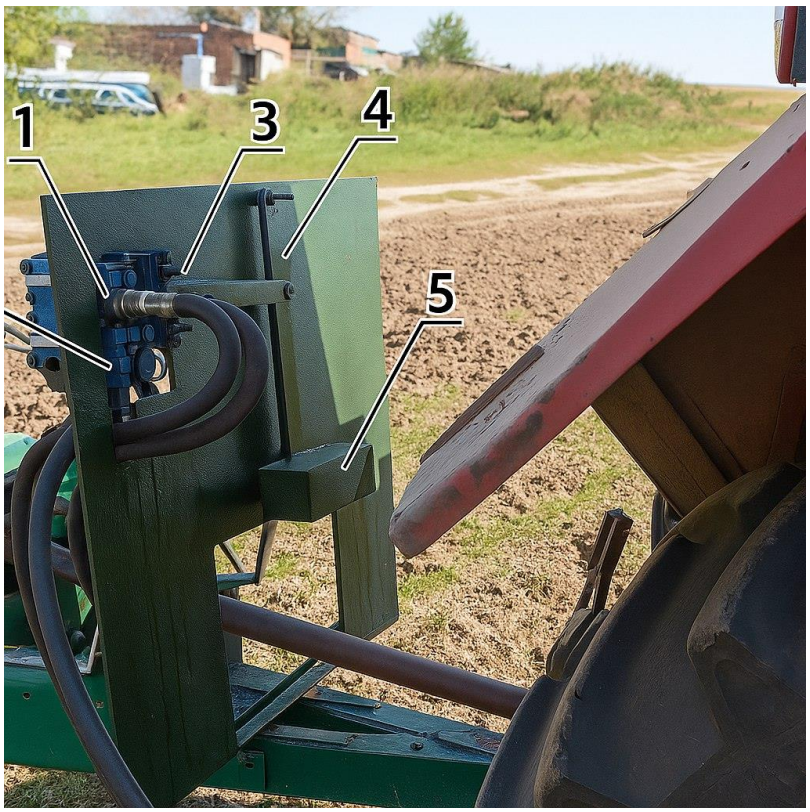


Рисунок 3.33 - Дослідний зразок стабілізуючого пристрою: де 1 - гідророзподільник; 2 - трубопроводи; 3 - золотник гідророзподільника; 4 - важіль маятникового типу; 5 - вантаж.

Для випробувань виділили ділянку з кутами схилу 0–13° і порівнювали показники роботи машини на схилах з контрольними заїздами на горизонтальній поверхні. Польові випробування низькорамного розкидача з трактором МТЗ-82 проводили для оцінки впливу нахилу на зону внесення добрив та взаємодію агрегату з рельєфом, ходовою частиною та двигуном. Кут нахилу кузова встановлювали рівнем, фіксували за шкалою маятника і підтримували кут викиду добрива 35° (рис. 3.34).

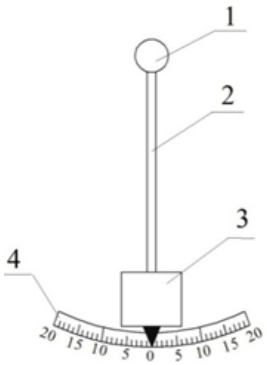
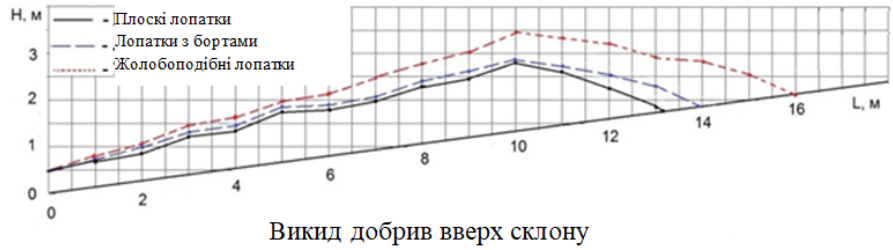


Рисунок 3.34 - Маятник з шкалою: де 1 - точка підвісу; 2 - маятник; 3 - вантаж; 4 - шкала.

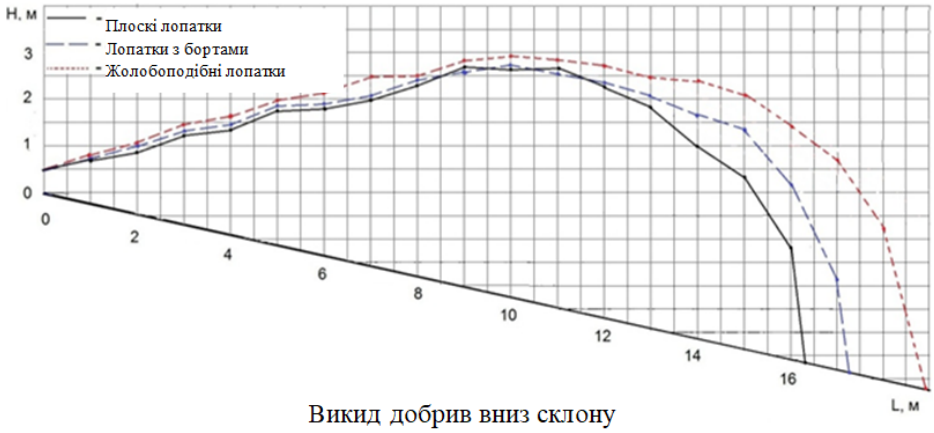
Для автоматичного регулювання системи вирівнювання встановили маятниковий датчик із хлипаково-золотниковим розподільником Р-75В2. Виходячи з робочого тиску спрацьовування (Р = 110 кг/см²) та діаметра золотника (d = 25,5 мм), сила для його переміщення становить 243 Н. Параметри маятника: вага – 19,5 кг, l_1 – 0,15 м, l_2 – 0,635 м, підвіс рекомендовано розташувати на миттєвій осі повороту розкидача.

Випробування траєкторії польоту і дальності вильоту добрив проводили на стаціонарі та в русі, на облікових ділянках завдовжки 200 м і шириною, що дорівнює двократній ширині захоплення. Ділянки для розгону не перевищували 20 м; тривалість досліду фіксувалася секундоміром.

Результати показали, що регулювання кута нахилу вивантажного вікна впливає на зону внесення: при викиді добрив вгору по схилу розкидач працює ефективно до 8° з укороченням смуги розсівання на ~2 м, тоді як при викиді вниз по схилу до 12° дальність збільшується на 0,8–1,1 м.



Викид добрив вверх склону



Викид добрив вниз склону

Рисунок 3.35 - Траєкторія польоту добрив при використанні стабілізуючого пристрою.

Найбільший ефект від застосування маятникового датчика спостерігається на схилах понад 3–4°. Для підвищення продуктивності при внесенні добрив вгору по схилу доцільно розробити регульований пристрій для зміни кута установки вигрузного вікна від 35° до 50°.

Якість роботи розкидання із стабілізатором перевіряли на швидкостях 2,78; 4,17 та 5,55 м/с. Аналіз коливань траєкторії показав: зі збільшенням швидкості процес стає більш хаотичним, коефіцієнт динамічності зростає, а амплітуда коливань без стабілізатора перевищує показники з ним. Підвищення крутизни схилу також збільшує коливання та впливає на траєкторію руху агрегату.

Через непристосованість навісної системи трактора дані по куту коливання рами мають великий розкид, проте середнє значення приблизно відповідає куту схилу ділянки.

Досліди показали, що при швидкості понад 4–5 м/с на схилах більше 4–5° стійкість агрегату погіршується через складність підтримки прямолінійного руху та дію бічної сили інерції. Це збільшує відхилення машини від заданої траєкторії і знижує якість внесення добрив.

Зростання крутизни схилу також негативно впливає на тягові характеристики і продуктивність агрегату. Максимальну продуктивність забезпечують жолобоподібні лопатки, проте при підвищенні кута схилу вона зменшується (рис 3.36).

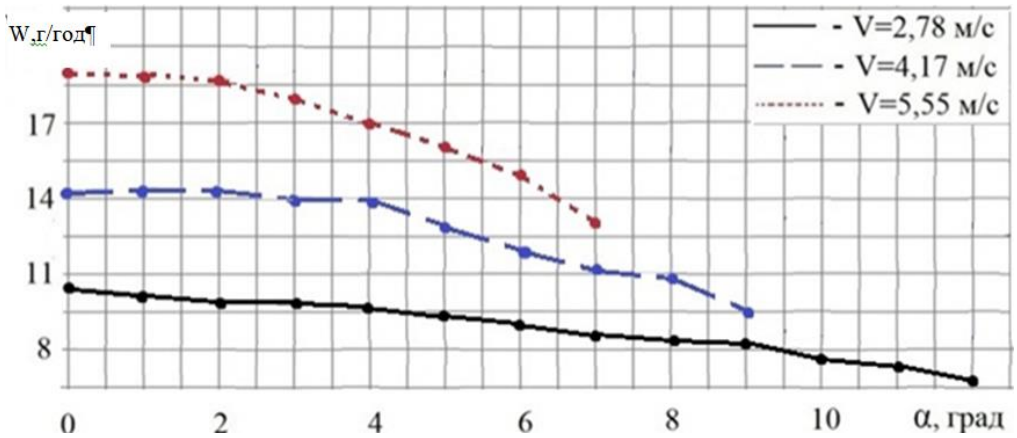


Рисунок 3.36 - Зміна продуктивності (W) розкидання від кута схилу (α) і швидкості руху (V).

Проведені дослідження кузовного низькорамного розкидання зі стабілізуючим пристроєм показали його ефективність на схилах до 12° з універсальними тракторами типу МТЗ-80. На більш крутих схилах доцільно використовувати трактори крутосклонної модифікації. Пристрій є універсальним і з незначними конструктивними змінами може застосовуватися для більшості причіпних сільськогосподарських машин. Рівномірне внесення на стикових проходах можливо забезпечити за допомогою навігатора та GPS.

Висновки

1. Жолобоподібні лопатки з кутом установки вперед 12° забезпечують мінімальне дроблення (5%), високу швидкість вильоту (42 м/с), щільний потік гранул та рівномірність внесення. Лопатки плоскої форми або з бортами показали більший коефіцієнт варіації та нерівномірність, що обмежує їх практичне застосування.

2. Параболічний дефлектор довжиною 565 мм забезпечує: дальність розкидання до 18 м; зниження вертикального віялового розподілу часток; пікові точки траєкторії до 2,8 м; коефіцієнт варіації ≤10; збереження робочої ширини 18 м. Поєднання жолобоподібних лопаток та параболічного дефлектора підвищує точність і стабільність розподілу добрив.

3. Використання стабілізатора дозволяє зберігати горизонтальне положення кузова на схилах до 12° при роботі з універсальними тракторами. Це зменшує нерівномірність розподілу, компенсує зміщення центра тяжіння та забезпечує ефективну продуктивність, навіть при підвищенні швидкості руху агрегату.

4. Запропоновані параметри лопаток, дефлектора та стабілізатора дозволяють:

- досягти високої рівномірності внесення добрив без втрати робочої ширини та продуктивності;
- зменшити втрати матеріалу та дроблення часток;
- поліпшити умови роботи оператора;

– розширити межі застосування серійних розкидачів на пересіченій місцевості.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз травмонебезпечних факторів під час розкидання органічних добрив

Під час роботи із розкидачами добрив існує низка травмонебезпечних чинників, що можуть призвести до виробничого травмування персоналу. Основними причинами виникнення небезпечних ситуацій є:

1. Неправильна експлуатація техніки та порушення інструкцій: несанкціоновані маневри, перевищення швидкості, недотримання регламенту роботи на схилах або нерівних ділянках.
2. Помилки обслуговуючого персоналу: недотримання правил безпечного доступу до машин, роботи з відкритими механізмами та приводами.
3. Несправний технічний стан машин: відсутність або несправність гальм, блокування робочих органів, пошкоджена ходова частина чи системи приводу.

Небезпечні ситуації виникають у таких випадках:

1. Перекидання машин: на нерівних дорогах, під час поворотів, на схилах з кутом нахилу понад 20°, з мостів.
2. Наїзди на людей: працівників, які перебувають у заборонених зонах (під машинами, причепами).
3. Контакт із рухомими деталями: травми при роботі з транспортерами, розкидними дисками, карданними валами, маховиками та іншими механізмами.
4. Захоплення одягу або частин тіла: під час очищення робочих органів, регулювання або обслуговування машини.
5. Механічна дія або несправний інструмент: удари, порізи, защемлення під час експлуатації чи ремонту.

Для зниження ризику травмування необхідно:

- дотримуватись правил експлуатації і регламентів обслуговування;
- забезпечити допуск до роботи тільки кваліфікованого персоналу;

- правильно налаштувати сидіння і органи керування під фізичні параметри оператора;
- організувати безпечний доступ до робочого місця та повернення з нього;
- дотримуватись правил пожежної та виробничої безпеки.

4.2. Моделювання травмонебезпечних та аварійних ситуацій

Під час розкидання мінеральних добрив існує високий ризик виникнення аварійних ситуацій, які призводять до травмування або матеріальних втрат. Найтиповіші ситуації включають:

- перекидання тракторів та транспортних засобів;
- наїзди на людей або тварин;
- захоплення одягу чи частин тіла рухомими елементами машини;
- падіння з трапів, драбин або транспортних засобів;
- удушення сипучими матеріалами (добрива, ґрунт);
- опіки, ураження електричним струмом.

Всі ці випадки формуються через причинно-наслідкові зв’язки: від початкової події (небезпечної дії або умови) через проміжні етапи до кінцевої події — аварії або травмування. Логічне моделювання процесу.

Статично залежні події**:** поява наступної події можлива лише після реалізації попередньої (наприклад, перекидання трактора можливе лише після перевищення швидкості на схилі).

Статично незалежні події: події можуть відбутися паралельно і не залежать одна від одної (наприклад, одночасна несправність гальм та обертання дисків).

Моделі формуються у вигляді схем з позначенням:

НУ — небезпечна умова;

НД — небезпечна дія;

НС — небезпечна ситуація;

Т — травма або аварія.

Заходи запобігання:

1. Систематична перевірка технічного стану тракторів перед виходом у поле;
2. Заборона експлуатації машин без справних гальм;
3. Дотримання безпечної швидкості та правил маневрування на схилах і нерівностях;
4. Контроль доступу сторонніх осіб у зону роботи машин;
5. Використання захисних щитів для рухомих органів.

4.3. Техніка безпеки при роботі з мінеральними добривами

Для забезпечення безпечної праці під час роботи з мінеральними добривами дотримуються наступних правил:

Загальні вимоги:

- до роботи допускаються особи від 18 років, що пройшли інструктаж з охорони праці;
- правила техніки безпеки та санітарні норми повинні бути доступні в приміщенні складу та на робочих ділянках;
- спеціальний одяг: комбінезон, рукавиці, окуляри, респіратор або протигаз (для аміачної селітри).

Організація зберігання добрив:

- відстань до житлових і суспільних будівель не менше 500 м;
- до інших об’єктів — не менше 200 м;
- заборонено зберігання аміачної селітри поруч із горючими матеріалами;
- куріння та використання відкритого вогню у складі заборонено;
- пожежу гасити виключно водою та із застосуванням протигазу.

Робота на полі:

- не перебувати ближче 50–80 м до робочих органів машин;
- завантаження та обслуговування проводити лише при повній зупинці машини і вимкненому двигуні;
- приводи та рухомі деталі повинні бути захищені щитами;

- швидкість руху агрегатів не повинна перевищувати встановлені технічні норми;
- заборонено транспортування людей, харчових продуктів, питної води разом із добривами;
- незатарені сипучі добрива перевозяться в герметизованих кузовах, накритих брезентом;
- рекомендуються короткі перерви під час роботи в респіраторі — 5 хв кожні 30 хв роботи.

Дії у разі контакту з добривами:

- при потраплянні у очі: промивати великою кількістю чистої води та звертатися у медичний пункт;
- при опіках: промити уражені ділянки водою, обробити 5% спиртовим розчином та накласти марлеву пов'язку;
- після закінчення роботи необхідно прийняти душ або ретельно вимитися; на місці роботи повинен бути запас чистої води та аптечка.

Дотримання всіх зазначених правил є обов'язковим для забезпечення безпеки праці та мінімізації ризику травмування під час роботи з мінеральними добривами.

Висновки

1. Основними травмонебезпечними факторами при розкиданні мінеральних добрив є перекидання машин на схилах і нерівностях, контакт з рухомими частинами, падіння з транспортних засобів та порушення правил експлуатації.
2. Моделювання аварійних та травмонебезпечних ситуацій дозволяє виявляти причинно-наслідкові зв'язки та розробляти ефективні заходи профілактики.

3. Забезпечення безпеки праці потребує використання засобів індивідуального захисту, дотримання правил транспортування і зберігання добрив, а також організації правильного робочого процесу.
4. Систематичний інструктаж, контроль технічного стану машин та навчання персоналу сприяють зниженню ризику виробничого травматизму.
5. Дотримання техніки безпеки та санітарних норм забезпечує мінімізацію небезпечного впливу на здоров’я працівників і гарантує безпечну експлуатацію машин для внесення добрив.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АГРЕГАТУ

Економічна оцінка ефективності експериментального низькорамного розкидання органо-мінеральних добрив проводилась на полях у цінових умовах 2024–2025 рр. Для порівняння було використано серійну машину МВУ-5, яка за принципом роботи, металоємністю та об’ємом кузова є аналогічною досліджуваній.

5.1. Початкові дані для економічної оцінки

Основні технічні та експлуатаційні показники обраних агрегатів наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Початкові дані 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 та тяговий клас трактора	МТЗ-82 (1.4)	МТЗ-82 (1.4)
Вартість трактора, грн	1 200 000	1 200 000
Продуктивність розкидання, га/год	13	19,28
Витрата палива, кг/га	3,6	3,24
Кількість обслуги, чол.	1	1

Досліджене низькорамне розкидання обладнано додатковими гідроциліндрами та стабілізуючим пристроєм бічного крену, що підвищує точність внесення на схилах і рівномірність розподілу добрив.

5.2. Основні показники економічної ефективності

На основі польових випробувань та технічних характеристик агрегату розраховані витрати на внесення добрив, а також приведені витрати на одиницю площі. Результати представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Показники економічної ефективності

Показники	МВУ-5	Досліджений розкидач	Економія, %
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	–	145 747	–

Витрати на амортизацію та технічне обслуговування знизились на 30%, що пояснюється більшою надійністю конструкції та простотою обслуговування низькорамного розкидання. Витрати на ГММ зменшились на 4%, за рахунок зниження питомої витрати палива (3,24 кг/га проти 3,6 кг/га у МВУ-5). Скорочення витрат на оплату праці обслуги на 33% досягається завдяки підвищеній продуктивності агрегату, що дозволяє обробляти більші площі за менший час.

Економічна доцільність застосування агрегату підтверджується зменшенням витрат на амортизацію, технічне обслуговування, паливо та оплату праці обслуги. Впровадження низькорамного розкидання забезпечує річний економічний ефект 145 747 грн, підвищує ефективність використання добрив і скорочує трудові та фінансові витрати. Машина є універсальною, придатною для роботи з тракторами загального призначення, а також крутосклонними модифікаціями, і дозволяє підтримувати стабільне транспортування часток добрив навіть на схилах, забезпечуючи високу якість агротехнічних операцій та економію ресурсів.

Для досягнення максимальної продуктивності та точності внесення добрив рекомендується застосовувати низькорамне розкидання з пневмомеханічними робочими органами на горизонтальній осі обертання, обов'язково використовувати стабілізуючий пристрій бічного крену при роботі на схилах до 12°, а також встановлювати дефлектор параболічної форми для ущільнення потоку добрив. Регулювання швидкості руху агрегату слід здійснювати відповідно до норми внесення, що дозволяє забезпечити рівномірне покриття поля та оптимальні показники продуктивності.

Висновки

Експериментальне низькорамне розкидання органічних добрив показало підвищену продуктивність на 33% порівняно з серійною машиною МВУ-5 та зменшення витрат на амортизацію, паливо, ТО і оплату праці, що забезпечує річний економічний ефект 145 747 грн. Оптимальна конструкція ротора, жолобоподібних лопаток і дефлектора параболічної форми гарантує рівномірне внесення добрив і ширину робочої смуги до 18 м. Використання стабілізатора бічного крену на схилах до 12° підтримує точність роботи і окупність агрегату. Застосування машини економічно доцільне і сприяє оптимізації витрат на внесення добрив на підприємствах різних типів.

ВИСНОВКИ

1. Для внесення органічних добрив доцільне застосування кузовного низькорамного розкидання з пневмомеханічними робочими органами на горизонтальній осі обертання, що забезпечує стабільну роботу агрегату.

2. Теоретичні дослідження та польові випробування дозволили визначити оптимальні параметри роботи розкидача: радіус ротора – 400 мм; частота обертання - 800 об/хв; розмір лопаток - 200×400 мм; кут установки - 12°; форма лопаток - жолобоподібна; кількість - 5 шт.; кут нахилу вивантажного вікна ротора - 35°.

3. Установка дефлектора параболічної форми довжиною 565 мм забезпечує стабільне транспортування добрив, зменшує вертикальний віяловий розподіл часток і підвищує щільність потоку, що викидається.

4. Експериментальні досліди показали, що при подачі добрив 5 кг/с забезпечується доза внесення 300 - 2000 кг/га при робочій ширині до 18 м, а коефіцієнт нерівномірності розподілу становить 9,81%, що дозволяє перекривати суміжні проходи до 1 м.

5. Продуктивність агрегату залежить від швидкості руху і може досягати 19,28 га/год, що значно перевищує показники серійних аналогів.

6. Для роботи на схилах до 12° доцільне застосування стабілізуючого пристрою бічного крену, який підтримує горизонтальне положення кузова і точність внесення добрив.

7. Використання експериментального низькорамного розкидання дозволяє підвищити ефективність внесення добрив, зменшити витрати праці та матеріальних ресурсів, а річний економічний ефект від його впровадження становить 145 747 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зозуля, А. В. Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ: Кондор, 2016.
2. Войтюк, Д. Г., Гаврилюк, Г. Р**.** Сільськогосподарські машини. Київ: Каравела, 2023.
3. Іванов, О. В. Розробка та дослідження низькорамного розкидача для внесення органо-мінеральних добрив. Київ: Інститут механізації сільського господарства НААН України, 2021.
4. Петров, І. М., Сидоренко, В. О. Аналіз ефективності пневмомеханічних систем у сільськогосподарських агрегатах. Журнал технічної механіки, 2020, т. 58, №3, с. 45–52.
5. Войтюк, Д. Г., Гаврилюк, Г. Р. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку. Хмельницький: ВПУ №36, 2025. 312 с.
6. Кириченко, Р. В. Сільськогосподарські машини: навчальний посібник. Ч. 1, кн. 2. Культиватори. Харків: Харківський національний аграрний університет, 2024. 248 с.
7. Ягелюк, С. В., Фомич, М. І., Голій, О. В., Хомич, А. В. Ідентифікація та класифікація залишків сільськогосподарських культур для подальшого використання. Сільськогосподарські машини, 2021, Вип. 47, с. 95–101.
8. Коваленко, А. В., Шевченко, О. П. Моделювання процесу розкидання добрив за допомогою пневматичних систем. Вісник аграрної науки, 2019, т. 27, №2, с. 112–118.
9. Смирнов, Д. О., Харченко, С. В. Оптимізація конструкції низькорамного розкидача для зменшення витрат палива. Сільськогосподарська техніка, 2018, т. 34, №1, с. 89–95.
10. Мельник, Т. І., Гончаренко, В. С. Вплив конструктивних параметрів розкидача на рівномірність внесення добрив. Техніка та технології в аграрному виробництві, 2017, т. 45, №4, с. 67–73.

11. Дьяків, В. В., Литвиненко, І. М. Економічна оцінка ефективності використання пневматичних розкидачів у сільському господарстві. Економіка АПК, 2016, т. 48, №6, с. 102–108.

12. Журавський, А. О. Удосконалення технологічного процесу внесення органічних добрив з модернізацією розкидача. Житомир: Житомирський державний університет, 2023.

13. Скляр, О. Г., Скляр, Р. В., Григоренко, С. М. Особливості механізації внесення добрив на луках і пасовищах. Технічні системи та технології, 2023, вип. 13, т. 2.

14. Сенчук, С. О. Дипломний проєкт: Техніко-економічне обґрунтування механізації внесення добрив. Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2023.

15. Машиновикористання в рослинництві: посібник до виконання курсового проєкту. Київ: НАТІ, 2023.

16. Організація і технологія механізованих робіт. Київ: НАТІ, 2023. 144 с.

17. Спицький, Р. Г. Удосконалення процесу механізації внесення мінеральних добрив. Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, 2023.

18. Слюсарев, Я. А. Розробка та обґрунтування конструктивних параметрів розкидача мінеральних добрив. Харківський національний технічний університет сільського господарства, 2024.