

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Обґрунтування параметрів та конструкції лопатки ротора для поверхневого
розкидання мінеральних добрив**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-2-23
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Рудой Антон Сергійович

Керівник: _____ Теслюк Геннадій Володимирович

Рецензент: _____ Кірса Роман Сергійович

Дніпро, 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 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**

Рулой Антон Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів та конструкції лопатки ротора для поверхневого розкидання мінеральних добрив

керівник роботи Теслюк Геннадій Володимирович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» 10 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи до 02.12.2025

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі рослинництва та існуючих конструкцій машин для внесення мінеральних добрив. Дослідження інформаційних джерел і аналіз актуальних наукових робіт за напрямом теми.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан і напрями досліджень з обраної тематики. 2. Блок теоретичного обґрунтування 3. Результати дослідно-експериментальної роботи. 4. Охорона праці. 5. Економічна частина роботи. Висновки. Література. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз конструкцій технічних засобів.
3. Аналітичний етап дослідження. 4 Експериментальні результати. 5.
Економічні показники роботи. 6. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання і задачі досліджень	до 24. 09.2025	виконав
2	Теоретичні дослідження	до 20. 10.2025	виконав
3	Експериментальний	до 19. 11.2025	виконав
4	Охорона праці	до 24. 11.2025	виконав
5	Економічний	до 28. 11.2025	виконав
6	Демонстраційна частина	до 01. 12.2025	виконав

Студент

_____ (підпис)

Рудой А.С.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Теслюк Г. В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Рудой А.С. Обґрунтування параметрів та конструкції лопатки ротора для поверхневого розкидання мінеральних добрив / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Використання мінеральних добрив може здійснюватися різними способами, що визначаються характеристиками культур та властивостями ґрунтів, на які вони вносяться. Найбільш доступним з технічної точки зору та водночас достатньо результативним методом є поверхневе внесення за допомогою кузовних розкидачів.

Ефективне застосування мінеральних добрив неможливе без комплексу механізмів, що забезпечують їх підготовку, транспортування, завантаження та рівномірне розподілення по полю. Подальший розвиток досліджень у цій сфері спрямований на удосконалення рівномірності внесення добрив без зниження продуктивності машини.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває вдосконалення процесу розкидання гранульованих мінеральних добрив за допомогою роторних робочих органів, встановлених на горизонтальній осі обертання. У даній роботі наведено результати досліджень, що стосуються створення нової конструкції розкидача, обґрунтування його конструктивних параметрів та режимів функціонування.

Ключовим напрямом підвищення рівномірності внесення добрив є розробка та випробування робочих органів із різними конструктивними та режимними характеристиками. Не менш важливою задачею є пошук технічних рішень, які дозволяють керувати потоком добрив під час їх розкидання та забезпечувати стабільну рівномірність навіть за роботи розкидачів на полях із нерівним рельєфом.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
1.1. Особливості технології внесення мінеральних добрив.....	12
1.2. Аналіз технічних рішень машин і робочих вузлів для поверхневого внесення добрив.....	16
1.3. Огляд досліджень по внесенню гранульованих добрив.....	24
1.4. Завдання дослідження.....	29
Висновки по розділу.....	30
2.ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....	31
2.1. Обґрунтування основних конструктивних параметрів лопатки розкидача мінеральних добрив.....	31
2.2 Обґрунтування форм лопатки ротора.....	32
2.3. Динаміка руху частинок добрив.....	33
2.4. Методика планування багатofакторного експерименту з використанням запропонованої конструкції лопаток ротора.....	36
Висновок по розділу.....	40
3. ТЕОРЕТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗРОБЛЕНОГО РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....	41
3.1. Дослідження основних конструктивних параметрів лопатки.....	41
3.2. Результати польових випробувань розкидання мінеральних добрив.....	47
Висновок по розділу.....	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....	51
4.1. Загальні вимоги безпеки.....	51

4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	51
4.3 Вимоги безпеки перед початком роботи.....	52
4.4. Вимоги безпеки під час роботи.....	52
4.5. Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	53
Висновки по розділу.....	54
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АГРЕГАТУ НА ВНЕСЕННІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ.....	55
Висновки по розділу.....	57
Загальні висновки.....	58
Список використаних джерел.....	60
ДОДАТКИ	

Вступ

Добрива - це речовини, які застосовують для покращення живлення рослин, підвищення родючості ґрунту та збільшення врожайності. Їхня дія ґрунтується на поповненні дефіциту необхідних рослинам хімічних елементів, що забезпечує повноцінний ріст і розвиток культур. У сільському господарстві України та інших країн світу найбільший попит мають органічні добрива, що насичують ґрунт азотом і можуть водночас сприяти посиленню росту бур'янів [1], а також мінеральні - у складі яких міститься один або декілька корисних елементів [9].

Через значне скорочення кількості сільськогосподарських тварин (поголів'я великої рогатої худоби зменшилося у 2 - 3 рази, свиней - у 2- 4 рази, овець і кіз - у 3 - 4 рази) обсяги отриманого гною різко впали, хоча для забезпечення родючості ґрунту необхідно вносити щонайменше 15 т/га [8]. Як встановив академік Д. Н. Прянішніков, застосування органічних добрив здатне підвищити урожайність культур на 40 - 60%. Дослідження дефіциту органічних добрив показали, що частину їх можна замінити поєднанням органічних і мінеральних речовин.

У зв'язку з цим рекомендовано використовувати органо-мінеральні добрива, у складі яких органічні компоненти поєднані з мінеральними елементами на хімічному рівні [7]. Це дозволяє скоротити кількість чисто органічних добрив, водночас отримавши високу агрохімічну ефективність і краще засвоєння поживних речовин.

Комбіноване внесення органічних та мінеральних добрив може здійснюватися у різних варіаціях - залежно від вимог певної культури та типу ґрунту. Дані наукових досліджень та досвід передових господарств підтверджують, що використання готових гранульованих органо-мінеральних добрив забезпечує позитивні результати.

Сучасні машини для внесення добрив демонструють високу ефективність [9, 25], однак їхня конструкція є досить складною, а використання часто потребує попередньої підготовки поля. Одним із найпростіших та водночас результативних способів внесення мінеральних і органічних речовин є поверхневий метод із застосуванням кузовних розкидачів [30]. Ефективне використання органо-мінеральних добрив можливе лише за умови належного забезпечення аграрних виробництв технікою, що дозволяє виконувати їх підготовку, транспортування, завантаження та розподіл.

Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із покращенням рівномірності розкидання речовин по поверхні поля.

У світі, зокрема й в Україні, поширене використання розкидачів гранульованих добрив з дисковими робочими органами, встановленими на вертикальній осі. Втім такий механізм має суттєвий недолік: при збільшенні подачі добрив частина гранул не потрапляє на лопатки, а сходить із диска одразу, не набравши необхідної швидкості. Для вирішення цієї проблеми рекомендується впровадження роторних робочих органів, що працюють на горизонтальній осі обертання.

Зважаючи на зазначене, дослідження спрямоване на удосконалення процесу розкидання гранульованих мінеральних добрив роторними робочими органами з горизонтальною віссю обертання.

У роботі подано результати аналізу та експериментів, пов'язаних зі створенням конструкції, визначенням оптимальних параметрів і режимів функціонування розкидача мінеральних добрив.

Головним шляхом покращення рівномірності внесення добрив є розробка та випробування робочих органів із різними конструктивними і режимними характеристиками. Не менш важливим є пошук рішень, які забезпечують регулювання потоку викиду добрив та досягнення потрібної

рівномірності розподілу, особливо при використанні розкидачів на нерівній поверхні поля.

Мета дослідження. Удосконалення конструктивних і режимних характеристик роторного робочого органу з горизонтальною віссю обертання, встановленого на кузовному розкидачі, спрямоване на підвищення рівномірності розподілу гранульованих мінеральних добрив.

Завдання дослідження:

1. Встановити вплив основних конструктивних параметрів лопаток ротора на якість внесення добрив;
2. Побудувати математичну модель процесу внесення гранульованих мінеральних добрив робочими органами роторного типу на горизонтальній осі обертання з метою теоретичного обґрунтування ключових конструктивних та експлуатаційних параметрів розглянутого пристрою;
3. Здійснити комплекс досліджень із подальшою перевіркою конструкції експериментального розкидача на виробництві та визначити рівень його агроекономічної ефективності.

Об'єкт дослідження. Процес поверхневого внесення гранульованих мінеральних добрив, що здійснюється роторним робочим органом.

Предмет дослідження. Тенденції та закономірності варіювання якісних показників роботи робочого органу роторного типу.

Базовим підходом у проведенні досліджень було використання аналізу та синтезу технологічного процесу поверхневого внесення мінеральних добрив роторним робочим органом із горизонтальною віссю обертання, а також визначення агротехнологічних параметрів роботи розкидача на основі багатофакторних польових експериментів у землеробстві. У процесі роботи застосовували експертне оцінювання впливових факторів та методи планування багатофакторного експерименту. Залежно від сформульованих наукових завдань було розроблено як загальну, так і спеціалізовані методики досліджень.

Наукова новизна. Обґрунтовано технологію внесення гранульованих мінеральних добрив за допомогою роторного робочого органу з горизонтальною віссю обертання. Встановлено аналітичні залежності, що дозволяють визначати раціональні параметри та форму вивантажувальних лопаток. Виявлено ключові закономірності формування смуги розкидання залежно від конструктивних характеристик та режимів роботи агрегату. Окрему увагу приділено особливостям експлуатації розкидача на нерівному рельєфі та в умовах пересіченої місцевості.

Практична і наукова значущість дослідження полягає у реалізації конструкції кузовного розкидача органно-мінеральних добрив із роторним робочим органом, який забезпечує стабільні якісні показники роботи відповідно до агротехнічних вимог. Отримані результати можуть застосовуватися при проектуванні та експлуатації розкидачів на сучасних господарствах.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Особливості технології внесення мінеральних добрив

Рівномірне розподілення добрив на поверхні поля є ключовою умовою для формування якісного врожаю. Якщо показник нерівномірності перевищує 25 %, це призводить до різниці у продуктивності рослин на окремих ділянках, оскільки вони отримують неоднакову кількість поживних речовин. Отже, правильне та однорідне внесення добрив виступає одним із головних чинників отримання стабільного й високоякісного врожаю. Порушення рівномірності внесення, зокрема мінеральних добрив, може стати причиною екологічних негативних наслідків [4].

Надлишкові дози добрив вимиваються у ґрунтові води, розкладаються в ґрунтовому середовищі з утворенням летких сполук і надходять в атмосферу, що негативно впливає на здоров'я людини [8]. Особливо небезпечними для довкілля є значні концентрації азотних і фосфорних добрив. У ґрунті накопичується надлишок оксиду фосфору (P_2O_5), який через стічні води може потрапляти у водойми, спричиняючи їх забруднення, інтенсивне «цвітіння» води та втрату придатності для водних організмів [5].

Надмірне внесення добрив на окремих ділянках поля нерідко стає причиною вилягання рослин, що особливо характерно для зернових культур. Під впливом надмірної кількості поживних речовин інтенсивно збільшується маса надземної частини рослини. Через це нижня частина стебла зазнає підвищеного навантаження, втрачає міцність і перегинається. Таке явище ускладнює збирання врожаю комбайнами й призводить до додаткових втрат зерна [21].

Тривала нерівномірність у розподілі органічних добрив також негативно позначається на структурі ґрунту, спричиняючи локальне накопичення надмірних кількостей доступного азоту. Це порушує природний баланс

поживних елементів, знижує родючість ґрунту та може призвести до деградаційних процесів, таких як вимивання нітратів у нижні горизонти чи зростання кислотності [9].

Однією з ключових властивостей добрив, що визначає їхню поведінку під час розкидання, є коефіцієнт парусності. Саме він впливає на аеродинамічні характеристики частинок - дальність їх розльоту, стабільність траєкторії та рівномірність внесення. Матеріали з великою парусністю можуть відхилятися під дією повітряних потоків, спричиняючи нерівномірний розподіл на поверхні поля.

Не менш важливим параметром є гранулометричний склад добрив - характеристика, що описує розмірний розподіл частинок. Для сипких матеріалів ця властивість визначає стабільність потоку добрив та їх рівномірне подання до робочих органів, зокрема до відцентрових дискових розкидачів [16]. Проте через значну різницю у фізико-механічних властивостях окремих компонентів гранульованих сумішей часто відбувається їх розшарування. Це негативно впливає на якість транспортування, процеси змішування та рівномірність дозування під час внесення [12].

Гранульовані мінеральні добрива потребують дотримання суворих умов під час зберігання і транспортування, а також ретельного контролю при приготуванні сумішей і внесенні в ґрунт. Порушення цих вимог може призвести до втрати їхніх фізичних властивостей, злежування, підвищення вологості та зменшення ефективності впливу на рослини [8].

Під час внесення добрив відцентровими (центробіжними) робочими органами частина гранул зазнає механічного руйнування внаслідок ударних навантажень об робочі поверхні. Процес дроблення збільшує частку пилоподібної фракції, що суттєво змінює фізико-механічні та технологічні характеристики добрив. За результатами досліджень, при розкиданні мінеральних добрив може пошкоджуватися до 11 % гранул [17, 26]. Подрібнення не лише погіршує їх біологічну ефективність, але й призводить

до зростання нерівномірності внесення по площі поля, що негативно впливає на формування врожаю.

Однією з ключових властивостей, яка визначає поведінку гранул під час їх переміщення і викиду з робочого органу, є коефіцієнт тертя. Саме він суттєво впливає на процес поділу часток за фракціями та їх динаміку. У дослідженні [18] встановлено, що різниця у силах тертя між гранулами спричиняє відмінності у швидкостях їх переміщення та секторах вильоту. Це, у свою чергу, викликає додаткове розшарування матеріалу та впливає на рівномірність внесення добрив.

Ще одним важливим фактором, що визначає рух гранул по робочих поверхнях розкидачів, є вологість та вологоємність добрив. Ці показники тісно пов'язані з більшістю інших фізико-механічних характеристик гранульованого матеріалу і значною мірою впливають на його сипкість, злежуваність та здатність рівномірно подаватися до робочих органів [18]. Відхилення вологості від оптимальних значень призводить до псування гранул, зміни їх структури, злипання та утворення грудок, що ускладнює процес розкидання й погіршує якість дозування добрив.

Вологість і вологоємність гранульованих добрив безпосередньо визначаються рівнем їхньої гігроскопічності. Матеріали, що активно поглинають вологу з повітря, швидко злежуються, утворюючи щільні маси, які втрачають сипкість і здатність рівномірно подаватися до робочих органів розкидача. У таких умовах змінюється структура гранул: вони втрачають міцність, частково деформуються, збільшується їхня щільність, що ускладнює процес розкидання. Внаслідок цього рівномірність внесення добрив знижується й виходить за межі допустимих агротехнічних норм, що безпосередньо впливає на якість живлення рослин [14, 19].

Фізико-механічні властивості гранульованих добрив взаємопов'язані: з підвищенням вологості зростає маса часток, а також змінюється коефіцієнт тертя, що визначає їхнє ковзання та взаємодію з елементами машин. Для

роторних відцентрових робочих органів цей показник є особливо критичним, оскільки він впливає на рівномірність подавання та стабільність траєкторій гранул. Щоб забезпечити якісне розкидання добрив, важливо мінімізувати частку роздроблених фракцій, адже надмірне подрібнення призводить до зміни аеродинамічних властивостей матеріалу та збільшення пилоподібної складової.

У дослідженні [23] показано, що кут нахилу робочої поверхні лопаток суттєво впливає на ступінь руйнування гранул та траєкторію їх вильоту. З'ясовано, що використання лопаті з від'ємним кутом нахилу зменшує силу удару частинок об її поверхню, що, своєю чергою, знижує кількість пошкоджених гранул. Такий підхід дає змогу зберегти їхню цілісність та забезпечує більш рівномірний гранулометричний склад у процесі розкидання.

Для отримання рівномірного розподілу добрив по полю необхідно враховувати комплекс параметрів: форму лопатей, швидкість їх обертання, стан поверхні гранул, а також вологість матеріалу. У сучасних машинах усе частіше застосовуються профільовані та адаптивні лопаті, які дозволяють регулювати силу ударного навантаження відповідно до типу добрив. Крім того, інженерні розробки спрямовані на зниження гігроскопічності гранул шляхом нанесення покривних оболонок, які перешкоджають поглинанню вологи та покращують сипкість матеріалу.

Комплексне врахування цих факторів забезпечує високу якість розподілу добрив, зменшує ризик технологічних втрат та сприяє підвищенню ефективності внесення, що є важливим для стабільного формування врожаю й зменшення негативного екологічного впливу.

1.2. Аналіз технічних рішень машин і робочих вузлів для поверхневого внесення добрив

Сьогодні існує значна кількість методів і технічних засобів для внесення мінеральних та органо-мінеральних добрив у рідкому й твердому стані [17]. Хоча рідкі форми добрив є дешевшими за тверді аналоги та швидше поглинаються рослинами, їх застосування потребує спеціалізованого обладнання (рисунок 1.1), яке не придатне для виконання інших агротехнічних операцій. Окрім цього, такі добрива складно зберігати, а при потраплянні на рослинні листки вони можуть спричиняти опіки.



Рис 1.1 - Приклад пристрою для внесення рідких добрив.

Внесення мінеральних добрив у сільському господарстві здійснюється двома основними способами: поверхневим (розкидним) та локальним. Поверхнєве внесення передбачає рівномірне розподілення добрив по поверхні ґрунту, що дозволяє обробляти великі площі за короткий час і забезпечує загальне підживлення рослин. Локальне внесення, навпаки, спрямоване на точкове доставляння добрив безпосередньо в зону кореневої системи рослин,

що підвищує ефективність використання поживних речовин і зменшує їх витрати.

На рисунку 1.2 представлено приклад конструкції робочого органу, призначеного для локального внесення гранульованих добрив [15]. Така конструкція забезпечує точну подачу добрив у ґрунт, що особливо важливо для культур із високими вимогами до агротехнічного підживлення. Використання локальних робочих органів дозволяє регулювати глибину закладання, інтенсивність внесення та ширину смуги розподілу, що забезпечує оптимальні умови для росту рослин та підвищення врожайності.

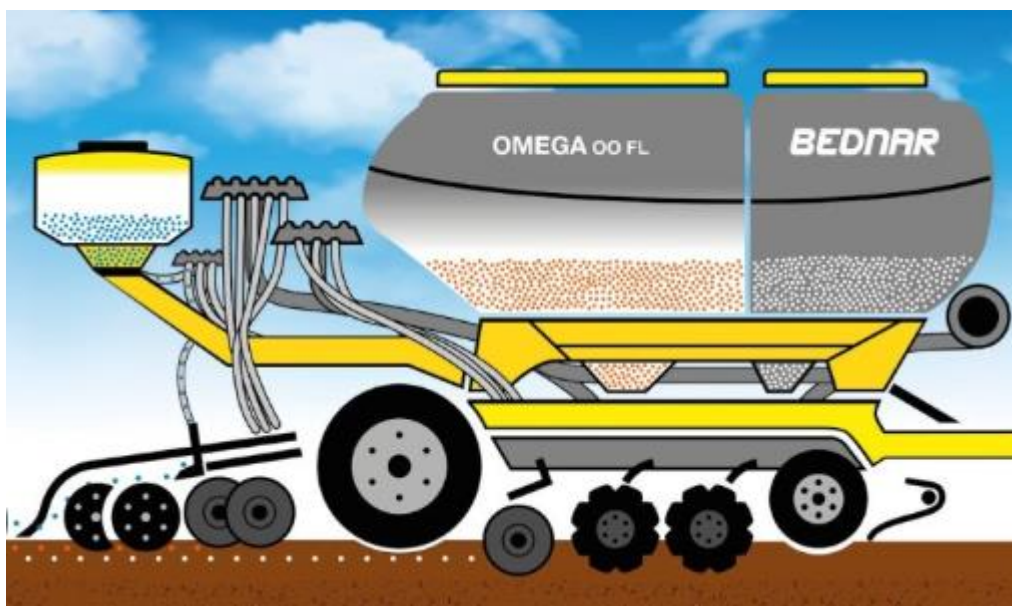


Рис. 1.2 - Робочий орган для локального внесення добрив.

Однак локальне внесення добрив має ряд суттєвих недоліків:

- ускладнюється конструкція робочих органів, що підвищує витрати на виготовлення та обслуговування;
- машини, призначені для локального внесення, не можна ефективно використовувати для інших сільськогосподарських операцій;
- при застосуванні комбінованих агрегатів часто відбувається перевага однієї операції на шкоду іншій;

- зростають вимоги до попередньої підготовки поля, що ускладнює технологічний процес.

Через це більш доступним і універсальним способом внесення мінеральних добрив залишається поверхневе внесення з використанням кузовних розкидачів. Головними перевагами таких розкидачів є простота конструкції кузова та робочих органів, а також відносно невисока вартість. Крім того, ці машини можна застосовувати не лише для внесення добрив, а й у багатьох інших сільськогосподарських операціях, що робить їх більш універсальними та економічно вигідними.

При поверхневому внесенні значні обсяги твердих добрив, залежно від відстані між складом і полем, можуть доставлятися різними технологіями: прямоточними [17, 25], перевантажувальними [19, 26] або перевалочними [10], із застосуванням кузовних розкидачів. Незалежно від типу розкидача, технологічна схема його роботи є схожою: добрива завантажуються за допомогою навантажувачів різного типу [5], далі транспортуються через механізм (транспортер) до робочого органу, після чого відбувається їх викид на поверхню ґрунту. Кузов розкидача зазвичай встановлюється на причепі з однією або двома осями.

На відміну від твердих органічних добрив, для яких до робочого органу найчастіше використовуються ланцюгово-планочні або шнекові транспортери [19], при внесенні гранульованих добрив з дрібною фракцією зазвичай застосовують стрічкові транспортери [3, 20]. Це дозволяє забезпечити більш рівномірну подачу матеріалу та зменшити ризик його засмічення чи зупинки під час транспортування.

У багатьох країнах, у тому числі й в Україні, для внесення мінеральних добрив застосовують розкидачі, оснащені дисковими робочими органами (рис. 1.3). Ці диски встановлені на вертикальній осі та під час обертання створюють відцентрову силу, яка забезпечує розкид гранул добрив.

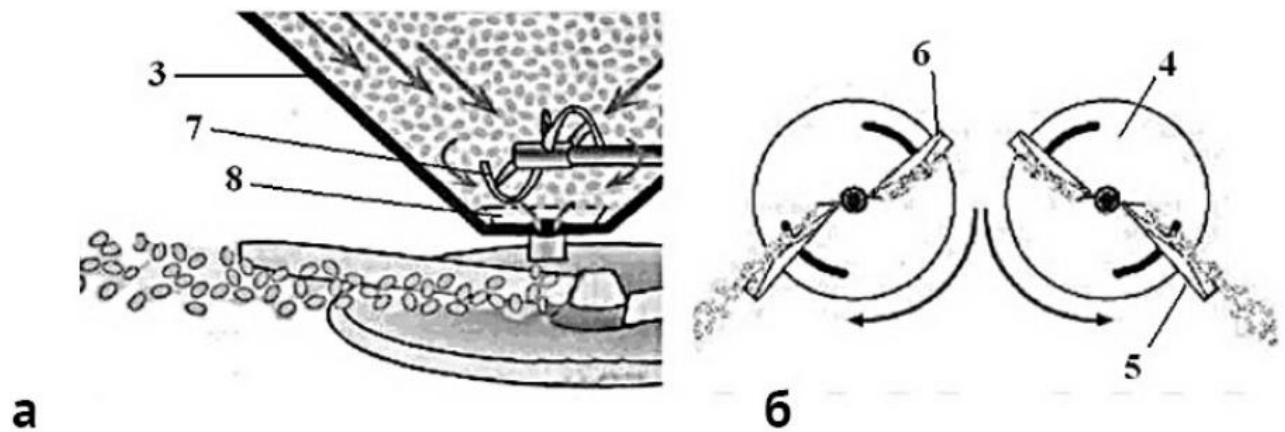


Рис. 1.3 - Робочі органи для внесення мінеральних добрив.

В Україні для розкидання мінеральних добрив найчастіше застосовують машини типу МВУ-5 і СТТ-10, тоді як у Німеччині поширені моделі Amazone ZA та ZG-B [14, 22]. Робочі органи цих агрегатів забезпечують дальність розкидання гранул приблизно на 15–20 метрів, що дозволяє ефективно покривати широку смугу поля.

Однак дискові робочі органи з горизонтальним розташуванням мають суттєвий недолік. Коли подача добрив збільшується, частина гранул не встигає потрапити на робочу поверхню лопаток і злітає з диска без достатнього розгону. У результаті добрива висипаються занадто близько до машини, створюючи зону надмірної концентрації. Така нерівномірність розподілу небажана, оскільки надлишок добрив на окремих ділянках може спричинити погіршення стану рослин, забруднення ґрунтових вод та інші негативні наслідки для екосистеми й безпеки продукції [13].

Спроби вдосконалити конструкцію лопаток для усунення цього недоліку зазвичай ведуть до суттєвого ускладнення механізму. Це вимагає

використання додаткових приводів і збільшує як вартість виготовлення та експлуатації машини, так і складність її технічного обслуговування.

Ще одним поширеним типом робочих органів, що застосовуються для поверхневого внесення твердих добрив, є роторні механізми, розміщені на горизонтальній осі обертання (рис. 1.4.) [13, 24]. Такі робочі органи придатні як для розподілу органічних, так і мінеральних добрив, що робить їх універсальними у сільськогосподарській практиці.

Конструктивно більшість роторних механізмів являють собою диск, встановлений на маточині, на якому закріплено кілька лопаток. Їх кількість зазвичай становить від 4 до 6 [14] і визначається типом матеріалу, що вноситься, а також допустимим навантаженням на приводний вал робочого органу. Правильно підібрана кількість лопаток забезпечує оптимальну інтенсивність розкидання та рівномірність внесення добрив по поверхні ґрунту.

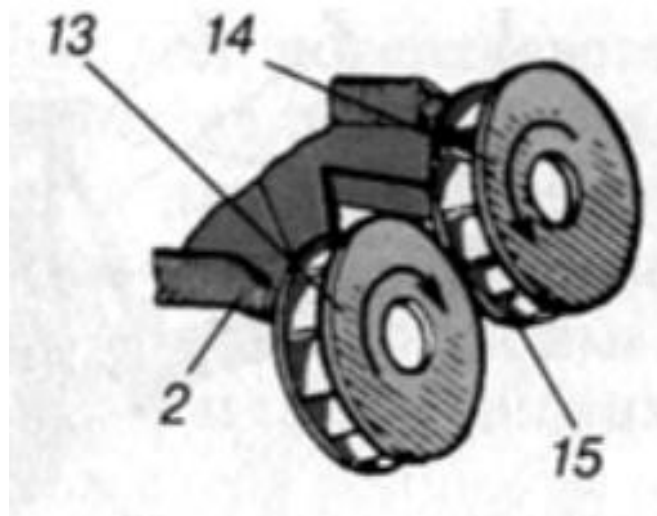


Рис 1.4 - Робочий орган розкидача мінеральних добрив:

13,14 –ротори розкидачі, лопатки ротора

Існують конструкції розкидачів мінеральних добрив, у яких застосовуються два роторні металники з лопатями, змонтовані безпосередньо під кузовом машини. Така схема дозволяє формувати ширшу смугу розподілу,

підвищувати продуктивність агрегату та покращувати рівномірність висіву за рахунок одночасної роботи двох робочих органів.

Застосування ремінної передачі для приводу робочих органів у розкидачах добрив вважається малоефективним, оскільки ремінь швидко зношується і не здатний передавати великі навантаження, які виникають під час інтенсивної роботи. Це знижує надійність агрегату та призводить до частих зупинок на технічне обслуговування.

Щоб забезпечити викидання добрив у зону безпосередньо під робочим органом, доводиться зменшувати кут вильоту часток, що автоматично зменшує робочу ширину захоплення. Іншими словами, машина покриває меншу площу за один прохід, що знижує її продуктивність.

Коли ж добрива спрямовують під більшим кутом до горизонту, гранули вилітають нерівномірно та випадково розсіюються. У результаті формується вузький віялоподібний потік, у якому складно досягти стабільного та якісного розподілу.

Є також невеликі навісні машини призначені для поверхневого внесення мінеральних добрив у гранульованій або кристалічній формі, а також для висівання сидеральних культур (рис.1.5.) Експлуатувати її можна на ділянках із нахилом поверхні до 8° у всіх природно-кліматичних зонах України.



Рис.1.5. Машина для внесення мінеральних добрив МВД-1000

Конструктивно агрегат складається з рами, бункера, подавального й дозувального механізмів, розсіювального апарата, системи регулювання норми внесення, приводу робочих органів, зворушувача та захисної сітки. Рама виконана як просторова зварна трубчата конструкція, на якій встановлено бункер, привідні механізми та система керування дозувальними заслінками.

Бункер слугує ємністю для добрив і має форму перевернутого усіченого конуса з підсиленням верхнім краєм. У його нижній частині розташовані два випускні отвори, а ззовні закріплена планка з пазом для фіксації положення дозувальних заслінок. Подавальний механізм забезпечує постійну подачу добрив до розсіювального пристрою.

Дозувальний вузол разом із системою регулювання норми висіву дозволяє встановлювати необхідний обсяг внесення шляхом зміни величини випускних отворів. Система регулювання складається з важеля, тяги та ручки керування.

Розсіювальний апарат являє собою однодисковий дволопатевий відцентровий механізм, який рівномірно розподіляє добрива по поверхні поля. Зворушувач ексцентрикового типу перешкоджає утворенню грудок і склепінь у добривах. Привід робочих органів складається з одноступінчастого редуктора та телескопічного карданного вала. Захисна сітка не допускає потрапляння сторонніх предметів у подавальний механізм.

Головні конструкційні відмінності моделі МВД-1000 від машини МВД-0,5 полягають у використанні бункера пірамідальної форми, наявності трьох редукторів та встановленні двох розсіювальних апаратів.

Компанія AMAZONE пропонує високопродуктивний причіпний розподільник ZG-B (рис.1.6.) з бункерами місткістю 5 500 та 8 200 літрів, призначений для ефективного й екологічно безпечного внесення добрив.



Рис. 1.6. Розкидач AMAZONE причіпний ZG-B

Завдяки простоті в обслуговуванні та високій надійності, моделі серії ZG-B оптимально підходять для роботи у великих агропідприємствах, на машинно-транспортних станціях або для спільного використання між господарствами. Розмаїття комплектацій і широкий спектр додаткових опцій забезпечують цим розподільникам універсальність та можливість виконання найрізноманітніших технологічних операцій з внесення добрив.

Конструкція передбачає використання міцної рами, виготовленої з дрібнозернистої сталі, а також великого бункера зі стрімкими стінками та посиленими краями. Агрегат обладнано хіч-дишлом із петлею діаметром 50 мм. Стрічковий транспортер має автоматичне центрування та не потребує регулярного технічного обслуговування. Передбачено ручне регулювання шибєрних заслінок, наявність світлових і сигнальних приладів, складних сходів, а також захисних решіток, розташованих над транспортером для рівномірного просіювання матеріалу.

Універсальний розподільний механізм працює від ВВП трактора з частотою 540 об/хв і доповнюється направляючим лотком. Базова комплектація не містить гальмівної системи, проте включає інструкцію з

експлуатації, каталог запчастин та таблиці норм внесення добрив. Також передбачено комплект обладнання для агрегування з вітчизняними тракторами.

Опції оснащення:

Комплектація “Special” – передбачає дозування кількості добрив, які подаються стрічковим транспортером, через привод карданного вала.

Комплектація “Super” – забезпечує незалежне від швидкості руху регулювання подачі добрив завдяки гідравлічному приводу силового колеса; додатково встановлюється лічильник площі «AMALOG+».

1.3. Огляд досліджень по внесенню гранульованих добрив.

Проблематика процесів розподілу добрив робочими органами, встановленими як на горизонтальних, так і на вертикальних осях обертання, знайшла широке відображення у роботах багатьох дослідників [9, 13, 14, 17].

На думку В. В. Рядних, відцентрові робочі органи є універсальними та можуть застосовуватися для внесення практично всіх видів сипких матеріалів, включно з мінеральними та органо-мінеральними добривами [14].

Особливого значення набувають дослідження, присвячені вивченню поведінки гранул добрив під час їх руху по поверхні робочого органу. Так, П. М. Василенко здійснив глибокий аналіз динаміки переміщення часток по диску та дослідив сили, що впливають на них у процесі розгону. Він дійшов висновку, що траєкторія руху частинок по дискові може бути описана у вигляді логарифмічної або архімедової спіралі [17], що є важливим для точного моделювання процесу розсіювання.

У подальших роботах [19] інші автори розвинули теоретичні положення, закладені П. М. Василенком, та в загальному вигляді отримали диференціальне рівняння, яке описує рух частинок відносно лопатки відцентрового робочого органу. Результати проведеного аналізу показали, що

зі збільшенням коефіцієнта тертя між гранулою і лопаткою, а також зі зростанням сили опору (парусності), кут вильоту частинок збільшується. Водночас кутова швидкість їх руху зменшується, що впливає на дальність та рівномірність розподілу добрив у полі.

Згідно з результатами, наведеними в роботі [15], коефіцієнт тертя між частинками добрива та поверхнею робочого органу істотно впливає на їхню динаміку. Зокрема, збільшення тертя призводить до зменшення як відносної, так і абсолютної швидкості переміщення гранул по лопатці. Тому автор дослідження пропонує зменшувати коефіцієнт тертя шляхом використання лопаток зі змінним вигином робочої поверхні, що має забезпечити плавніше ковзання частинок та кращий їх розгін.

Однак необхідно враховувати, що гранульовані добрива суттєво відрізняються між собою за гранулометричним складом, формою гранул, щільністю та іншими фізико-механічними характеристиками. Через це лопатки зі змінним профілем не завжди здатні забезпечити стабільну ефективність для всіх видів добрив, адже кожен матеріал по-різному взаємодіє з робочою поверхнею.

М. С. Хоменко запропонував оптимальне місце подачі добрив на відцентровий диск та встановив залежності між дальністю розкидання і такими параметрами, як частота обертання та діаметр робочого органу. На основі експериментальних досліджень він визначив, що найбільш раціональним є використання диска діаметром близько 400 мм при частоті обертання 650 об/хв. У роботі [16] також зазначено, що розміри завантажувального вікна повинні відповідати площі робочої поверхні лопатки, щоб забезпечити рівномірне надходження гранул і уникнути їхнього скупчення в окремих зонах.

Водночас у конструкції відцентрових робочих органів існує ще одна принципова проблема. У міру наближення частинки до центру обертання величина відцентрової сили зменшується, а отже, умови для її розгону

поступово погіршуються. Це призводить до того, що гранули, які сходять з лопатки з різних її ділянок, отримують різні швидкості й кути відльоту, порушуючи стабільність траєкторії руху. У підсумку це негативно впливає на Рівномірність розподілу добрив є ключовим показником ефективності розкидача. Проте надмірне підвищення частоти обертання робочого органу має і негативні наслідки. За надто високих швидкостей обертання збільшується ризик механічного руйнування гранул. У роботі [19] професор В. А. Чорноволов зазначає, що із зростанням подачі добрив зростає й швидкість їхнього переміщення по поверхні робочого органу. Це призводить до сильнішого удару гранул об лопатку і сприяє їхньому дробленню. Інтенсивність цього процесу залежить від низки факторів: фізико-механічних властивостей добрив, місця, куди вони подаються на диск, частоти обертання та діаметра робочого органу.

Згідно з даними роботи [11], активне руйнування гранул починається при частоті понад 800 об/хв. Проте така швидкість обертання є необхідною для досягнення достатньої продуктивності та дальності вильоту лише для окремих видів добрив. Для інших матеріалів вона може бути неприйнятною, оскільки призводить до надмірного дроблення та погіршення якості розкидання. У підсумку це викликає підвищення витрат робочого часу, збільшення експлуатаційних витрат і зниження загальної ефективності машини.

С. М. Закутський зазначає, що підвищення частоти обертання на кожні 100 об/хв збільшує відсоток подрібнених гранул. Одним зі способів зменшення цього негативного ефекту він вважає оптимізацію форми та конструкції лопаток робочого органу, що має знизити ударні навантаження під час контакту гранул із поверхнею. Також скорочення радіуса подачі добрив на диск може зменшити ступінь руйнування частинок, хоча і має свої недоліки.

Зменшення радіуса подачі означає, що частинки отримують меншу відцентрову силу та викидаються на меншу відстань, що зменшує продуктивність агрегату. Це, у свою чергу, збільшує витрати пального, часу та

фінансових ресурсів. Враховуючи, що дотримання агротехнічних строків є одним із ключових чинників успішного виробничого циклу, зниження продуктивності може стати серйозною перешкодою для виконання комплексу польових робіт у встановлені терміни.

У дослідженні [18] встановлено, що оптимальна дальність розкидання добрив досягається при кутах вильоту частинок у межах 30–50°. Разом із тим результати роботи [23] уточнюють, що найефективнішим є забезпечення кута вильоту близько 35°, оскільки за такого значення траєкторія руху гранул є найбільш стабільною та забезпечує рівномірне покриття поверхні поля.

У тій же науковій праці [23] зазначено, що лопатка повинна мати позитивний кут нахилу у напрямку обертання диска в межах 10–15°. Теоретично це покращує захоплення і розгін частинок. Однак при використанні робочого органу, встановленого на горизонтальній осі обертання, такий нахил призводить до збільшення відцентрової сили на кінцях лопатки. У результаті частинки добрив зазнають сильніших ударів, що сприяє їх деформації, подрібненню та утворенню пилоподібної фракції.

Оскільки рівномірність розподілу матеріалу є одним із ключових параметрів ефективності розкидачів, питання впливу конструкції лопаток і умов роботи на якість внесення є надзвичайно важливим. М. П. Сергєєв та А. Х. Хабіров у своїх роботах розробили основні закономірності, які визначають рівномірність сходу гранул із лопатки залежно від їх гранулометричного складу та фізичних властивостей. Проте їхні дослідження не містять аналізу оптимального діаметра робочого органу, що є критично важливим параметром для формування необхідної дальності розкидання.

Крім того, у роботі не розглянуто вплив високих частот обертання - порядку 1000...1100 об/хв - на інтенсивність утворення дрібної та пилоподібної фракції. За таких швидкостей гранули піддаються значним ударним навантаженням, що може спричиняти ще більше руйнування частинок,

погіршення рівномірності внесення та навіть зниження ефективності використання добрив через втрати у вигляді пилу.

Професор А. Н. Репетов створив дослідний зразок розкидача добрив із роторним робочим органом, встановленим на горизонтальній осі обертання, та провів його випробування у виробничих умовах. Під час експлуатації було виявлено низку недоліків. Зокрема, висока висота бортів кузова ускладнювала процес заправки машини добривами, що знижувало зручність роботи та продуктивність. Крім того, конструкція дослідного розкидача не мала достатніх наукових обґрунтувань щодо вибору діаметра робочого органу, форми кузова, його розмірів, а також щодо забезпечення рівномірності розподілу добрив.

Згодом кандидат технічних наук О. М. Лепшеев модернізував розкидач, запропонований А. Н. Репетовим. Він детально розробив і обґрунтував форму та габарити кузова, зробивши його низькорамним, що значно полегшило завантаження добрив, особливо з кузова самоскида. У процесі досліджень було встановлено, що найбільш ефективно застосовувати робочий орган діаметром 920 мм із частотою обертання 900 об/хв. За таких параметрів нерівномірність внесення добрив становила 16%, що для тодішніх умов вважалося прийнятним показником.

Разом з тим у розробленій конструкції залишалися питання, які потребували подальшого вивчення. Зокрема, недостатньо були обґрунтовані вплив форми лопаток на ступінь дроблення гранул та динаміку руху частинок добрива. Не приділено уваги й технічним засобам, які могли б забезпечити більш щільний, спрямований потік добрив під час їх викиду, що, ймовірно, дозволило б підвищити рівномірність розподілу.

Особливістю робочого органу низькорамного розкидача, створеного А. Н. Репетовим і вдосконаленого О. М. Лепшеевим, є його пневмомеханічний принцип роботи. У кожусі ротора створюється додатковий повітряний тиск, який сприяє виштовхуванню добрив та покращує дальність і щільність потоку.

Встановлено, що тиск, який створює ротор, досягає 156 мм водяного стовпа, тоді як у традиційних відцентрових робочих органах цей показник зазвичай не перевищує 80 мм. Це свідчить про значно вищу енергію потоку та потенціал для підвищення ефективності роботи розкидача.

Однак у зазначених вище дослідженнях не було розглянуто можливість ефективної роботи агрегатів для внесення добрив у умовах пересіченого рельєфу. Інтерес до функціонування розкидачів на схилах останніми роками зростає, оскільки саме в таких умовах істотно погіршується рівномірність розподілу добрив. У працях [21, 29] встановлено, що під час роботи на схилах основною проблемою стає порушення напрямку подавання добрив до робочого органу.

Через нахил машини добрива зміщуються убік і не потрапляють повністю на робочу поверхню, що призводить до нерівномірного їх викидання. Усунути цю проблему намагалися шляхом зміни точки подачі добрив - зокрема, встановлюючи додаткові конструктивні елементи та живильники [19].

Іншим варіантом вирішення було застосування механізмів, які дозволяють регулювати положення робочих органів відносно поверхні поля. Проте такий підхід мав суттєвий недолік - він вимагав значних затрат часу та праці для постійного переналаштування обладнання навіть при незначних змінах кута схилу чи напрямку руху агрегату.

1.4. Завдання дослідження

На основі проведеного аналізу поставлено **мету дослідження:** підвищити рівномірність розподілу гранульованих добрив шляхом удосконалення конструктивних та режимних параметрів робочого органу з горизонтальною віссю обертання, використовуючи для цього базу кузовного розкидача. Такий підхід передбачає оптимізацію форми, розмірів і геометрії

лопаток, а також режимів обертання робочого органу для забезпечення стабільного та ефективного розсіювання добрив по всій площі поля. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити завдання:

1. Визначити, як основні конструктивні параметри лопаток ротора впливають на рівномірність і якість внесення добрив.

2. Сформулювати математичну модель процесу внесення гранульованих мінеральних добрив робочими органами з горизонтальною віссю обертання, яка дозволяє обґрунтувати та оптимізувати основні конструктивні та режимні параметри пропонованого пристрою.

3. Провести польові випробування, перевірити ефективність розробленого обладнання у виробничих умовах та визначити агроекономічну доцільність застосування експериментального низькорамного розкидача з модернізованим робочим органом.

Висновки по розділу

1. Встановлено, що гранульовані мінеральні добрива - не менш ефективний вид добрива. Виявлені основні властивості добрив, що впливають на динаміку, і рівномірність їх розподілу.

2. Проведений аналіз існуючих конструкцій агрегатів для поверхневого внесення гранульованих добрив підтвердив доцільність розробки роторного робочого органу з горизонтальною віссю обертання для підвищення ефективності та рівномірності розподілу добрив.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

2.1. Обґрунтування основних конструктивних параметрів лопатки розкидача мінеральних добрив

За основу при розробці та дослідженнях берем машину СТТ-10М (рис. 2.1) є напівпричепом кузовного типу, який агрегується з тракторами тягового класу 14 кН (такими як МТЗ-80/82 або МТЗ-100/102).

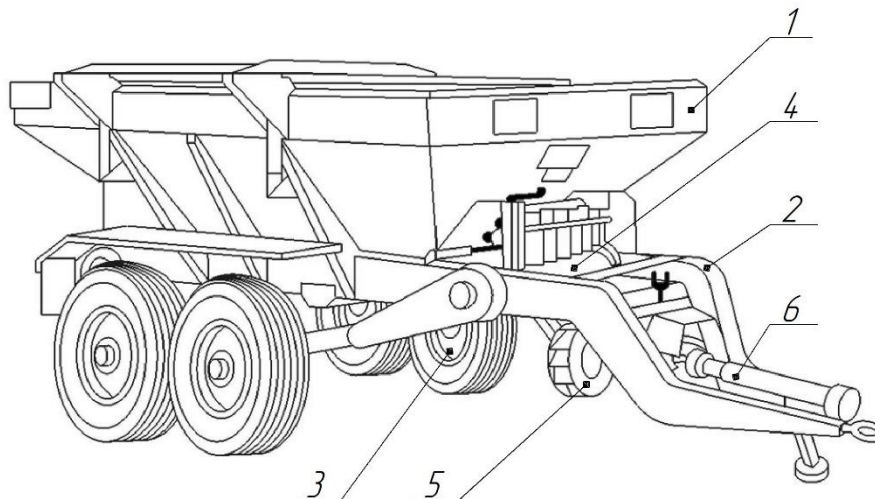


Рис. 2.1. Машина СТТ-10М з вдосконаленим роторним розкидачем

1- кузов, 2-рама, 3- ходова частина, 4- транспортер, роторний розкидач, 6- привід розкидача

Трактори, що використовуються з цим обладнанням, повинні бути оснащені валом відбору потужності з частотою обертання $540\text{--}560\text{ хв}^{-1}$, мати гідрогак, виходи для під'єднання електрообладнання, а також пневматичну гальмівну та гідравлічну системи. На ній встановлюємо ротори для розкидання мінеральних добрив з різними видами лопаток.

2.2. Обґрунтування форм лопатки ротора

Під час сходу добрив зі стрічкового транспортера на лопатки ротора, що обертається, на матеріал впливають кілька сил: вага вантажу mg , сила інерції ma , а також сила тертя $F_{тр}$, яка виникає при контакті частинок добрива зі стінками кожуха.

На основі розрахованих значень бічного тиску P_b для кожного шару будується графічна залежність цих сил, які проявляються в поперечному напрямку у точках дотику матеріалу зі стінками барабана. З рисунка 4 видно, що зі збільшенням висоти шару добрив на лопатці значення P_b відповідно підвищується.

Щоб знизити вплив бічної сили, необхідно зменшити величину H . Для цього рекомендується застосовувати роторні лопатки з бортами (Рис. 2.2а) або жолобоподібної форми (Рис. 2.2б), що дозволить стабілізувати рух матеріалу й мінімізувати бічний тиск.

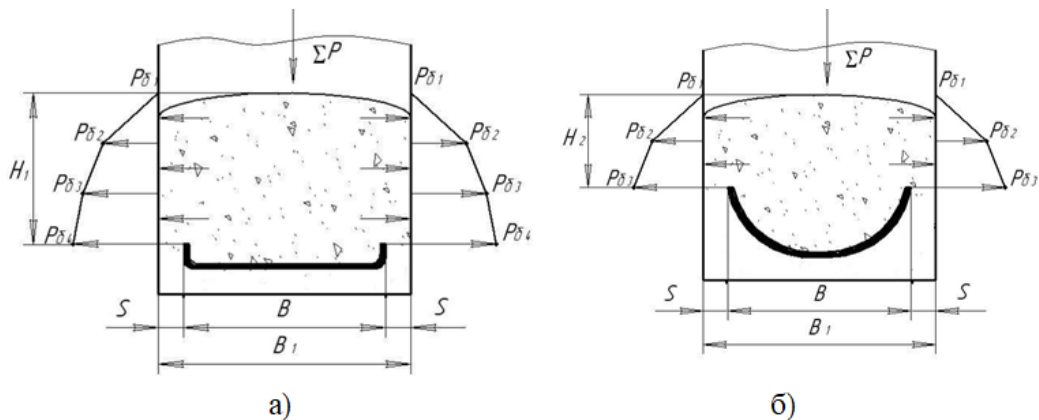


Рис. 2.2 - Розподіл бічного тиску по ширині лопатки : а) з бортами; б) жолобоподібні.

Запропоновані конструкції лопаток сприяють зменшенню тертя гранул добрив об стінки кожуха, знижують витрати потужності на привід робочих органів та дозволяють регулювати дальність викиду матеріалу. Крім того,

обертання лопаток створює повітряний тиск, який зменшує вплив бічних сил на рух часток добрив. Величина цього повітряного натиску визначається експериментально відповідно до розробленої методики.

2.3. Динаміка руху частинок добрив

У теорії розсіювання добрив роторами з горизонтальною віссю обертання ключовими параметрами є дальність польоту часток, закономірність їх розподілу по площі поля та енергетичні витрати на привід робочих органів [25, 27].

Лопатки ротора можуть бути встановлені по-різному відносно центру обертання: радіально, з нахилом назад або вперед. Кут нахилу φ лопатки істотно впливає на траєкторію руху часток, що викидаються, і, відповідно, на ефективність розподілу добрив [5, 13].

Розглянемо всі три варіанти розташування лопаток за умови рівномірного подання добрив масою m на лопатку та заданої частоти обертання робочого органу. Такий підхід дозволяє оцінити вплив форми і кута нахилу лопаток на дальність вильоту часток, їх швидкість та енергетичну ефективність ротора ω .

У випадку радіального розташування лопатки її кут нахилу відносно осі ротора $\varphi = 0$ визначає напрямок і швидкість руху часток добрив, що викидаються, та впливає на рівномірність їх розподілу по площі поля. (Рис. 2.3).

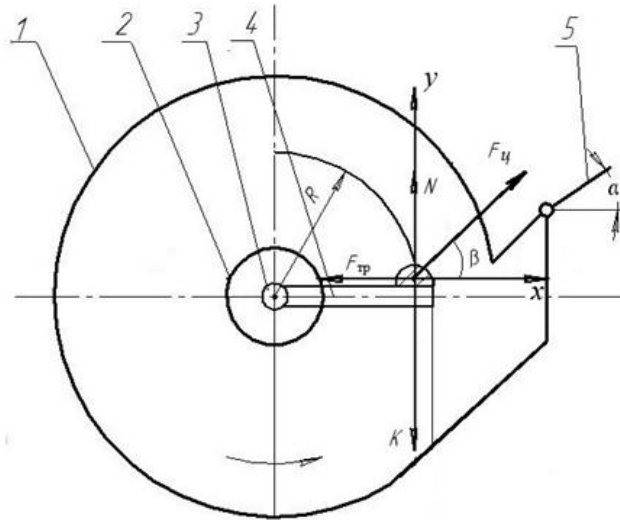


Рисунок 2.3 - Схематичне зображення дії сил на гранулу добрива ($\phi=0$)
 1 - кожух; 2 - диск ротора; 3 - вал; 4 - лопатка; 5 - дефлектор.

Схематичне відображення силових навантажень на частку добрива з урахуванням положення лопаток під кутом < 0 показана на рисунку 2.4

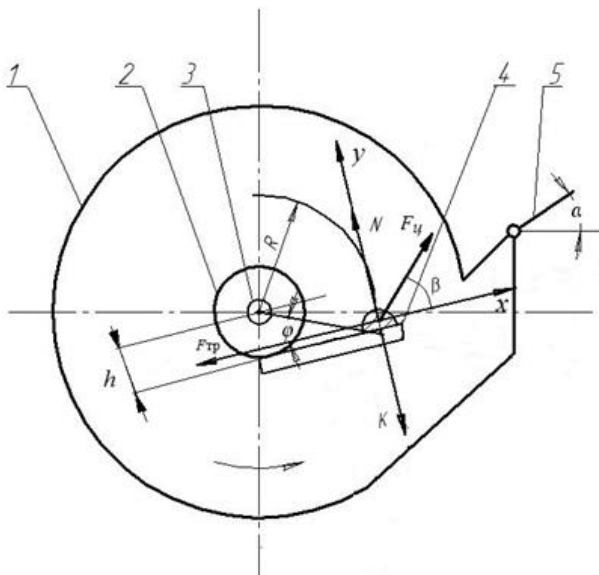


Рисунок 2.4 - Схематичне зображення дії сил на гранулу добрива ($\phi < 0$)
 1, - кожух; 2 - диск ротора; 3 - вал; 4 - лопатка; 5 - дефлектор.

На рисунку 2.5 представлений третій варіант - розташування лопаток під кутом > 0 .

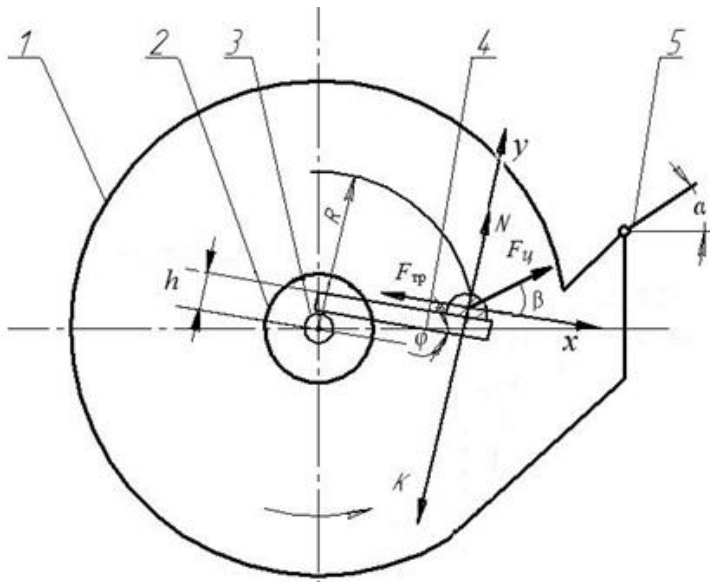


Рисунок 2.5 - Схематичне зображення дії сил на гранулу добрива (> 0)
 1, - кожух; 2 - диск ротора; 3 - вал; 4 - лопатка; 5 - дефлектор.

При цьому: N - сила нормальної реакції; $F_{ц}$ - відцентрова сила інерції;
 $F_{т}$ - 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 2.6, визначається чисельним рішенням системи рівнянь.

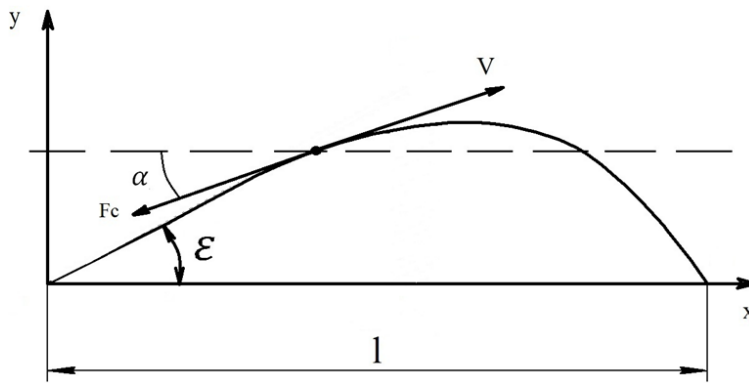


Рис. 2.6 - Дальність польоту частки добрива $l = \frac{2V^2 \sin \epsilon \cos \alpha}{g}$ (2.9) де V - швидкість вильоту частки; K - коефіцієнт парусності; ϵ - кут вильоту добрив; F_c - сила опору повітря (mKV^2).

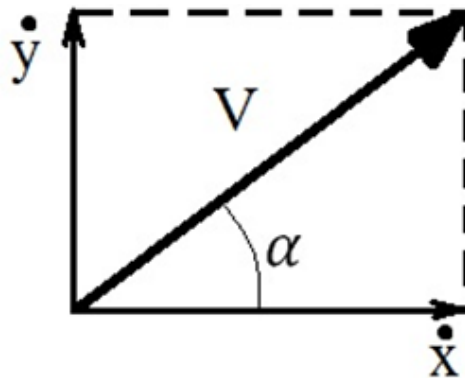


Рис. 2.7 - Проекція швидкості вильоту частки добрива

Проектуючи швидкість вильоту частки на осі x і y (рис. 2.6), слід відзначити, що на швидкість та дальність польоту часток, які викидає роторний робочий орган, впливають такі параметри: радіус робочого органу, кут вильоту часток, час їх руху по поверхні лопатки, а також коефіцієнт тертя і парусність часток добрив.

2.4. Методика планування багатофакторного експерименту з використанням запропонованої конструкції лопаток ротора

Для визначення оптимального поєднання конструктивних і режимних параметрів роботи агрегатів із внесення органо-мінеральних добрив та оцінки

їхнього впливу на рівномірність розподілу необхідно побудувати математичну модель технологічного процесу та провести багатофакторний експеримент (Рис. 2.8). У цьому дослідженні було використано рототабельний композиційний план другого порядку [4, 12, 16, 17].

Щоб адекватно відобразити процес внесення добрив у полі, математична модель повинна враховувати всі чинники, що впливають на дальність і траєкторію вильоту часток. Ігнорування хоча б одного важливого параметра може призвести до некоректної інтерпретації фізичних явищ, що відбуваються під час розкидання добрив, а отже - до помилкових висновків і неправильно обґрунтованих рішень на основі моделі.

Під час дослідження складного процесу внесення добрив, на який впливає велика кількість чинників, заздалегідь було невідомо, які з них є найбільш значущими. Було необхідно виділити основні фактори, що істотно впливають на результат, на фоні інших менш значимих.

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

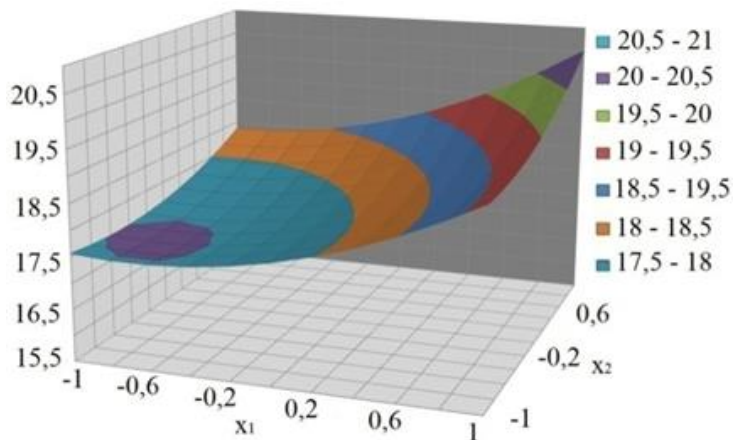


Рис. 2.8 Поверхня при $x_3=0$ На рисунку 3.13 видно, що максимальне значення дальності польоту частки у змінюється від 20,5 до 21 м, при частоті обертання від 0,8 до 1 (від 930 до 950 хв⁻¹, в реальних величинах) і при радіусі ротора від 0,8 до 1 (від 0,54 до 0,56 м, в реальних величинах). Зафіксувавши показник радіусу ротора x_2 , отримали рівняння $y = 17,95 - 0,95x_1 - 0,53x_3 + 0,59x_1^2 - 0,88x_3^2 - 0,39x_1x_3$.

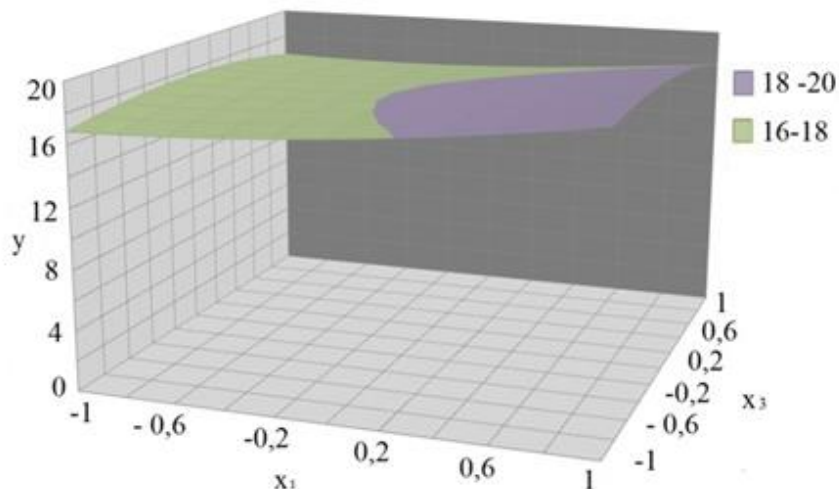


Рис. 2.9 - Поверхня при $x_2=0$

На рисунку 2.9 видно, що максимальне значення дальності польоту частки добрива у 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 $y = 17,95 + 0,53x_2 - 0,53x_3 + 0,36x_2^2 - 0,88x_3^2$.

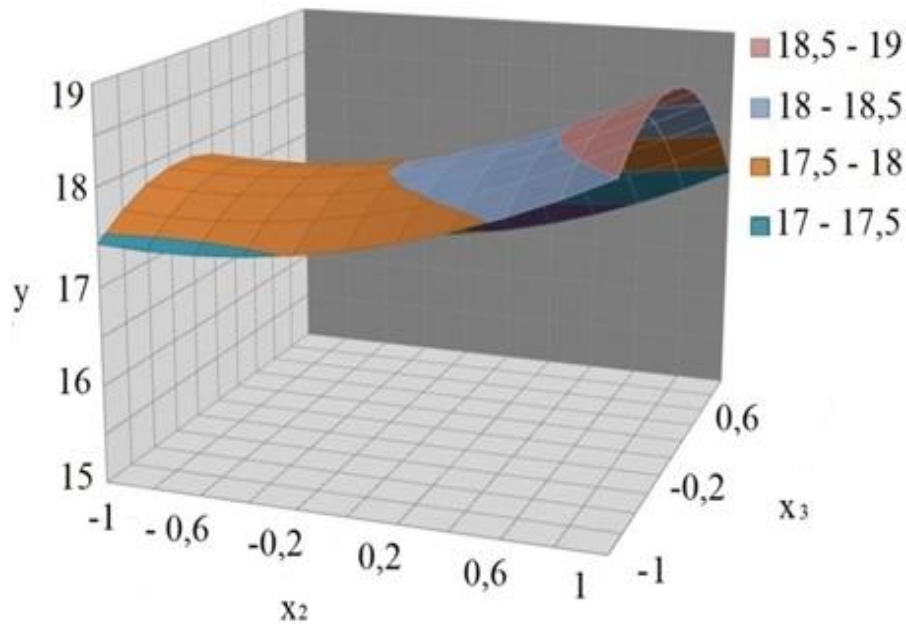


Рисунок 2.10 - Поверхня при $x_1=0$

На рисунку 2.10 видно, що максимальне значення дальності польоту частки добрива у 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.

Висновок по розділу

1. Швидкість переміщення частинок добрива та характер їх розсіювання визначаються частотою обертання ротора, його радіусом, а також конструкцією, просторовим розташуванням і кутом нахилу лопаток.
2. Використання лопаток жолобоподібної форми замість плоских або оснащених бортами дає змогу зменшити силу тертя частинок добрива об поверхні кожуха до 37 %.

3. ТЕОРЕТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗРОБЛЕНОГО РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

3.1. Дослідження 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 3.1а, 3.1б 3.1.в): плоскою, з бортами і жолобоподібною.

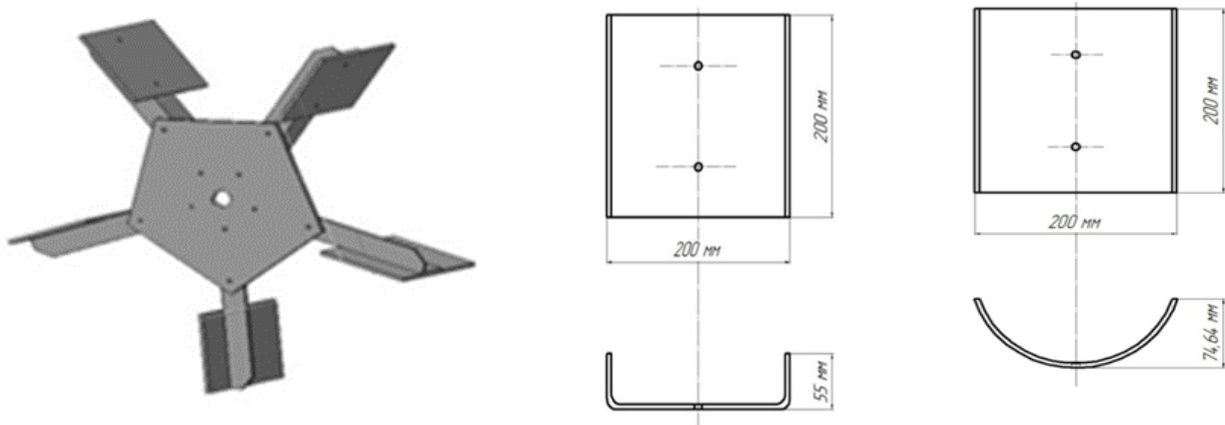


Рис. 3.1 Схема плоских лопаток

а – плоска лопатка; б – лопатка з бортиками; в- лопатка лоткоподібна

Лопатки виконані із сталі завтовшки 3 мм. Габаритним розмір їх складає - 200 x 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.

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.

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.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості добрив

Вид добрив	Вологість W, %	Об'ємна маса V, т/м ³	Кут тертя, град	Коефіцієнт тертя	Кут відкосу, град	Розмір частинок, мм
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%

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.

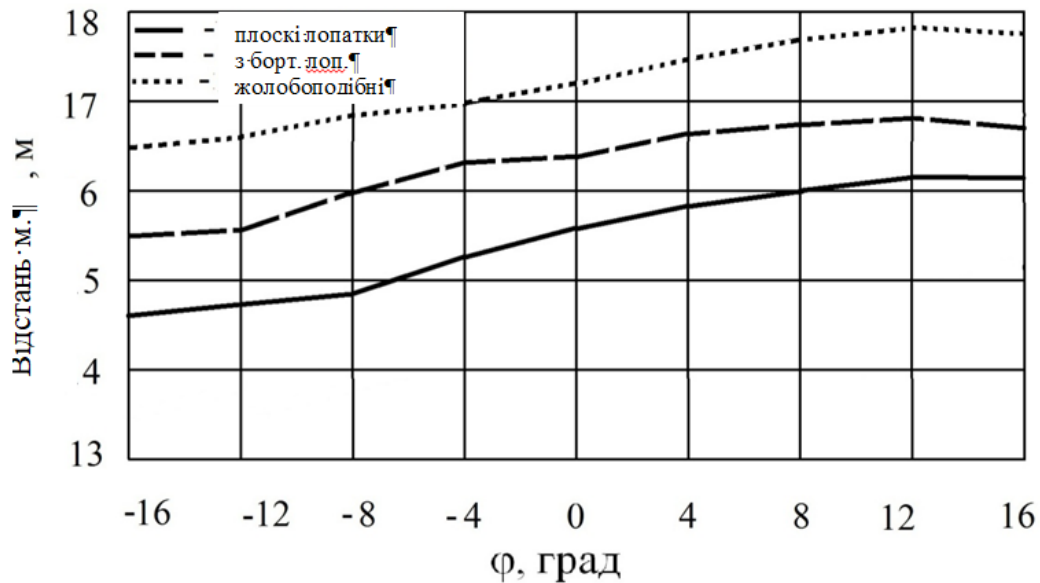


Рис. 3.2 - Вплив кута нахилу лопаток φ на дальність вильоту добрив.

На рисунку 3.2 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.

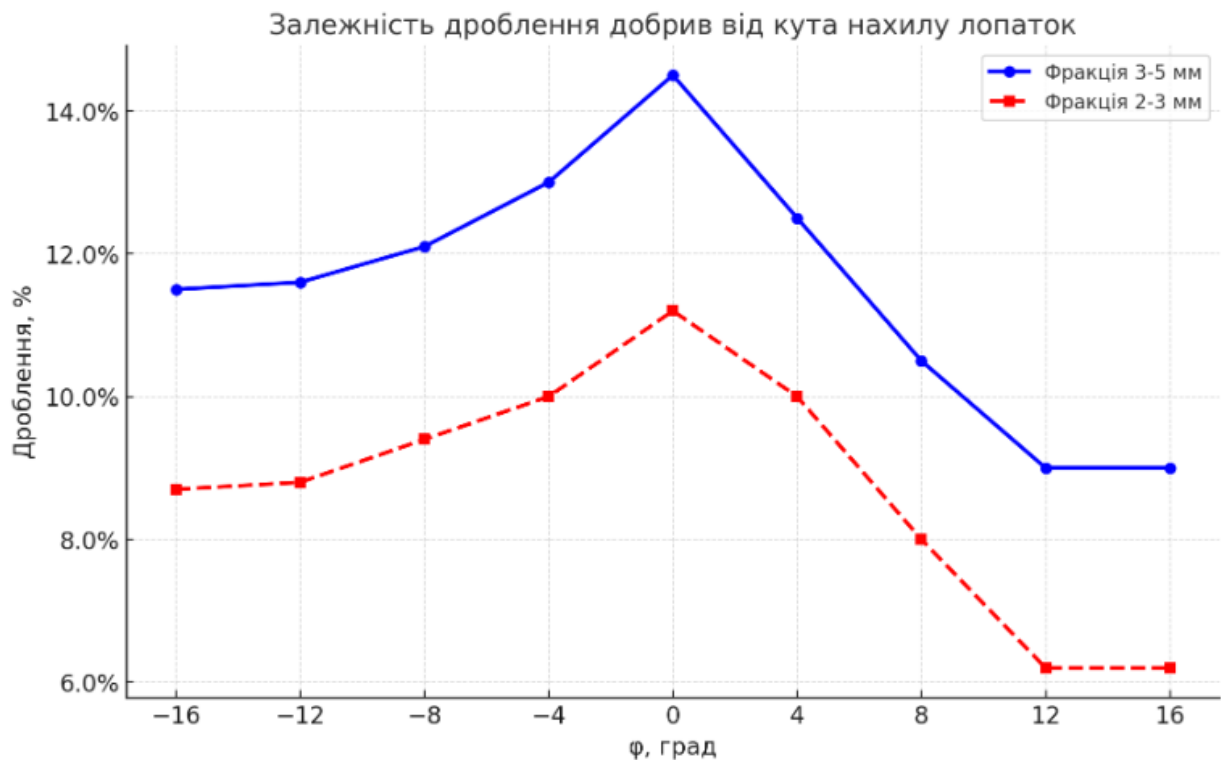


Рис. 3.3 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу φ° , з використанням плоских лопаток

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, рівно як і площа зіткнення гранул з поверхнею лопатки.

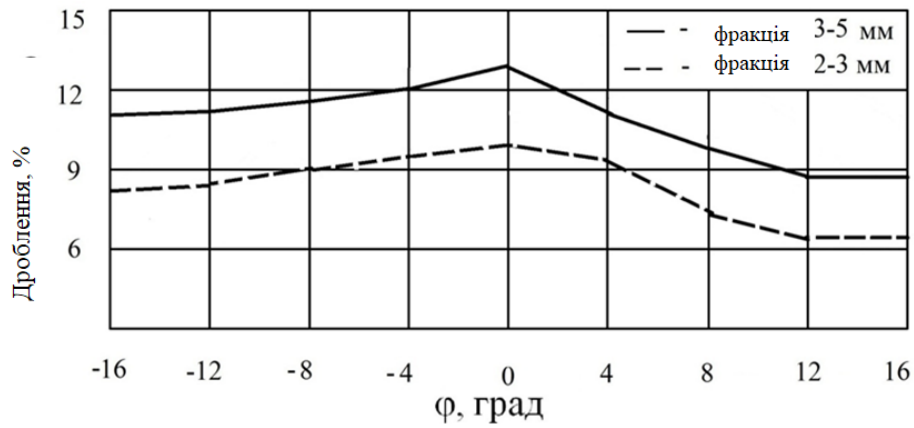


Рис. 3.4 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу φ° , з використанням лопаток з бортами

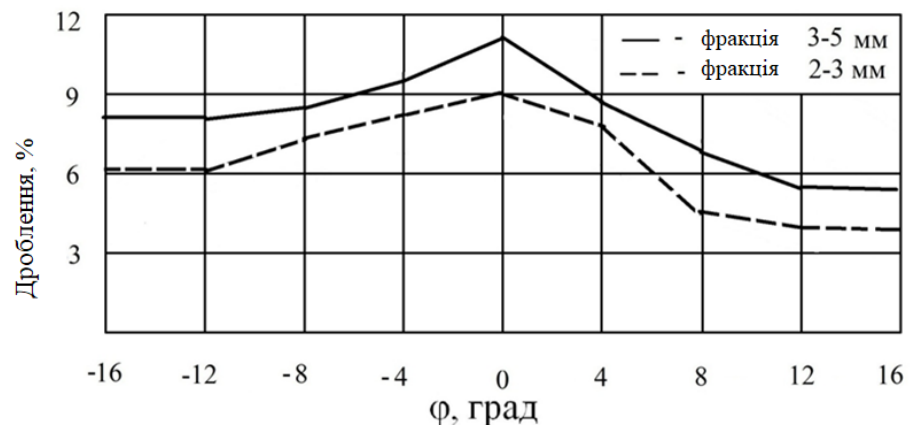


Рис. 3.5 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу φ° , з використанням жолобоподібних лопаток.

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

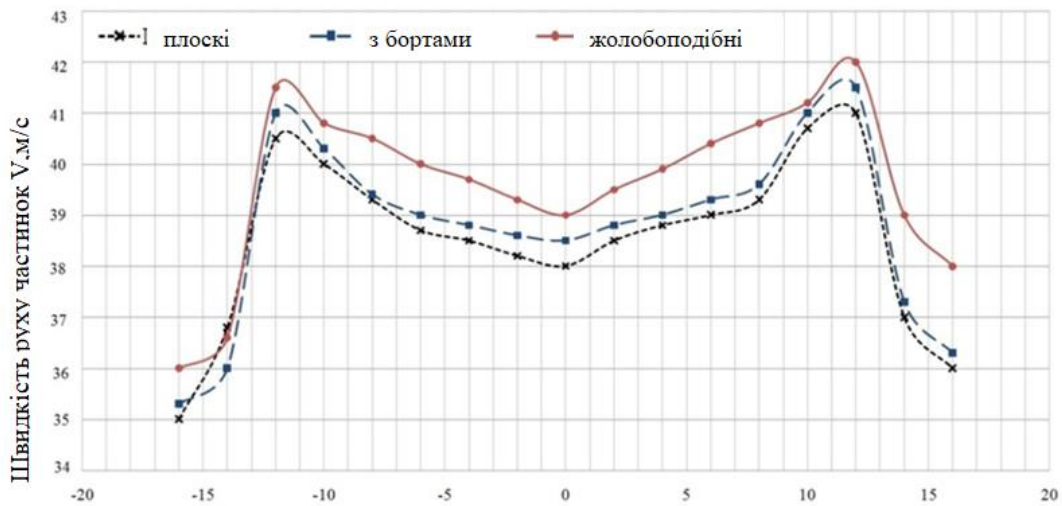


Рис. 3.6 - Зміна швидкості руху частки добрива залежно від кута нахилу лопатки.

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 3.7).

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.

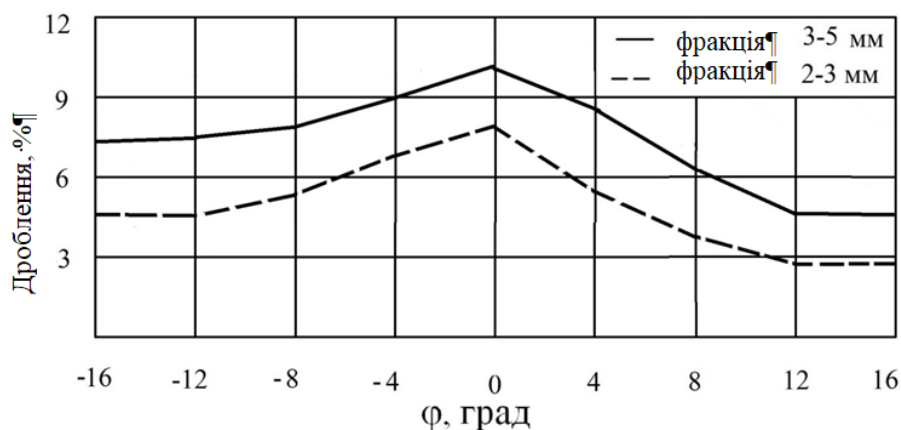


Рисунок 3.7 - Залежність відсотка дроблення часток по фракціях від кута нахилу ϕ° , з використанням суцільних жолобоподібних лопаток.

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 $\phi = 12^\circ$ дає позитивний ефект і дозволяє забезпечити найбільш якісне і ефективне внесення добрив були враховані при проведенні подальших експериментів.

3.2. Результати польових випробувань розкидання мінеральних добрив

Роботу машини для внесення мінеральних 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 3.8).

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 3.9).

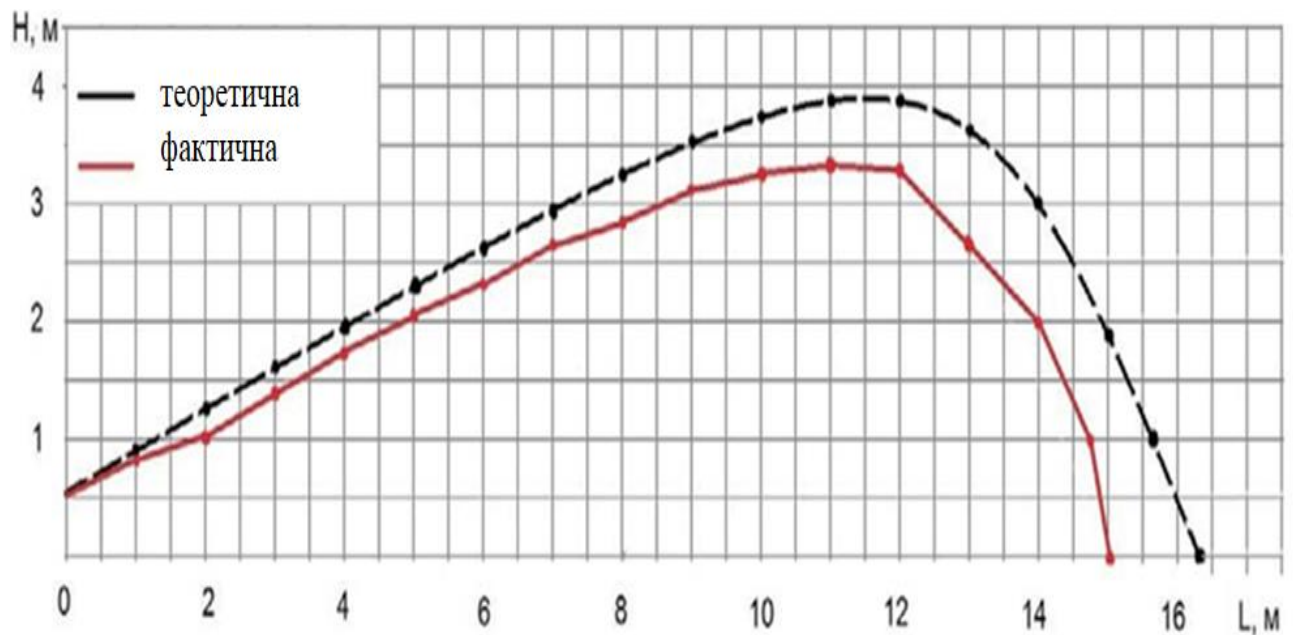


Рис. 3.8 - Траєкторія польоту частки добрив при роботі з плоскими лопатками

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.

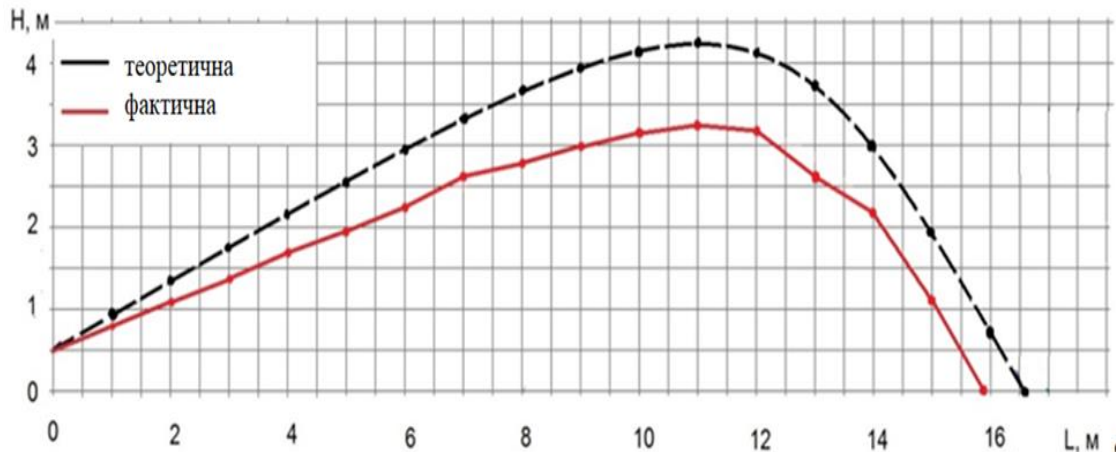


Рис. 3.9 - Траєкторія польоту частки добрив при роботі лопаток з бортами.

При роботі розкидання з жолобоподібними лопатками результати показали не значну розбіжність (Рисунок 3.10), 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.

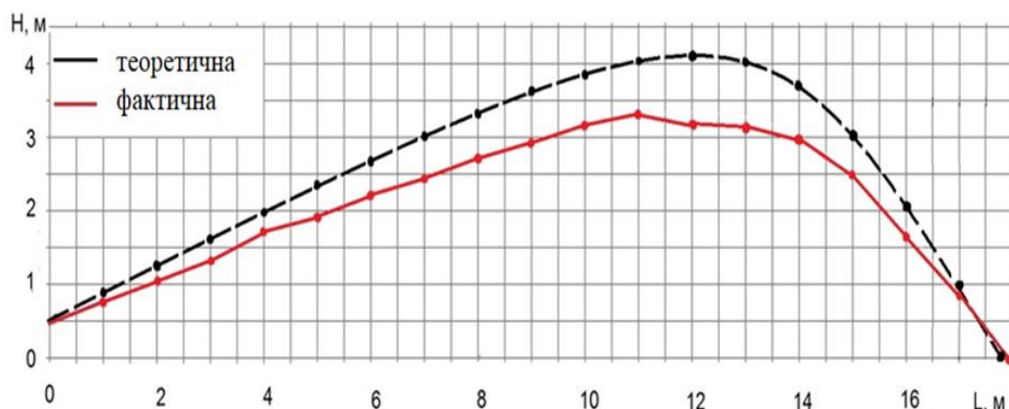


Рис. 3.10 - Траєкторія польоту частки добрива при роботі з жолобоподібними лопатками.

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.

Висновки по розділу

1. 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).

2. Дослідження показали, що застосування розкидання добрив із жолобоподібними лопатками має суттєві переваги. Така конфігурація забезпечує необхідний коефіцієнт варіації на рівні 10, зменшує вертикальну нерівномірність розподілу, робить потік часток більш щільним і знижує максимальні точки їхньої траєкторії до 2,8 м, не погіршуючи при цьому робочу ширину внесення, яка становить 18 м.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

1.1 Загальні вимоги безпеки

Під час роботи з машинами для внесення мінеральних добрив працівники піддаються впливу різноманітних небезпечних і шкідливих факторів, таких як високий рівень запиленості, токсичність добрив, наявність рухомих механізмів та ймовірність отримання травм під час обслуговування та завантаження обладнання. Тому до роботи допускаються лише особи, які:

- пройшли інструктаж та навчання з охорони праці;
- мають навички керування тракторними агрегатами;
- забезпечені сертифікованими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

Перед початком роботи оператор зобов'язаний оглянути технічний стан агрегату: перевірити справність роторів, транспортерів, лопаток, механізмів подачі, гідросистеми, зчпного пристрою й робочих органів.

2.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Механічні небезпеки

1. Обертальні елементи (ротори, лопатки, карданні вали) створюють ризик захоплення частин тіла або одягу.
2. Підвищений рівень вібрації та шуму при роботі машини може негативно впливати на здоров'я оператора.
3. Небезпека травмування під час очистки або налаштування робочих органів.

Хімічні фактори

1. Мінеральні добрива можуть бути токсичними, подразнювати слизові оболонки та шкіру.

2. Під час розкидання в повітрі виникає аерозоль, що може спричиняти алергічні реакції або подразнення дихальних шляхів.

Фізичні фактори

1. Запиленість у зоні роботи агрегату.
2. Шум понад 80–90 дБ під час роботи.
3. Можливість утворення статичної електрики при роботі з сухими гранулами.

Експлуатаційні фактори

1. Ризик перекидання трактора на пересіченій місцевості.
2. небезпека наїзду на працівників, які перебувають поблизу машини.
3. Можливість засмічення механізмів добривами та порушення їх роботи.

2.3. Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед запуском машини виконують:

- зовнішній огляд агрегату, усунення пошкоджень, перевірка мастила та герметичності гідросистем.
- перевірка захисних кожухів на карданному валу та рухомих вузлах - їхнє зняття категорично заборонено.
- очищення завантажувального бункера від грудок, сторонніх предметів.
- перевірка системи дозування добрив і рівномірності подачі.
- оцінка умов роботи поля - ухилів, наявності перешкод, безпечних шляхів руху.

2.4. Вимоги безпеки під час роботи

1. Завантаження добрив дозволяється лише при повній зупинці машини та заглушеному двигуні трактора.
2. Забороняється знаходитися позаду машини під час розкидання добрив.

3. Налаштування норми внесення, кута лопаток, дефлекторів та інших елементів роблять тільки при вимкненому приводі.
4. При появі сторонніх звуків або прослизанні приводу необхідно негайно зупинити агрегат.
5. Оператор повинен підтримувати дистанцію від інших транспортних засобів і людей не менше 20–30 м.
6. Під час роботи на схилах допускається кут нахилу не більше допустимого для конкретної моделі трактора.
7. Заборонено очищати бункер, ротор чи лопатки руками без повного відключення трансмісії.

Засоби індивідуального захисту

Оператор зобов'язаний використовувати:

- респіратор або маску проти пилу класу FFP2–FFP3;
- захисні окуляри;
- рукавиці кислотостійкі або латексні;
- спецодяг із щільної тканини;
- захисне взуття;
- при роботі в кабіні – забезпечити її герметичність та вентиляцію.

2.5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення внесення добрив необхідно:

1. Заглушити двигун і зняти ключ запалювання.
2. Очистити машину від залишків мінеральних добрив, щоб уникнути корозії.
3. Перевірити стан дозуючих механізмів та робочих органів.
4. Промити бункер і транспортні частини водою (за рекомендаціями виробника).
5. Виконати технічне обслуговування та змащення відповідних вузлів.

6. Здати ЗІЗ для очищення або дезактивації.

Пожежна та екологічна безпека

1. Мінеральні добрива можуть бути вибухо- та пожежонебезпечними при контакті з мастилами або органічними матеріалами.
2. На агрегаті та в кабіні трактора повинні бути справні вогнегасники.
3. Забороняється палити під час завантаження та в зоні зберігання добрив.
4. Майданчик для зберігання мінеральних добрив повинен бути сухим, вентильованим, ізолюватися від пального.
5. Забороняється зливати залишки добрив у водойми чи на непризначені ділянки.
6. Слід уникати перевищення норми внесення, щоб попередити забруднення ґрунтів і ґрунтових вод.
7. Місця заправки добривами мають бути оснащені твердим покриттям і системою відведення стоків.

Висновок по розділу

Дотримання вимог охорони праці при експлуатації машин для внесення мінеральних добрив є ключовою умовою безпечної роботи персоналу. Правильне налаштування агрегату, використання засобів індивідуального захисту та суворе виконання технологічних вимог дозволяють мінімізувати ризики травмування, впливу шкідливих речовин та забезпечити ефективно й екологічно безпечно внесення добрив.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АГРЕГАТУ НА ВНЕСЕННІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

Техніко-економічну оцінку запропонованої конструкції було проведено шляхом порівняння її показників із серійною машиною для внесення мінеральних добрив типу СТТ-10. Ключова відмінність модернізованого агрегату полягає у використанні вдосконалених робочих органів, що забезпечують стабільнішу та надійнішу роботу. Завдяки цьому значно скорочується кількість вимушених технологічних зупинок, пов'язаних із чищенням, переналаштуванням або усуненням засмічення механізмів.

Зменшення простоїв позитивно впливає на темп виконання технологічної операції: агрегат може працювати з вищою робочою швидкістю, а отже - забезпечує підвищену змінну продуктивність. У результаті це дає змогу скоротити тривалість внесення добрив на полі та зменшити експлуатаційні витрати.

Вихідні дані, необхідні для проведення детальних техніко-економічних розрахунків, наведено у таблиці 5.1

Таблиця 5.1.

Вхідні показники, необхідні для виконання техніко-економічного аналізу

№	Показник	Розмірність	Технологічна машина	
			Серійна	Модернізована
1	Річний обсяг гоботи	га	500	500
2	Продуктивність	га/год	13,1	19,2
3	Витрати ПММ	кг/га	7,8	7,2
4	Вартість: - Трактора - Машини	грн	760000 29500	760000 21000
5	Кількість обслуговуючого персонала		1	1

У таблиці 5.2 наведено підсумкові результати техніко-економічних розрахунків, які відображають ключові показники ефективності роботи як базової, так і модернізованої машини. Порівняння цих даних дає змогу об'єктивно оцінити переваги оновленої конструкції та визначити ступінь підвищення її продуктивності та економічної доцільності.

Таблиця 5.2.

Показники економічної доцільності виконання робіт

№	ПОКАЗНИКИ	Варіант	
		Базовий	Проект
1	Вид роботи	Підкопування саджанців	
2	Об'єм роботи, га	500	500
3	Склад агрегата:	МТЗ-82	МТЗ-82
	Трактор	МВУ-5	СТТ-10 М
	Машина		
4	Продуктивність, га/год	13,1	19,2
5	Кількість нормо-годин у обсязі робіт	23,13	26,04
6	Кількість обслуговуючого персоналу		
	-трактористів-машиністів	1	1
	-допоміжних працівників	-	-
7	Тарифна ставка, грн/год	98,67	98,67
8	Норма витрати пального, кг/га	3,6	2,2
9	Балансова вартість, грн:		
	- трактора	760000	760000
	- машини	239500	241000
10	Комплексна ціна ПММ, грн/кг	63	63
11	Експлуатаційні витрати, грн/га	1097,63	827,10
	у тому числі:		
	Амортизаційні відрахування:		
	-трактор	187,15	127,69
	-машини	380,88	261,50
	-всього	568,03	389,19
	. Витрати на ПММ	226,80	138,60
	.Витрати на ТО, ТР, зберігання,		
	-трактора	291,84	291,84
	-машина	91,97	92,54
	-всього	383,81	384,38
12	Капітальні вкладення, грн/га	1999	2002
13	Приведені затрати, грн/га	1397,48	1127, 40
14	Річний економічний ефект, грн		135035,50
14	Термін окупності, років		0,1

У додатку А подано повний комплекс розрахункових матеріалів: вихідні параметри, проміжні формули, пояснення до етапів обчислень. Така структурованість дозволяє не лише перевірити правильність виконаних дій, а й відтворити методику розрахунку у разі необхідності. Це підвищує прозорість дослідження та підтверджує достовірність отриманих результатів.

Висновок по розділу

Загалом отримані дані свідчать, що застосування удосконаленої машини є технологічно й економічно обґрунтованим, оскільки забезпечує кращі виробничі показники та зменшує витрати на виконання відповідних польових робіт. На основі проведених розрахунків очікуваний щорічний економічний результат становить 135 035,50 грн

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для внесення гранульованих мінеральних добрив найбільш ефективним є використання кузовних розкидачів, оснащених роторними робочими органами з горизонтальною віссю обертання. Такий підхід забезпечує стабільний потік матеріалу, достатню дальність розкидання та придатний для більшості польових умов характер формування розподільної смуги.

2. На основі проведених теоретичних розрахунків та підтверджених експериментальних результатів визначено оптимальні конструктивні та режимні параметри роторного робочого органу. До них належать:

- радіус ротора — 400 мм;
- частота його обертання — 800 хв^{-1} ;
- розміри лопаток — 200×400 мм;
- кут їх установки — 12° ;
- жолобоподібна форма лопаток;
- кількість лопаток — 5 шт;

3. Для стабілізації руху гранул та зменшення вертикальних коливань потоку запропоновано застосування параболічного дефлектора довжиною 565 мм. Установка такого елемента дозволяє підвищити однорідність розподілу, збільшити щільність струменя частинок і мінімізувати небажане «віялове» розсіювання.

4. Результати експериментальних досліджень підтвердили працездатність розробленої конструкції. Під час подачі добрив у кількості 5 кг/с забезпечується норма внесення в межах 300–2000 кг/га при ширині захвату до 18 м. Встановлена нерівномірність розподілу становить 9,81%, що може бути додатково знижено за рахунок перекриття сусідніх проходів на 1 м.

5. Продуктивність агрегату визначається переважно швидкістю його руху й може досягати 19,28 га/год залежно від обраної норми внесення. Такий

показник свідчить про високу ефективність роботи розкидача в реальних польових умовах.

6. Під час роботи на ділянках із нерівним рельєфом або на схилах до 12° необхідним є використання системи стабілізації кузова, що дозволяє зберігати горизонтальне положення машини та гарантувати рівномірність внесення добрив навіть у складних умовах місцевості.

7. Розрахунки економічної ефективності продемонстрували, що впровадження удосконаленого розкидача забезпечує річний економічний зиск у розмірі 135 035,50 грн. Це підтверджує доцільність застосування модернізованої конструкції в сільськогосподарських підприємствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грабовець І. А. Дослідження процесу розсіювання мінеральних добрив відцентровими робочими органами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2008. №92. С. 112–119.
2. Гутаревич Ю. Ф. Теоретичні основи розсіювання сипких матеріалів обертальними робочими органами. Київ: НАУ, 2005. 185 с.
3. Мойсеєнко В. М., Левчук В. Г. Дослідження силової взаємодії гранул із лопатками дискового розсіювача. *Техніка АПК*. 2010. №4. С. 17–21.
4. Товажнянський Л. Л., Вінніков С. М. Технологія мінеральних добрив. Харків: НТУ «ХП», 2006. - 312 с.
5. Гринь Г. І., Астрелін І. М. Технологія мінеральних добрив і солей. Харків: НТУ «ХП», 2008. - 280 с.
6. Бобровник В. М. Хімія і технологія мінеральних добрив. Київ: НАУ, 2003. - 240 с.
7. Постовойтенко О. М. Охорона родючості ґрунтів і раціональне землекористування. Київ: Урожай, 2008. - 240 с.
8. Балюк С. А., Медведєв В. В. Стале використання та відтворення родючості ґрунтів України. Київ: Аграрна наука, 2014. — 352 с.
9. Гевко Б. М., Гевко Р. Б. Технічні засоби агропромислового виробництва. Тернопіль: ТНТУ, 2019. - 256 с.
10. Тараріко О. Г., Балюк С. А., Медведєв В. В. Захист ґрунтів від деградації. Київ: Аграрна наука, 2005. - 230 с.
11. Кравчук Я. Р. Техніка сільськогосподарського виробництва. Львів: ЛНУП, 2017. - 340 с.
12. Hunt D., Wilson D. - Farm Power and Machinery Management Wiley, 2019. - 432 p.
13. Білецький В. С., Левчук В. Г. Сільськогосподарські машини: конструкція, робота та налаштування. Київ: Аграрна освіта, 2017. - 420 с.

14. Мельник П. П., Коляда В. М. Машины і знаряддя для рослинництва. Київ: НУБіП, 2016. - 310 с.
15. Григор'єв М. М., Тимчик М. Ф. Сільськогосподарські машини. Київ: КНЕУ, 2010 р. - 380 с.
16. Кондратюк О. М. Тенденції удосконалення технічних засобів для поверхневого внесення мінеральних добрив. Інженерія природокористування, 2016, №1. - С. 53 - 58.
17. Топчій В. П. Трактори і сільськогосподарські машини. Вінниця: ВНАУ, 2014. - 416 с.
18. Юрченко І. І., Зошук Я. В. Обґрунтування параметрів робочих органів центробіжних розкидачів гранульованих добрив. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ, 2014. - С. 210 - 218.
19. Мельник П. П., Бабич К. М. Відцентрові розкидачі мінеральних добрив: теорія та розрахунок. Київ: НУБіП, 2020. - 190 с.
20. Фізико-механічні властивості мінеральних добрив та матеріалів хімізації. Дейнега В. І., Сіренко М. М. Київ: НААН, 2014. - 156 с.
21. Дубровін В. О. Техніка і технології внесення добрив у сучасному землеробстві. Харків: ХНАУ, 2021. - 144 с.
22. Шеремета В. П. Механізація внесення мінеральних добрив. Львів: ЛНУП, 2018. - 128 с.
23. Марченко О. М., Грабак Л. І. Машины для захисту рослин та внесення добрив: навчальний посібник. - Київ: НАУ, 2013. - 248 с.
24. Адамчук В. В. Розвиток технічних засобів для внесення мінеральних добрив у системах точного землеробства. Техніка і технології АПК, 2015, №2. - С. 9 - 14.
25. Саблук Р. П., Теслюк В. М., та ін. Машины та обладнання в АПК: підручник. - Київ: КНЕУ, 2017. - 420 с.
26. Погорілий О. М., Нікітін М. В. Перспективи вдосконалення

центробіжних розкидачів добрив. Наукові праці УкрНДІПВТ, 2012. - С. 144 - 151.

27. Терещенко В. І., Кравчук В. В. Сучасні конструктивні рішення розкидачів комплексних мінеральних добрив. Механізація та електрифікація сільського господарства, 2010, №4. - С. 45–52.

28. Леонт'єв А. І., Рижук С. М., та ін. Трактори і сільськогосподарські машини: підручник для агроінженерів. - Житомир: Полісся, 2018. - 600+ с.

29. Гевко Б. М., Адамчук В. В., та ін. Технічні системи в агропромисловому виробництві. - Тернопіль: ТНТУ, 2014. - 360 с.

30. Адамчук В. В., Рудик М. П. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту, сівби та удобрення: навчальний посібник. - Київ: НУБіП України, 2016. - 290 с.

31. Рижук С. М., Левченко В. М., Сіренко М. М. Механізація внесення мінеральних добрив. Київ: НААН, 2015. - 165 с.

32. Голуб Г. І., Романченко М. І. Охорона праці в сільському господарстві: навчальний посібник. - Київ: Центр учбової літератури, 2015. - 304 с.

33. Тимофєєв В. І., Левченко В. М. Безпека життєдіяльності та охорона праці в аграрному секторі. - Київ: НУБіП України, 2017. - 288 с.

34. Данильченко А. М., Сахно Л. І. Охорона праці в галузях АПК: навчальний посібник. - Полтава: ПДАА, 2018. - 210 с.

35. Козаченко В. В., Литвиненко В. І. Економічна оцінка та техніко-експлуатаційні показники сільськогосподарської техніки. Львів: Новий Світ - 2021, 2021. - 344 с.

36. Саблук Р. П., Шевчук М. М. Економіка агропромислового виробництва: розрахунки ефективності техніки. Київ: КНЕУ, 2014. - 380 с.

ДОДАТКИ

У відповідності з виданим на дипломний проект завданням:

Кількість нормо-годин у обсязі робіт:

Базовий	Проект
$K_{нг} = \frac{W_{сез}}{W_{год}} = \frac{500}{13,1} = 38,17 \text{ год}$	$K_{нг} = \frac{W_{сез}}{W_{год}} = \frac{500}{19,2} = 26,04 \text{ год}$

(5.1)

Витрати праці:

Базовий	Проект
$V_{п} = K_{нг} \cdot n = 38,17 \cdot 1 = 380,17 \text{ год}$	$V_{п} = K_{нг} \cdot n = 26,04 \cdot 1 = 26,04 \text{ год},$

(5.2)

де $n=1$ - кількість обслуговуючого персоналу.

Експлуатаційні витрати.

Експлуатаційні витрати складаються з основної і додаткової заробітної плати, амортизаційних відрахувань, витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на технічне обслуговування, ремонт і зберігання агрегата.

Основна і додаткова заробітна плата.

Основна і додаткова заробітна плата з нарахуваннями:

$$\Pi = \frac{C_{т}}{W_{год}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5.3)$$

де $C_{т}$ - тарифна ставка, 86,98 грн/год;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату (20%);

$K_2 = 1,375$ – коефіцієнт, що враховує нарахування на соціальні підприємства.

Базовий	Проект
$\Pi = \frac{86,98}{13,1} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 10,96 \text{ грн/га}$	$\Pi = \frac{86,98}{19,2} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 7,47 \text{ грн/га}$

Амортизаційні відрахування.

Норма амортизації для трактора – 15%, машини – 15%.

Нормативне завантаження на рік:

- трактора - 1550год;
- машини - 240год

Базовий

Проект

$$\text{Трактор: } A_{\text{ТР}} = \frac{770000 \cdot 500}{100 \cdot 1550 \cdot 13,1} = 187,15 \text{ грн/га}$$

$$A_{\text{ТР}} = \frac{760000 \cdot 500}{100 \cdot 1550 \cdot 19,2} = 127,69 \text{ грн/га}$$

$$\text{машина: } A_{\text{М}} = \frac{239500 \cdot 500}{100 \cdot 240 \cdot 13,1} = 380,88 \text{ грн/га}$$

$$A_{\text{М}} = \frac{241000 \cdot 500}{100 \cdot 240 \cdot 19,2} = 261,50 \text{ грн/га}$$

$$\text{Всього: } A_{\Sigma} = 187,15 + 380,88 = 568,03 \text{ грн/га}$$

$$A_{\Sigma} = 127,69 + 261,50 = 261,50 \text{ грн/га}$$

Витрати на ПММ.

Базовий

$$Ц_{\text{ПММ}} = 63,0 \text{ грн/кг}$$

$$B_{\text{ПММ}} = Ц_{\text{ПММ}} \cdot W_{\text{ПММ}} = 63 \cdot 3,6 = 226,80 \text{ грн/га}$$

Проект

$$B_{\text{ПММ}} = 63 \cdot 2,2 = 138,60 \text{ грн/га}$$

Витрати на ТО, ТР, зберігання.

Норма витрат на ТР, ТО і зберігання:

- $\alpha_{\text{ТО}} = 11\%$ - норма відрахувань на ТО;
- $\alpha_{\text{З}} = 0,2\%$ - норма відрахувань на зберігання;
- $\alpha_{\text{ТР}} = 8\%$ - норма відрахувань на ремонт.

Витрати на ТО, ТР і зберігання:

$$B = \frac{B_{\Sigma} \cdot (\alpha_{\text{ТО}} + \alpha_{\text{З}} + \alpha_{\text{ТР}})}{100 \cdot K_{\text{ТР}} \cdot W_{\text{ГОД}}} \cdot K, \quad (5.4)$$

де B_{Σ} – балансова вартість, грн;

K – коефіцієнт переводу трактора у еталонний.

$$\text{Трактор: } V_{\text{Тр}} = \frac{\text{Базовий } 760000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 23,17 \cdot 13,1} = 291,84 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_{\text{Тр}} = \frac{760000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 26,04 \cdot 19,2} = 291,84 \text{ грн/га}$$

$$\text{Машина: } V_{\text{М}} = \frac{\text{Базовий } 239500 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 23,17 \cdot 13,1} = 91,97 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_{\text{М}} = \frac{241000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 26,04 \cdot 19,2} = 92,954 \text{ грн/га}$$

Всього по агрегатам:

$$V = V_{\text{Тр}} + V_{\text{М}} = 291,84 + 91,97 = 383,81 \text{ грн/га}$$

$$V = 291,84 + 92,54 = 384,38 \text{ грн/га}$$

Всього експлуатаційних витрат на 1 га:

$$E_{\text{В}} = 10,96 + 568,03 + 226,80 + 291,84 = 1097,63 \text{ грн/га}$$

Проект

$$E_{\text{В}} = 7,47 + 389,19 + 138,60 + 291,84 = 827,10 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на весь обсяг роботи:

Базовий

Проект

$$E_{\Sigma} = E_{\text{В}} \cdot W_{\text{СЕЗ}} = 1097,63 \cdot 500 = 548812,87 \text{ грн}$$

$$E_{\Sigma} = 827,10 \cdot 500 = 413552,38 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення на 1 га:

Базовий	Проект
Трактор: $K_B = \frac{B_B}{W_{CEZ}} = \frac{760000}{500} = 1520 \text{ грн/га}$	$K_B = \frac{760000}{500} = 1520 \text{ грн/га}$

Машина: $K_B = \frac{239500}{500} = 479 \text{ грн/га}$	$K_B = \frac{241000}{500} = 482 \text{ грн/га}$
---------------------------------------------------------	-------------------------------------------------

Всього:

$$K_B = 1520 + 479 = 1999 \text{ грн/га} \quad K_B = 1520 + 482 = 2002 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на 1га:

$$П_B = E_B + 0,15 \cdot K_B$$

Базовий

$$П_B = 1097,63 + 0,15 \cdot 1999 = 1397,48 \text{ грн/га}$$

Проект

$$П_B = 827,10 + 0,15 \cdot 2002 = 1127,40 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на весь обсяг робіт:

Базовий

$$П_{вz} = П_B \cdot W_{CEZ} = 1397,48 \cdot 500 = 698737,87 \text{ грн}$$

Проект

$$П_{вz} = 1127,40 \cdot 500 = 563702,38 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект:

$$E_B = 698737,87 - 563702,38 = 135035,50 \text{ грн}$$

Термін окупності:

$$T_0 = \frac{1001000 - 999500}{135035,50} = 0,1 \text{ роки}$$