

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.01. – МР.1943 «С». 2022.12.30. 028, ПЗ

ДРУЗЮК БОГДАН ІГОРОВИЧ

НУБІП України

2023

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Механіко-технологічний факультет

УДК 631.333.5

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко-
технологічного факультету
Вячеслав

БРАТІШКО
(підпис)

« » листопада 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
сільськогосподарських
машин та системотехніки імені
академіка П.М. Василенка
Юрій ГУМЕНЮК

(підпис)

« » листопада 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗКИДАЛЬНОГО
РОБОЧОГО ОРГАНА МАШИНИ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ВНЕСЕННЯ
ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ»**

01.01.-МР.1943 «С». 2022.12.30. 028. ПЗ

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

доктор технічних наук, професор

Братішко В.В.

(підпис)

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:

канд. іст. наук, доцент

Деркач О.П.

(підпис)

Виконав:

Друзюк Б.І.

(підпис)

Київ-2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Механіко-технологічний факультет

НУБІП України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри сільськогосподарських
машин та системотехніки імені

академіка П.М. Василенка

НУБІП України

к.т.н., доц. Юрій ГУМЕНЮК

(підпис)

« »
2023 р.

ЗАВДАННЯ

НУБІП України

НА ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

ДРУЗІОКУ БОГДАНУ ПІГОРОВИЧУ

НУБІП України

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Обґрунтування параметрів розкидального робочого органа машини для поверхневого внесення твердих мінеральних добрив», затверджена наказом ректора від «30» грудня 2022 р. №1943 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2023.11.15.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: технології та технічні засоби для внесення твердих мінеральних добрив.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологій та технічних засобів для внесення твердих мінеральних

НУБІП України

добрив
2. Теоретичне дослідження процесу роботи відцентрового розсіювального робочого органа.

3. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз.

Перелік графічних матеріалів:

Лист 1. Аналіз конструкцій розсіювальних дисків.
Лист 2. Машина для поверхневого внесення мінеральних добрив МРД-5Д. Складальне креслення.

Лист 3. Машина для поверхневого внесення мінеральних добрив МРД-5Д.

Схема кінематична.
Лист 4. Машина для поверхневого внесення мінеральних добрив МРД-5Д. Схема функціональна.

Лист 5. Розкидний робочий орган. Складальне креслення.

Лист 6. Схема сил, що діють на частинку, яка рухається по робочій поверхні.

Лист 7. Залежність відносної швидкості руху частинок від форми робочої поверхні.

Лист 8. Залежність нерівномірності внесення гранульованого суперфосфату від ширини захвату і швидкості руху агрегату.

Лист 9. Нерівномірність розподілення мінеральних добрив при різних режимах роботи агрегату.

Лист 10. Техніко-економічні показники.

Дата видачі завдання: 14.09.2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:
канд. іст. наук, доцент _____ Деркач О.П.
(підпис)

Завдання прийняв до виконання: _____ Дружок Б.І.
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ	
1.1. Вплив нерівномірності внесення добрив на врожайність сільськогосподарських культур.....	10
1.2. Аналіз конструкцій машин для поверхневого внесення мінеральних добрив	14
1.3. Огляд експериментальних досліджень процесу внесення добрив відцентровими дисковими апаратами.....	18
1.4. Аналіз теоретичних досліджень технологічного процесу внесення добрив відцентровими дисковими робочими органами.....	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗСПОВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА	
2.1. Обґрунтування форми відцентрового робочого органу.....	32
2.2. Рух частинок добрив вздовж лопаті по конічній поверхні робочого органу.....	38
2.3. Рух частинок добрив вздовж викидної лопаті на диску.....	42
2.4. Обґрунтування основних конструктивних параметрів робочого органу.....	55
2.5. Обґрунтування форми відбивного щитка.....	58
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	
3.1. Лабораторно-польова експериментальна установка, технологічна схема роботи експериментального розкидача в польових умовах.....	63

3.2. Планування експерименту при дослідженні технологічного процесу внесення добрив.....	65
3.3. Характеристика вихідного матеріалу.....	72
3.4. Нерівномірність розподілу добрив по ширині захвату агрегату, вплив нерівномірності внесення добрив на величину врожаю.....	75
3.5. Математичні моделі технологічного процесу розподілу добрив і вапна по поверхні поля.....	80

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....	87
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94
ДОДАТКИ.....	98

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Задоволення потреб населення в продуктах харчування та промисловості в сировині пов'язане з підвищенням урожайності сільськогосподарських культур.

Основоположними критеріями сучасних технологій є збереження та підвищення ґрунтової родючості, ресурсозбереження, екологічна безпека продукції та охорона довкілля. Тому вивчення ефективних енергозберігаючих прийомів обробітку ґрунту, доз мінеральних добрив і засобів захисту рослин у конкретно ґрунтово-кліматичних умовах - актуальне завдання сучасного землеробства.

Практика показує, що понад 50% збільшення врожаю отримують за рахунок внесення добрив, а вапнування кислих та гіпсування солонцевих ґрунтів, площі яких становлять понад 80 млн. га. - найбільш ефективний спосіб відновлення їх родючості та підвищення коефіцієнта використання добрив.

Продукцію з досить високою якістю можна отримати при внесенні добрив у певній відповідності поживних речовин з урахуванням конкретних агрохімічних та ґрунтово-кліматичних умов. По даних агрохімічної служби, нині в Україні 33,4% орних ґрунтів мають низький рівень забезпеченості фосфором, у яких без внесення фосфорних добрив не можна отримати задовільний врожай. Ґрунти

країни краще забезпечені калієм, проте 189,3 тис. га (15,1 %) ріллі мають низький вміст цього елемента. Висока кислотність орних ґрунтів сильно перешкоджає зростанню урожайності сільськогосподарських культур та ефективному використанню добрив.

Від характеру розподілу дози добрив на поле залежить середня урожайність сільськогосподарських культур. Зі зростанням нерівномірності внесення добрив значно погіршується чуйність рослин на добрива. Нерівномірне внесення добрив впливає на властивості врожаю (знижує його технологічні та біологічні переваги, спричиняє накопиченню нітратів у сільськогосподарських культурах), а також призводить до забруднення навколишнього середовища.

Як показує практика, вносять основні порції мінеральних добрив, як у нашій країні, так і за кордоном, здебільшого поверхово з подальшим

закладенням їх ґрунтообробними знаряддями. Цей спосіб є найбільш поширеним, і застосовують його при внесенні великих порцій. Для поверхневого внесення добрив великими порціями в основному використовуються розкидачі різної конструкції та компоновання. Останнім часом найбільше застосування знаходять навісні розкидачі. Це з тим, що за останні роки ситуація з використанням мінеральних добрив у сільськогосподарському виробництві країни різко змінилася, оскільки ціни на них зросли в десятки разів, а використання зменшилося. Основними дозуючими пристроями навісних розкидачів є дискові апарати відцентрового типу з вертикальною віссю обертання. Ці апарати прості за будовою, надійні в роботі, при правильному налаштуванні машини здатні забезпечити задовільну якість поверхневого внесення мінеральних добрив і вапняних матеріалів у ґрунт.

Численними дослідженнями встановлено, що якість внесення вапняних матеріалів, як і якість внесення мінеральних добрив даними робочими органами, здебільшого не відповідають агротехнічним вимогам. При внесенні тукосумішей центробіжні дискові апарати поділяють суміші на компоненти. При такому розподілі : в одне місце потрапляють більше азотних, в друге – фосфорних, у третє – калійних добрив, що призводить до порушення нормального забезпечення рослин поживними речовинами. Тому завдання вдосконалення технологічних засобів для поверхневого внесення мінеральних добрив і вапняних матеріалів є актуальним і має важливе народногосподарське значення.

Мета роботи - дослідження раціональних параметрів відцентрового робочого органа розкидачів для поверхневого внесення мінеральних добрив.

Об'єкт дослідження - відцентровий робочий орган, який використовується в машинах для поверхневого внесення мінеральних добрив і вапнякових матеріалів.

Предмет дослідження - закономірності взаємодії часток добрив з робочою поверхнею відцентрового робочого органа.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що на основі проведених

досліджень сформульовано та обґрунтовано теоретичні передумови щодо покращення показників технологічного процесу поверхневого внесення твердих мінеральних добрив робочими органами відцентрового типу. Розроблено узагальнену методику розрахунку раціональних конструктивних і кінематичних параметрів відцентрового робочого органу до машин для поверхневого внесення мінеральних добрив.

Практична цінність роботи полягає в розробленні уточнених методик інженерного розрахунку основних параметрів робочих органів розкидачів відцентрового типу. Впровадження розкидача з пропонуваним робочим органом

дасть змогу збільшити продуктивність агрегату, знизити витрати праці та грошових коштів, що позитивно позначиться на терміні окупності.

За результатами досліджень опубліковані тези.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

1.1. Вплив нерівномірності внесення добрив на врожайність сільськогосподарських культур

Криза аграрного сектора економіки України в 90-ті роки ХХ століття спричинила різке зменшення застосування мінеральних добрив. Це призвело до зниження родючості ґрунту, негативного балансу поживних речовин у землеробстві, погіршення фітосанітарного стану посівів і, як наслідок, падіння врожайності сільськогосподарських культур. Вихід із становища, що склалося, вбачається у поверненні до інтенсифікації на базі розумного науково обґрунтованого застосування добрив, меліорантів і засобів захисту рослин. Основоположні критерії сучасних технологій - збереження та підвищення врожайності, збереження ресурсів, екологічна безпека продукції і охорона навколишнього середовища.

Для кожної сільськогосподарської культури в конкретних природно-кліматичних умовах існує оптимальна доза внесення добрив, що відповідає їх максимальній окупності. Рівномірне внесення добрив по поверхні ґрунту - одна з умов, що підвищують їх ефективність та усувають строкатість урожаю в межах поля. Тому агротехнічними вимогами допускається нерівномірність розподілу добрив по ширині захоплення відцентрового розкидача не вище $\pm 25\%$, по ходу руху агрегату - до $\pm 10\%$. Від характеру розподілу дози з поля залежить середня врожайність сільськогосподарських культур. Зі зростанням нерівномірності внесення добрив значно погіршується чутливість рослин на добрива.

Нерівномірне внесення добрив впливає на властивості врожаю (знижує його технологічні та біологічні переваги, сприяє нагромадженню нітратів у сільськогосподарських культурах), а також призводить до забруднення навколишнього середовища. Доведено, що режим харчування рослин визначає такі технологічні якості сільськогосподарської продукції, як довжина та міцність волокна льону, конопель, бавовнику та інших культур, вміст крохмалю в

картоплі, кількість кислот у рослинних жирах, вміст алкалоїдів у лікарських рослинах. Неоднорідність ґрунтової родючості, обумовлена нерівномірним розподілом добрив, часто є основною причиною вилягання посівів зернових колосових культур навіть при вирощуванні порівняно стійких до вилягання сортів. За даними фермерів, втрати від полягання хлібів виражаються прямими втратами врожаю зерна і в окремі роки досягають 25-60%. Вилягання ускладнює механізоване збирання зернових культур, знижує технологічні властивості зерна, і, крім того, полегли рослини сильніше уражаються хворобами.

За багаторічними дослідженнями фермерських господарств, проведеними у дев'яти областях країни, внаслідок нерівномірного внесення добрив зниження біологічної врожайності ярого ячменю, озимої та ярої пшениці, цукрових буряків, кукурудзи та вівса становить понад 13%. Це зумовлено тим, що нерівномірно удобрене поле є сукупністю різних ділянок (плям) поля. Кількість поживних речовин цих ділянках коливається близько середньої дози внесення. Одні ділянки щодо цієї дози добрив недостатньо, інші, навпаки, надмірно. Рослини на різних ділянках по-різному розвиваються і зрештою дають неоднакову врожайність.

Підвищення родючості тісно пов'язане з підтриманням оптимальної реакції ґрунтового середовища, що досягається шляхом вапнування. Дуже важливо рівномірно розподіляти крім добрив ще й вапно. При нерівномірному розміщенні ефективність значно знижується. Слід враховувати, що вапнування, незважаючи на багатогранність своєї дії, не є повноцінним прийомом при вирощуванні сільськогосподарських культур. Воно покращує в умовах підзолистих ґрунтів загальне агротехнічне тло, на якому за допомогою мінеральних добрив можна досягти отримання високих і стійких врожаїв.

Академік ВАСГНІЛ Т.М. Кулавська вказує, що вапнування ґрунту, внесення добрив та підвищення агротехнічного рівня - необхідна умова дії мінеральних добрив та зростання врожайності сільськогосподарських культур.

Вапнування, як із провідних прийомів окультурення ґрунтів, має проводитися випереджаючими темпами проти росту з використання мінеральних добрив.

Постійно зростаючий обсяг застосування мінеральних добрив вимагає максимального зростання темпів вапнування.

Однак за даними ряду авторів, якість внесення вапняних матеріалів, як і якість внесення мінеральних добрив, здебільшого не відповідають агротехнічним вимогам. Вапно є довготривалою речовиною, і від якості його внесення в ґрунт залежить врожайність сільськогосподарських культур протягом ряду років. Крім складних і простих добрив, у сільському господарстві широко використовуються змішані, які дозволяють застосувати туки в різних природно-кліматичних умовах та з будь-яким співвідношенням поживних елементів.

Внесення мінеральних добрив змішаному вигляді економічно вигідно, т.к. дозволяє знизити витрати праці в 2-2,5 рази на одиницю площі порівняно з роздільним внесенням кожного компонента суміші.

Дослідженнями радянських і зарубіжних вчених встановлено, що зміна врожаю при внесенні тукоsumішей залежить від внесення мінімальної кількості одного з поживних елементів, а коливання тукоsumішей за поживними властивостями до 20% не мають істотного впливу на врожай сільськогосподарських культур. Як показує практика, поділ тукоsumіші на компоненти призводить до нерівномірного розподілу їх по поверхні поля. Так, в одне місце ґрунту потрапляють більше азотних, в інше – фосфорних, у третє – калійних добрив, що призводить до порушення нормального забезпечення рослин поживними речовинами.

Як відомо, у повнокомпонентній суміші добрив кожен компонент відрізняється своїми фізико-механічними властивостями. Тому нерівномірність розподілу для різних фракцій відрізняється від нерівномірності розподілу всієї суміші.

Встановлено, що отримати високоякісну суміш різних видів мінеральних добрив можна лише тоді, коли всі її компоненти складаються з вирівняних гранул. Різниця середніх розмірів частинок добрив в 2 мм призводить до того, що нерівномірність перемішування виявляється в двічі вищою за допустиму межу. Як

правило, такі тукосуміші розшаровуються при транспортуванні і нерівномірно розподіляються по полю.

Дослідженнями встановлено, що в залежності від конструктивних особливостей розкидачів та якості розсіюваних добрив нерівномірність розподілу туків може змінюватися в широких межах від 10 до 165% від середньої дози. Це призводить до недобору врожаю зернових до 20%. Дані польових дослідів, наведених агротехнічними лабораторіями, показують, що нерівномірність внесення основного добрива в межах 40-60% призводить до недобору 4-6% врожаю зернових і просапних культур. Зі збільшенням ступеня нерівномірності до 70-80% цей показник сягає 11-15%.

Дослідження, проведені Осиповим В.Т. показали значний вплив нерівномірності внесення нітроамофоски на врожай ячменю. Якщо за нерівномірності внесення 10% врожайність становила 26,6 ц/га, то за нерівномірності 60% отримано всього 21,5 ц/га.

Досліди, проведені Черніковим Б.Н. доказали, що при внесенні нітроамофоски 5 ц/га з нерівномірністю $\pm 20-30\%$ і $50-70\%$ отриманий був урожай зерна відповідно 25 і 21,5 ц/га.

Зарубіжними дослідниками встановлено, що у США врожай на ділянках з рівномірним розподілом добрив на 15% вищий за середній урожай з ділянок з нерівномірно внесеними добривами.

Інший закордонний дослідник зазначає, що внаслідок не-дотримання ефективної ширини захоплення розкидачу на 2,0 м урожай цукрових буряків знизився на 18%, сіна – на 16%, картоплі – на 10%.

За даними дослідних станцій Великобританії, внаслідок нерівномірного внесення добрив щорічно втрачається понад 19% врожаю цукрових буряків, 16% сіна та до 10% зерна та картоплі.

В результаті вивчення впливу якості розподілу добрив і вапняних матеріалів по всьому полю, встановлено, що нерівномірне внесення добрив призводить до зниження їх окупності, забруднення навколишнього середовища, погіршення властивостей врожаю, до нерівномірного дозрівання хлібів,

пізнішого збирання, до зниження продуктивності машин та збільшення термінів збирання. Такі наслідки нерівномірного внесення мінеральних добрив та вапняних матеріалів на поверхню поля. Все це вказує на необхідність подальших досліджень технологічного процесу поверхневого внесення мінеральних добрив, якість яких відповідає агротехнічно допустимим вимогам щодо рівномірності розподілу за шириною захвату ($\pm 25\%$).

1.2. Аналіз конструкцій машин для поверхневого внесення мінеральних добрив

У Європі суцільне поверхневе внесення мінеральних добрив почали застосовувати у 80-х роках XIX століття. На Україні, перші досліді щодо способів внесення добрив почали проводитися в період 1885-1896 рр., зі створенням дослідних полів. Спочатку, машини для суцільного внесення мінеральних добрив конструювалися за типом розкидних сівалок. Але широкого поширення ці машини не набули через малу продуктивність, місткість тукового ящика і високу металоємність. У зв'язку з розширенням застосування мінеральних добрив і поліпшенням їх фізико-механічних властивостей зріс інтерес до машин з дисковими відцентровими робочими органами. Масове виробництво машин з дисковими відцентровими робочими органами нашої країні розпочалося з 1962 року. Були створені розкидачі РУ-4,0, РМУ-2,0 та пристрої ПРМ-8 та РКМ-500. Ці машини мали ширину захоплення у 3-4 рази більшу, ніж звичайні тукові сівалки. Крім того, їх відрізняло більш висока місткість бункера, можливість завантаження будь-якою вантажною машиною та внесення мінеральних добрив у великих дозах, простота конструкції, менша металоємність і надійність у роботі. Надалі ці машини удосконалювалися у напрямі збільшення вантажопідйомності, продуктивності, підвищення якості технологічного процесу внесення мінеральних добрив та вапняних матеріалів у ґрунт.

Однак ці машини розподіляли добрива з великою нерівномірністю ($> 25\%$), пересушлювали ґрунт унаслідок високого тиску шин та недотримання

агротехнічних термінів робіт через погану прохідність. На зміну старим машинам для внесення твердих мінеральних добрив і слабо розпилюючих меліорантів були розроблені нові високопродуктивні машини РУМ-5, РУМ-8, РУМ16, КСА-3, 1РМГ-4Б, МВУ-8Б, МВУ-0,5, СТТ- 10. Нові машини перевершують відомі раніше зразки за низкою суттєвих показників: за рівномірністю внесення добрив, експлуатаційної та технологічної надійності, продуктивності та економічності. До складу таких машин входять бункер (кузов) з рамою, транспортер, живильник, дозуючий пристрій, туконаправляч, пристрій для розсівання добрив, привід робочих органів та допоміжне обладнання. Дозуючими пристроями цих машин є дискові апарати відцентрового типу з вертикальною віссю обертання. Такий тип робочих органів застосовують більшість країн світу.

У США широкого поширення для внесення мінеральних добрив і вапна набули розкидачі великої вантажопідйомності з дводисковими робочими органами. Як правило, здебільшого вони встановлюються на автомобілях і мають об'єм бункера 5,5-7,5 м³. Широке поширення набули дводискові відцентрові розкидачі в Польщі, Англії, Данії та інших країнах.

Знаходять також застосування великовантажні розкидачі фірми «Diadem - Streumaster і Amos» в Німеччині, які обладнані 2-х дисковим механізмом, що розкидає, для внесення гранульованих добрив і вапна з шириною захоплення до 20 м.

У Болгарії поширені машини з відцентровими робочими органами із ємністю кузова від 0,2-8м³ . Продуктивність і ширина захоплення таких розкидачів становлять відповідно 4 га/год - 8 м, 6 га/год -12,5 м, та 24 га/год - 25 м.

В нашій країні також випускалися великовантажні машини для внесення мінеральних добрив та вапна, це МВУ-8 (тракторні), МХА-7 (автомобільні), АМП-5 (самохідні). Всі вони призначені для суцільного поверхневого внесення всіх видів і форм мінеральних добрив та вапняних матеріалів.

За останні роки ситуація з використанням мінеральних добрив у сільськогосподарському виробництві країни різко змінилася порівняно з попередніми роками. У той період добрива використовувалися у порівняно великих середніх дозах (близько 400 кг/га), а також проводилося вапнування та гіпсування ґрунтів із середньою дозою внесення вапна або гіпсу близько 6000 кг/га. Тому для внесення мінеральних добрив і хімічних меліорантів раціонально було використовувати машини кузовного типу з об'ємом кузова від 3 до 12 м³ і примусовими дозаторами, виконаними у вигляді ланцюжково-планчастого конвеєра з регульованою заслінкою та дводискового розкидання. Однак останнім часом використання важких кузовних розкидачів економічно не виправдане, оскільки питомі витрати пального та кошти на одиницю обсягу в цьому випадку дуже високі. Тому в даний час для внесення мінеральних добрив попиту у селян набули навісні відцентрові машини з об'ємом бункера 0,5-1 м³. Крім того, такі машини зручні для внесення місцевих добрив (дефекату, фосфату та ін.).

Заводи України та Білорусі для внесення мінеральних добрив випускають навісні машини з однодисковим відцентровим робочим органом МВС-0,5, МВС-900 та ЛІ-116 з об'ємом бункера 0,5 та 0,9 м³. Вони призначені для внесення добрив нормальної вологості та не засмічених великими сторонніми предметами.

Переважає більшість розкидачів мінеральних добрив, що застосовуються в Європі, це машини з однодисковим робочим органом, які випускають такі фірми, як Amazone, Accord, Sueby, Diadem та ін. Основна перевага однодискових розкидачів - їх ціна, надійність, металомісткість і маневреність.

У 1997 р. розроблена перша вітчизняна машина до тракторів кл. 0,6-0,9 з пневмовідцентровим висівним робочим органом, що забезпечує якісне внесення добрив, високу маневреність і продуктивність. Машина може бути використана у фермерських господарствах для суцільного посіву зернових культур, насіння сидератів, а також для підживлення.

Для усунення технічних недоліків, властивих їм у порівнянні з іншими машинами (нерівномірність розподілу, проблеми прикордонної обробки стикових проходів), підприємствами-виробниками робляться в останні роки чимало зусиль: Для цього розроблені та проходять випробування пристрої для зміни місця подачі добрив на диск ; спеціальні диски чи крила для односторонньої роботи; пристрої для зміни розкидаючих лопаток або числа обертів диска; гідравлічний пристрій для нахилу диска, що розкидає, вліво або вправо; обмежувальні диски чи козирки.

Застосовувані в розкидачах дискові робочі органи призначені для розсівання не тільки гранульованих, але і порошкоподібних мінеральних добрив, вапняних матеріалів та гіпсу, які у своєму складі мають великі та тверді вклучення. Враховуючи також фактичне положення справ зі зберіганням мінеральних добрив у господарствах, більш прийнятними для цих умов можуть бути розкидачі, обладнані робочими органами відкритого типу з плоскими дисками. Диски бувають: плоскі та конусні, з вертикальною та з похилою віссю обертання. Диски обладнані різними формою викидними лопатями: Z-подібними, прямокутними, жолобоподібними. Ряд фірм на кінцях лопатей поміщають подовжувачі та передбачають регулювання лопатей та подовжувачів. Кількість викидних лопатей на дисках коливається від 3-х до 8, діаметри дисків від 450 до 700 мм. Ці апарати прості за пристроєм, надійні в роботі, при правильному налаштуванні машини здатні забезпечити задовільну якість поверхневого внесення мінеральних добрив і вапняних матеріалів у ґрунт. Враховуючи позитивні сторони відцентрового апарату з вертикальною віссю обертання в порівнянні з іншими розподільними пристроями (маятниковим, ланцюговим, шнековим, стрічковим, пневматичним та ін.) при внесенні в ґрунт різних видів мінеральних добрив та вапняних матеріалів, є необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень з метою обґрунтування їх раціональних параметрів.

1.3. Огляд експериментальних досліджень процесу внесення добрив відцентровими дисковими апаратами

Робочий процес відцентрового дискового апарату складається з трьох фаз: подачі добрив, відносного їх перемішування по диску, скидання з диска та розподілу добрив поверхнею поля. Якість розподілу добрив поверхнею поля залежить від конструктивних параметрів апарату та режимів його роботи.

Розглядаючи процес зустрічі частинок добрив з поверхнею диска та лопатями, багато дослідників умовно вважають, що частинки добрив надходять на диск із нескінченно малою швидкістю або початковою швидкістю,

що дорівнює нулю. Фактично ж як у вітчизняних, так і зарубіжних конструкціях машин для поверхневого внесення мінеральних добрив частинки туків надходять на відцентрові диски, маючи початкову швидкість подачі в межах 1,5-4 м/с.

Внаслідок цього, дотик частинок туків з поверхнею диска супроводжується ударом. Авторами також виявлено, що поряд з процесом відбиття гранул від поверхні диска і лопаті має місце процес їх руйнування, який залежить як від технологічних властивостей добрив, так і від параметрів дисків, що розкидають: діаметра, окружної швидкості, місця подачі туків, кількості, форми і розташування лопатей.

В.І. Якубаускас встановив, що для гранульованого суперфосфату вологістю від 2 до 11% висота відбиття гранул змінюється в межах 6-50 мм. Зі збільшенням початкової швидкості падіння висота відбиття гранул зростає. За наявності у існуючих конструкцій розкидаючих робочих органів, пружного удару, а також значного діапазону зміни частоти обертання диска, неможливо уникнути дроблення гранул добрив.

За даними Закутського, відцентровим апаратом при частоті обертання $57,5 \text{ с}^{-1}$, дробиться 3% гранул добрив, а при частоті обертання $62,8 \text{ с}^{-1}$ дроблення гранул становить вже 11%.

Дослідженнями професора О.Т. Лисенко та В.А. Михайленко встановлено, що кожен відцентровий робочий орган розкидача в залежності від частоти обертання руйнує гранули добрив. Зміна частоти обертання диска в

межах від $21,0 \text{ c}^{-1}$ до 115 c^{-1} призводить до збільшення дроблення гранул гранульованого суперфосфату з 2,3 до 11,2%, а при частоті обертання $146,5 \text{ c}^{-1}$ до 197%. Автори відзначають, що необхідно знайти таку конструкцію робочого органу, яка дозволила б звести до мінімуму або уникнути явища дроблення гранул при внесенні мінеральних добрив відцентровими апаратами.

Великий внесок у створення та вдосконалення конструкцій робочих органів зробив академік П.М. Василенко. Він розглядав загальні випадки руху частинок по поверхні горизонтального диска, а також рух частинок вздовж прямої та криволінійної лопати.

Подальший розвиток щодо вдосконалення дискових апаратів дано у роботах Хоменко М.С., Козловського Є.В., Догонівського М.С., Кушилікіна Б.А., Рядних В.В., Назарова С.І., Сергєєва В.С., Адамчук В.В. та інших авторів

М.С. Хоменко проведено дослідження технологічного процесу розсіву мінеральних добрив відцентровим апаратом зі зворотним конусом із встановленими на ньому під кутом до радіального напрямку лопатями прямокутної форми. Конічні диски дають більшу ширину розсіву добрив, але в той же час зі збільшенням норми внесення ширина ефективного розкидання помітно падає і збільшується різниця між швидкостями частинок, що сходять з диска. Різниця швидкостей сходу частинок добрив позначається на рівномірності розподілу їх поверхнею ґрунту. Найкращі показники якості розподілу туків отримані диском з кутом конусності 3° і лопатями, встановленими під кутом 18° . Під час дослідження конічного диска, Ю.М. Залеський встановив, що оптимальним значенням кута конусності диска є кут 10° , проте при розсіванні гранульованих мінеральних добрив результати дослідів отримані трохи гірші, ніж у плоского диска.

В.А. Михайленко досліджував технологічний процес роботи конусоподібного робочого органу, що поєднує в собі два конуси: один основний, другий

допоміжний. Автор рекомендує, що кут при вершині малого допоміжного конуса повинен бути 60° , а кут утворення основного конуса $\pm 20^\circ$. Установка малого допоміжного конуса дозволяє зменшити час знаходження частинок на поверхні основного конуса більш ніж у 3 рази, збільшити рівномірність розподілу мінеральних добрив. У роботі автор пише, що оптимальна висота розташування дисків 800-900 мм від поверхні ґрунту, кут нахилу лопатей в сторону обертання диска повинен бути в межах $10-15^\circ$. Більш високу рівномірність розподілу гранульованого суперфосфату поверхнею ґрунту забезпечує конусний диск з кільцевою накладкою.

Дослідженнями В.В. Рядних встановлено, що відцентровий робочий орган може бути з успіхом застосований для внесення всіх видів мінеральних добрив, вапняних матеріалів та піску на дорожніх машинах.

Г.П. Поповим встановлено, що величина початкового радіусу подачі повинна бути такою, щоб лінійна швидкість лопатей у момент подачі добрив на диск була меншою за критичну швидкість удару. На підставі проведених досліджень їм розроблена оптимальна форма, профіль, висота, довжина та розташування лопаток на диску.

С.А. Тильний при дослідженні роботи відцентрових металевих апаратів мінеральних добрив встановив, що для досягнення оптимальних значень відносної та абсолютної швидкостей частинок форма лопаті повинна мати складний профіль: для сходу з диска лопатка повинна мати форму логарифмічної спіралі, а в момент сходу добрив лопатка має виступ, стінка якого повернута у бік обертання відцентрового диска на $30-35^\circ$ і піднята до горизонту на $25-30^\circ$ від дна. Така конструкція диска, на думку автора, збільшує продуктивність, початкову швидкість польоту туків на 40-50% порівняно з апаратами, забезпеченими радіальними лопатями.

За даними Б.А. Кушнікіна, оптимальні розміри диска лежать у межах 450-650 мм, а щоб уникнути пересихання добрив через краї потрібно встановити чотири лопаті. Автор рекомендує виготовляти диск, що розкидає,

подвійним, що дозволяє додатково знизити нерівномірність на 8-9%. Подача добрив на диск повинна здійснюватися в цьому випадку за допомогою 2 тукотранспортерів з інтервалом по дузі кола 85° . Однак це ускладнює конструкцію тукотранспортера розкидача.

В.Д. Переверзевим запропоновано двоярусний відцентровий диск із потрійною подачею добрив. Завдяки потрійній подачі туків на відцентровий апарат автору вдалося досягти ефективної ширини захоплення, близької до загальної, що значно вище за аналогічний показник серійних розкидачів. Однак через свою складність конструкція відцентрового апарату з потрійною подачею добрив не знайшла застосування.

В.С. Сергеевим розроблено відцентровий робочий орган псевдосферичної форми. Дослідження даного робочого органу показали, що нерівномірність внесення гранульованого суперфосфату не перевищує 20,8%, аміачної селітри - 15,4%, суміші мінеральних добрив - 16,6% на ширині захвату розкидача 30 м. Проте, як було зазначено вище, зворотний конус псевдосферичного робочого органу незадовільно працює при внесенні порошкоподібних добрив та вапняних матеріалів.

В.В. Адамчук пропонує змінювати положення лопатей на диску у горизонтальній та вертикальній площинах. Така конструкція дозволить регулювати кут розгону добрив (в межах $76-260^\circ$), місце їх сходу з робочого органу та робочу ширину захоплення. Однак добрива на цей диск надходять з деякою початковою швидкістю, що призводить до удару, а отже, і руйнування гранул.

М.Г. Догановський встановив, що при збільшенні кута нахилу лопат до горизонту, дальність польоту частинок добрив досягає максимуму при 25° , а при подальшому збільшенні кута вона плавно знижується. Дальність польоту частинок добрив можна збільшити, використовуючи як робочий орган диск зі зворотним конусом. Однак при виготовленні конусного диска значно

зростає його маса та висота, що зумовлює небажане збільшення висоти відцентрової машини.

А.А. Кукібний визначив, що зі збільшенням швидкості, дальність польоту частинок добрив збільшується. Однак при частоті обертання диска більш ніж 800 об/хв, швидкість зіткнення частинок добрив з допатами перевищує допустимі межі і відбувається руйнування гранул аммофосу та аміачної селитри.

Огляд та аналіз робіт з дослідження технологічного процесу розсіву мінеральних добрив та вапняних матеріалів відцентровими робітниками органами показав, що процес роботи вивчений ще недостатньо. У літературі немає єдиної думки щодо проектування конструкцій машин та відцентрових апаратів для поверхневого внесення мінеральних добрив і вапняних матеріалів у ґрунт. Отже, при створенні машин необхідно враховувати такі вимоги: точність

внесення, висока рівномірність розподілу по ширині розкидання та напрямку руху незалежно від робочої швидкості, дози внесення, заповнення ємності. До того ж, універсальність техніки, тобто, придатність розкидача для різних видів добрив, простота регулювання дози внесення, можливість зміни дози внесення в процесі роботи, простота налаштування, встановлення та контролю внесення дози добрив, простота технічного обслуговування та ремонту, низька вартість.

1.4. Аналіз теоретичних досліджень технологічного процесу внесення добрив відцентровими дисковими робочими органами

Великий внесок у створення відцентрових органів та теоретичне їхнє обґрунтування вніс основними роботами академік П.М. Василенко. Вони розглянуті загальні випадки руху частинок поверхнею горизонтального диска, сили, що діють частинку матеріалу. Залежно від умов, як зазначає автор, можливими траєкторіями щодо руху частинок по диску можуть бути Архімедова

спіраль, логарифмічна спіраль або розгортання кола. Так, траєкторія руху частинки по гладкому диску опишеться наступним рівнянням:

$$R = R_0 e^{ag} \quad (1.1)$$

де R_0 та q – поточні полярні координати;

a – кут між дотичною до спіралі та радіусом, град.

Це рівняння логарифмічної спіралі. Теорія відцентрового дискового апарату отримала розвиток у роботах професора С.І. Назарова та інших авторів.

С.І. Назаровим отримано узагальнене диференціальне рівняння руху частинок туків щодо лопаті з урахуванням конструктивних параметрів робочого органу, фрикційних та аеродинамічних властивостей добрив при обірі середовища. Дане рівняння має такий вигляд:

$$Y'' + aY' - bY + A = 0. \quad (1.2)$$

Значення A визначається з наступного виразу

$$a = k_{\pi} + 2fco$$

де a та b – відповідні значення диференціального рівняння;

Y – поточні координати, мм; k_{π} – коефіцієнт парусності; f – коефіцієнт тертя ковзання; co – кутова швидкість робочого органу, c^{-1} .

Аналіз отриманих залежностей дозволили встановити автору, що кут скидання збільшується зі зростанням коефіцієнта тертя і парусності частинок добрив, а також зі зменшенням кутової швидкості та відстані точки надходження частинок на диск від його центру.

С.А. Тильним отримані залежності для визначення відносної V_r та абсолютної U_a швидкостей руху частинок по відцентровому робочому органу:

Відносна швидкість руху буде:

$$a \text{ абсолютна } V_r = \omega r (\sqrt{1 + f^2} - f) \quad (1.3)$$

$$V_a = \omega r \sqrt{2[1 - f(1 + f^2 - f)]} \quad (1.4)$$
 де ω - кутова швидкість, робочого органу, r - радіус диска робочого органу, мм.

Автор показує, що величина цих швидкостей зменшується з зменшенням окружної швидкості та зі збільшенням коефіцієнта тертя, причому відносна швидкість зменшується швидше, ніж абсолютна. Проведені дослідження дозволили автору зробити висновок, що досягти збільшення продуктивності відцентрового апарату можна лише за рахунок зниження величини сили тертя добрив про лопаті. Для цього лопаті повинні мати змінну кривизну, що залежить від відношення швидкостей:

$$\sin \psi = 2 \frac{y}{v}$$

Слід, однак, зауважити, що асортимент добрив великий і коефіцієнт тертя їх коливається в значних межах (0,2-0,8) в залежності від виду, гранулометричного складу та вологості туків. Тому для одного виду добрив криволінійна форма лопаті може забезпечити збільшення продуктивності відцентрового апарату, а для іншого навпаки зменшити. Як зазначає А.А. Кукибний, на траєкторію і дальність вільного польоту частинок добрив впливає швидкість метання, кут метання і коефіцієнт парусності частинок.

Вивчивши вплив зазначених величин автор рекомендує визначити максимальну дальність польоту частинок за формулою:

$$X_{max} = \frac{0,75}{k_n} \sqrt{0,272 k_n V_a^2 \sin 2a_0 + 1} \quad (1.5)$$

де V_a - швидкість метання, м/с; k_n - коефіцієнт парусності; a_0 - кут метання, град.

Однак автором тут не враховуються конструктивні параметри робочого органу, які також впливають на дальність польоту частинок.

Б.А. Кушичкін запропонував загальне рішення рівняння руху частинок вздовж лопатей, нахилених вперед у напрямку обертання робочого органу.

Однак, як зазначає автор, під час роботи дводискового апарату виникає сильний повітряний потік у міжлопатевій зоні відцентрових апаратів, що не враховується у цьому рівнянні. Для диска з лопатями, нахиленими вперед у напрямку обертання, загальне рішення рівняння у розгорнутому вигляді буде наступним:

$$S = \frac{(f + \sqrt{f^2 + 1})(S_0 - f_a)(\sqrt{f^2 + 1} - f)\omega t}{2\sqrt{f^2 + 1}} + \frac{(f - \sqrt{f^2 + 1})(S_0 - f_a) - (\sqrt{f^2 + 1} + f)\omega t}{2\sqrt{f^2 + 1}} \quad (1.6)$$

де S - шлях, пройдений часткою по лопаті, мм;

f - коефіцієнт тертя добрих по лопаті;

S_0 - відстань до точки зустрічі частинок з лопатею, мм;

a - відстань від центру диска до лопаті нормалі, мм;

ω - кутова швидкість робочого органу, c^{-1} ;

t - час проходження частинок по лопаті, с.

Слід зазначити, що у цьому рівнянні не враховується початкова швидкість надходження добрих робочий орган.

В.В. Адамчук пропонує для лопатей, з можливістю їх повороту у вертикальній та горизонтальній площинах, рух частинок уздовж лопаті визначити наступним чином.

$$\Omega = \frac{1}{1 - f_l t g a_{лд}} \left[\frac{g(f_l + t g a_{лд})}{\omega^2} \pm \frac{(f_l R s \sin a_{лд})}{\cos a_{лд}} \right] \quad (1.7)$$

$$- r_0 \cos \left[\arcsin \left(\frac{R}{r_0} \sin a_{лд} \right) \right]$$

де f_d -коефіцієнт опору руху частинок вздовж лопаті;

$a_{лд}$ -кут дії по нормалі до днища лопаті, град.

a_d - кут установки лопаті щодо радіусу, град.

R – радіус диска, мм.

З цього рівняння можна знайти окреме рішення з урахуванням форми робочого органу, проте тут не враховуються кінематичні параметри самого робочого органу.

Горизонтальний відцентровий диск закритого типу з ексцентричною подачею добрив зазвичай повідомляється підвищена частота обертання, так як це дозволяє отримати достатній напір повітряного струменя. Але якщо не буде достатнього натиску, то лопать підхоплює частинки добрив на льоту, і вони зійдуть з верхньої частини концентрованим струменем, що погіршує рівномірність внесення мінеральних добрив. Для запобігання цьому Н.І. Євтухов рекомендує, щоб добрива, що виходять із патрубку тукопроводу, були рівномірно розподілені по всьому перерізу струменя, тобто по висоті лопаті, що досягається шляхом застосування лопатей змінної висоти. При цьому шлях проходження частки вздовж лопаті визначається як:

$$y = \frac{g(\arcsin \frac{x}{r_0})}{2\omega^2} + \frac{V_0}{\omega} \arcsin \frac{x}{r_0} \quad (1.8)$$

де V_0 -початкова швидкість надходження частки на лопату, м/с;

r_0 – відстань місце подачі добрив, мм;

ω - кутова швидкість робочого органу c^{-1} ,

g -прискорення вільного падіння, m/c^2 .

Аналіз даного рівняння показує, що криволінійна початкова ділянка траєкторії швидко переходить у пряму горизонтальну. Частинкам, що надійшли

на лопаті біля периферії диска, повідомляється найменша швидкість вильоту, тому що відцентрова сила тут велика. Частинки, що надійшли на лопаті біля центру диска, набувають більш високої швидкості по вертикалі, так як відцентрова сила тут порівняно мала і траєкторія руху таких частинок має вигляд опуклої кривої. О.С. Когелес відносний рух туків по криволінійній лопаті відцентрового диска визначає рівнянням:

$$V_k V' + 2f_l \omega V^2 - \omega^2 r r' + f_l \omega^2 r^2 \varphi' + f_1 g V = 0 \quad (1.9)$$

де V - відносна швидкість руху туку вздовж лопаті, м/с;

f_l - коефіцієнт тертя туку по лопаті,

ω - кутова швидкість робочого органу, s^{-1} ;

r - полярний радіус;

φ' - похідна у часі полярного кута;

f_l' - коефіцієнт тертя туку диску.

Однак автор зазначає, що для обґрунтування вибору форми лопатей та параметрів диска необхідний універсальний розрахунковий апарат. Прийнятне наближення до загального рішення даного рівняння може бути отримано за допомогою методу лінійних збурень. Що стосується рівняння як "обурливого" аргументу можна використовувати коефіцієнт тертя f .

М.Г. Догоновський пропонує визначення руху туків по лопаті робочого органу, що обертається навколо горизонтальної осі з постійною кутовою швидкістю, наступне рівняння:

$$X' = \frac{\omega r \cos(\varphi \pm a_r)}{2} (A - B) \quad (1.10)$$

де φ - кут тертя частинок по лопаті, рад.;

a_r - кут нахилу лопаті до радіуса вектора, рад.;

А і В - відповідні значення складових частин диференціального рівняння.

Рівняння дозволяє визначити положення частинок на лопаті та відносну швидкість у будь-який момент часу, проте для цього необхідно застосовувати складні та незручні для практичних розрахунків методи. Так, щоб знайти кут сходу повороту лопаті в момент сходу з неї частинок, по якому розраховуються всі інші параметри, що характеризують умови польоту частинок з ротора, необхідно або будувати для кожного випадку графіки $x = f(t)$, або користуватися при вирішенні даного рівняння трудомістким методом послідовного наближення. Автор також запропонував рівняння для визначення швидкості, напрямку польоту та кута розкидання добрив, скинутих з лопаті робочого органу. Швидкість добрив, що викидаються, можна визначити як абсолютну швидкість частинок в момент її сходу з лопаті.

$$V_a = \sqrt{V_n^2 + U_r^2 \pm 2V_n U_r \sin \alpha_1} \quad (1.11)$$

де V_n – переносна швидкість частинок добрив, м/с;

U_r - відносна швидкість сходу добрив із лопаті, м/с.

Якщо лопаті розташовані радіально, то ця швидкість буде:

$$V_a = k_v \omega r \quad (1.12)$$

де k_v - коефіцієнт, що залежить від кута тертя матеріалу по лопаті.

Напрямок польоту матеріалу, що зійшов з лопаті, визначається кутом між вектором абсолютної швидкості частинок і горизонтом. Цей кут можна знайти за рівнянням.

$$\beta_0 = \frac{3\pi}{2} \omega t_c - \arcsin \frac{V_n \cos \alpha_0}{V_0} \pm \alpha_r \quad (1.13)$$

де β_0 - кут польоту частинок до горизонту, град;

ωt_c – найменший кут сходу, град;

ωt_a – найбільший кут сходу, град.

Однак добрива надходять на робочий орган у деякій зоні диска, причому матеріал, поданий у точку цієї зони, має найменший кут сходу. Щоб матеріал був

викинутий з ротора за один оборот, кут розвантажувального вікна необхідно

визначити виходячи із співвідношення, $\omega t_p \geq \omega t_a - \omega t_c$, тобто

щоб незалежно від місця подачі диск повністю очищувався. Зміщення зони подачі ближче до центру обертання робочого органу чи далі від нього викликає

відповідно збільшення АБО зменшення кутів ωt_p і β_0

В.В.Рядних вивчав вплив радіусу та швидкості обертання диска на якість розподілу добрив. Він дійшов висновку, що найкраща якість розподілу добрив з

переважним вмістом великих частинок виходить при розсіюванні в'ялоподібним струменем. Добрива, що складаються переважно з легких фракцій, доцільніше

висівати щільним струменем. Залежність між повною шириною розсіву добрив L

і дальністю польоту частинок середніх розмірів можна виразити співвідношенням

$$L = k_m \cdot x_{\max} \quad (1.14)$$

де L - ширина розсіву добрив, м;

x_{\max} - дальність польоту частинок, м;

k_m - коефіцієнт залежить від величини подачі добрив.

Ефективна ширина розсіву добрив, у якому нерівномірність розкидання вибирається у 25%, становить середньому $(0,6-0,7)L$.

Для викиду добрив в'ялом, окружну швидкість ротора з радіальними лопатями можна визначити з наступного співвідношення.

$$\omega R = \frac{V_a}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi}\right)^2}} \quad (1.15)$$

де R -радіус диска, робочого органу, мм;

V_a - абсолютна швидкість вильоту добрив із диска, м/с.

Теорії руху частинок мінеральних добрив по горизонтальному диску, що обертається, дальності польоту і рівномірності розподілу туків по поверхні поля присвячені роботи ряду зарубіжних авторів

Так, Д.Є. Patterson та A.R. Recse, вивчаючи процес руху частинок при подачі в область осі обертання диска відцентрового розкидачу, дійшли висновку, що рівномірність розкидання залежить від швидкості обертання та величини радіуса диска. Автори вказують, що в реальних польових умовах ця швидкість змінюється і призводить до збільшення нерівномірності розподілу добрив по поверхні поля. У міру того, як відстань завантаження від центру диска зростає, ефект удару та відскакування частинок стає більшим.

Дослідженнями F.M. Inns та A.R. Recse отримані закономірності розподілу для частинок правильної сферичної форми. Застосувати ці теоретичні дослідження для частинок реальної форми дуже складно.

W. Hoffmann та A. Mathes встановили залежність між рівномірністю розподілу добрив та виявили вплив розміру частинок добрив на середню дальність викиду.

З вище викладеного слід зазначити, що теоретичні залежності визначення конструктивних і кінематичних параметрів відцентрових робочих органів отримані всіма авторами з великими припущеннями, такими як: відсутність удару і початкової швидкості при надходженні частинок добрив на відцентровий робочий орган, що частка туку рухається по площині диска зі ковзанням, а також частинки не перекочуються і мають сферичну форму і т.д. Звісно, ці припущення спотворюють справжню картину виконання технологічного процесу відцентровим робочим органом.

Огляд теоретичних досліджень показав, що наведеними авторами докладно розглядалися питання обґрунтування технологічного процесу поверхневого внесення мінеральних добрив машинами з відцентровими робочими органами. Проте, ці дослідження не вичерпують всіх питань, пов'язаних з розробкою та застосуванням центробежних робочих органів, зокрема, тут не порушені питання

впливу різних факторів на якість розподілу матеріалу, які важко піддаються теоретичному дослідженню та вимагають проведення спеціальних експериментів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗСПОВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА

2.1. Обґрунтування форми відцентрового робочого органу

Робочий процес відцентрового робочого органу характеризується наявністю трьох фаз. До першої фази належать зустріч частинки добрив із поверхнею диска та лопаті. До другої фази віднесемо ту частину процесу, в межах якої частинки перебуває на робочій поверхні диска. До третьої фази віднесемо ту частину процесу, коли частинки матеріалу, отримавши необхідну швидкість, залишають диск і здійснюють вільний політ до дотику їх із поверхнею ґрунту.

Розглядаючи першу фазу робочого процесу, зустріч частинок добрив з поверхнею диска та лопатями, багато дослідників стверджують, що частинки туків надходять на відцентровий робочий орган з початковою швидкістю в межах 1,5-4 м/с. Внаслідок цього зіткнення частинки туків з поверхнею диска супроводжується ударом. Від величини швидкості падіння та маси гранул залежить ударний імпульс. Ударний імпульс своєю чергою впливає подальший характер руху частинок добрив по робочій поверхні диска. Чим більша величина ударного імпульсу, тим менше швидкість сходу частинок добрив з диска, що може призвести до додаткового удару з боку лопатей. З процесом відображення гранул від поверхні диска і лопатей має місце процес їх руйнування, який залежить як від технологічних властивостей добрив, так і від параметрів дисків, що розкидають. Зі збільшенням початкової швидкості падіння частинок відбиття гранул зростає. Отже, перша фаза робочого процесу супроводжується пружним ударом. Крім того, значний діапазон зміни частоти обертання диска збільшує цей процес, що призводить до дроблення гранул.

Друга фаза, тобто відносно переміщення частинок добрив по диску поділяється на два періоди: рух по диску до зустрічі з лопаткою та рух після зустрічі з лопаткою. Як показали дослідження, частка спочатку рухається деякою кривою, близькою до логарифмічної спіралі, до тих пір, поки не зустрінеється з

лопаткою. Подальший її рух відбувається вздовж лопаті або без удару як по напрямній, або з ударом. Якщо ж при зустрічі частки туку з лопаткою станеться пружний удар, то характер руху такої частки буде зовсім інший. Після відбиття від лопаті частка пролетить деякий час і знову впаде на диск, після чого вона знову починає свій відносний рух поверхнею диска, але вже по іншій траєкторії.

Якщо час виходу частинки зі сфери впливу диска буде більше часу повороту лопаті від моменту удару до моменту перетину лопаткою нової траєкторії, то лопасть знову нажене цю частинку і станеться вторинний удар. Найкращий кінематичний режим буде, очевидно, такий, при якому частинку туку наздоганятиме кінець лопаті, так як при цьому частка отримає максимальну початкову швидкість польоту та розсіву. Збільшення середньої дальності польоту частинок сприяє більш рівномірному розподілу туків поверхнею поля.

Дослідженнями встановлено, що рівномірність розподілу мінеральних добрив по поверхні поля порушується при неупорядкованому зльоті їх з відцентрового диска, а також при збільшенні щільності потоку частинок туків, що зійшли з диска, понад деяке значення, коли ступінь вилітання частинок один на одного значно зростає. Цей висновок авторів говорить про те, що рівномірність розподілу мінеральних добрив плоскими відцентровими дисками невелика, оскільки основна маса туків сходять у них з викидних лопатей і щільність потоку частинок, що зійшли, при цьому значна. Проте характер руху матеріалу по робочому органі залежить тільки від обраного режиму роботи, а й його конструкції.

Дослідженнями встановлено, що для отримання більшої ширини захоплення розкидача та хорошої рівномірності розподілу туків по поверхні поля, конструкція робочого органу повинна бути доповнена елементами, що оберігають схід частинок від первинного удару та пересипання їх через лопаті.

Третя фаза робочого процесу розкидача починається з того моменту, коли частка знаходиться на краю лопаті або диска і триває до моменту падіння цієї частки на ґрунт. Ця фаза процесу знаходиться у безпосередньому зв'язку з

кінцевим результатом роботи розкидача - якістю розподілу туків та його продуктивністю.

Робота дискового робочого органу з прямими лопатями характеризується відомою нерівномірністю розподілу матеріалу поверхнею ґрунту, оскільки частинки сходять із диска по всьому його периметру, лише у тих точках, де розташовані кінці лопатей. Матеріал розкидається лопатями окремими струменями і лягає на поверхню ґрунту концентричними колами. В силу того, що лопаті на диску розташовані з деякими інтервалами, а машина рухається вперед безперервно, круги розсіву, що утворюються, розташовуються на деякій відстані

один від одного. Це свідчить про наявність пульсуючої подачі. Тому, враховуючи вищевикладене, в основу теоретичного обґрунтування форми робочої поверхні відцентрового робочого органу нами покладено передумову про безперервне сходження частинок добрив з робочої поверхні ротора від моменту надходження

до моменту кінцевого сходу. Тобто потік добрив, що надходять на робочий орган, має бути близьким до регулярного. Крім того, нами враховано вимогу про те, що надходження частинок туків на робочий орган має відбуватися без удару та руйнування гранул.

Професор М.Х. Пигулевський, зазначає сипкість активну та пасивну.

Активна сипкість визначається таким станом тіла, коли окремі частки його утримуються у стані рівноваги за рахунок тертя на опорних поверхнях. Тіло, що має активну сипкість, здатне прийняти форму конуса. Отже, робочий процес

такого апарату має характеризуватися наявністю двох фаз (рис. 2.1). У першій фазі частинки добрив повинні взаємодіяти з робочою поверхнею виконаного елемента. У другій фазі, частки, отримавши необхідну швидкість, повинні здійснити вільний політ у повітряному середовищі і розподілятися по поверхні ґрунту.

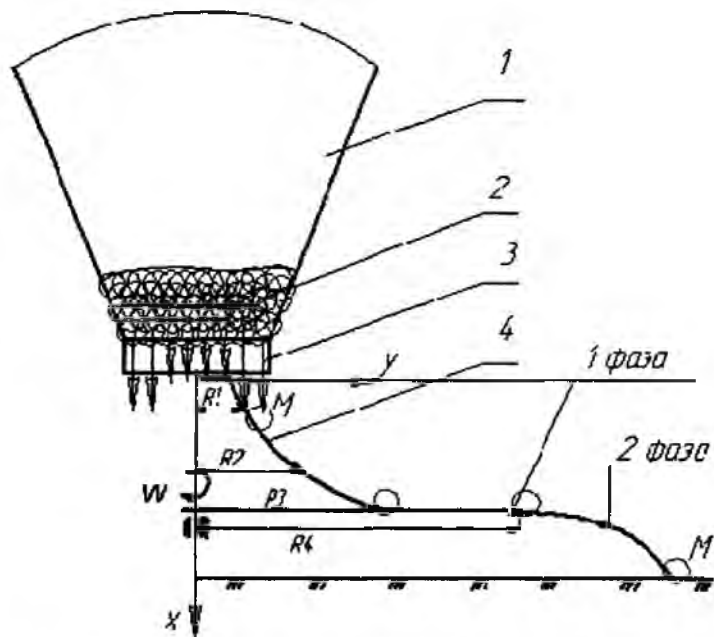


Рис. 2.1—Схема процесу безперервного ємодження частинок добрив

Враховуючи закономірності руху сипких матеріалів по опорній поверхні, слід, якщо в першій фазі робочого процесу частинки добрив пустити вздовж конічної поверхні, то це забезпечить не тільки рух частинок без удару, але і запобігатиме руйнуванню гранул. Потік матеріалу, що надійшов на вершину конуса, розподіляється рівномірним шаром і рухається вниз по конусній частині робочого органу. Конічна частина робочої поверхні відцентрового апарату не тільки забезпечує рух частинок без удару, а й відрив їх з різних точок поверхні, тому що радіус робочої поверхні до її основи збільшується. Відрив частинок туків від робочої поверхні відцентрового апарату може статися лише тоді, коли проекція діючих на частку сил, на нормаль N дорівнюватиме нулю.

Диференціальне рівняння відокремлення частинок, що рухаються по увігнутій поверхні, при її одночасному обертальному русі, запишеться у вигляді:

$$N + \frac{P}{g} \omega_e^2 y \frac{dx}{dS} - P \frac{dy}{dS} = 0, \quad (2.1)$$

де P - маса частинок, H ;
 \sqrt{g} - прискорення сили тяжіння, m/c^2 ;
 ω_e - кутова швидкість обертання, c^{-1} ;

x, y - поточні координати ліній обертання, mm .

Якщо координату X вважати незалежною змінною і враховуючи, що в момент відокремлення нормальна реакція $N=0$, з рівняння (1) встановимо залежність $y = f(x)$.

звідки

$$\frac{P}{g} \omega_e^2 y \frac{dx}{dS} = P \frac{dy}{dS},$$

$$\frac{dy}{y} = \frac{\omega_e^2}{g} dx$$

(2.2)

Інтегруючи рівняння (2.2), матимемо:

$$\int_{R_0}^y \frac{dy}{y} = \frac{\omega_e^2}{g} x$$

Або

$$\ln|y| = \left| \frac{y \omega_e^2}{R_0 g} \right| x_0$$

(2.3)

Рівняння (2.3) можна подати у вигляді

$$\ln|y| - \ln R_0 = \frac{\omega_e^2}{g} x$$

При $R_0 = 1$, $\ln R_0 = 0$ і тоді отримаємо

$$\ln|y| = \frac{\omega_e^2}{g} x$$



$$|y| = e \frac{\omega_g^2}{g} x \quad (2.4)$$

Аналізуючи отримане рівняння (2.4), можна дійти певтішого висновку, що з метою забезпечення безперервного відриву частинок добрив, поверхню конусної частини робочого органу має бути утворена обертанням логарифмічної кривої навколо вертикальної осі. Збільшення кутової швидкості робочого органу вплине на технологічний процес, т.к. у цьому випадку буде досягнуто більш рівномірний розподіл частинок туків поверхню поля за рахунок великої дальності їх польоту. До того ж, кінчна частина робочого органу, утворена обертанням однієї з ліній, зображених на (рис.2.2) навколо осі OX, дозволить виключити явище пружного удару частинок об робочу поверхню в момент надходження їх на відцентровий апарат та забезпечити спрямований рух їх вниз за утворюючою. Характер кривих ідентичний і великою мірою залежить від величини кутової швидкості робочого органу. Тому, під час роботи відцентрового робочого органу при внесенні мінеральних добрив та вапна, кутову швидкість обертання необхідно підтримувати постійною. При зниженні величини кутової швидкості буде порушено безперервність сходу частинок туків з кінчної частини робочого органу.

За рівнянням (2.4) нами побудовані залежності $y=f(x)$ за різних значень кутової швидкості робочого органу (рис.2.2).

Під час роботи добрива надходять на відцентровий робочий орган потоком. При цьому розподіл дрібних, середніх і великих частинок туків по товщині шару випадковий. Відрив частинок з робочої поверхні центробежного апарату відбувається за рахунок постійного зростання окружної швидкості та зміни відцентрової сили інерції. Відцентрова сила інерції Бц, досягнувши певної величини, відриває частинку туку від кінчної поверхні раніше, ніж досягне

нижньої частини робочого органу. Частинки добрив меншої маси будуть сходити з робочої поверхні раніше, ніж частинки більшої маси.

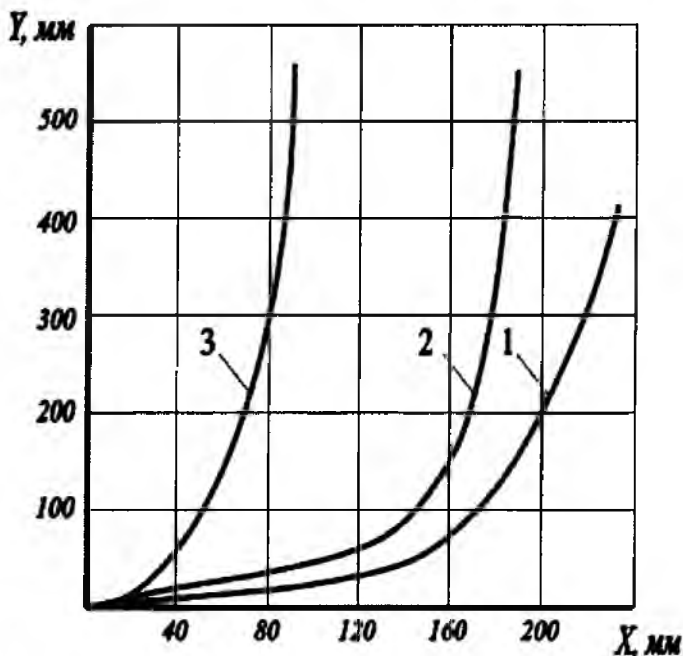


Рис. 2.2 - Форма кривих, що утворюють конічну частину робочого органу
 1- при $\omega = 15.0 \text{ c}^{-1}$; 2- при $\omega = 20.0 \text{ c}^{-1}$; 3- при $\omega = 31.0 \text{ c}^{-1}$.

Однак потрібно враховувати, що в шарі мінеральних добрив під більшими знаходяться дрібні частинки, які відриваються від робочої поверхні тільки тоді, коли зійдуть більші. При цьому частинки менші одержують більшу швидкість сходу, ніж якби вони рухалися по верхньому шару добрив, а, отже, і більшу дальність польоту. Такий рух туків по конічній частині робочого органу сприяє більш якісному розподілу добрив поверхнею поля незалежно від гранулометричного складу туків. Частинки добрив, що не відірвалися від конічної поверхні, продовжуватимуть рух по нижній частині робочого органу до викиду їх лопатями.

2.2 Рух частинок добрив вздовж лопаті по конічній поверхні робочого органу

При русі частинки добрив вздовж лопаті враховуємо, що радіус кривизни лопаті дорівнює кривизні поверхні. Отже, величиною

відцентрової сили інерції від кривизни поверхні можна знехтувати і диференціальне рівняння руху частинок по поверхні викидної лопаті отримуємо аналогічним шляхом з урахуванням тертя частинок по поверхню лопаті (рис.2.3).

Диференціальне рівняння руху частинок добрив вздовж лопаті по конічній поверхні матиме такий вигляд:

$$\frac{pdv_{rл}}{gdt} = P \cos a + F_{ue} \sin a - F'_{тр} - F_{тр(к)}$$

$$0 = N' + F_{ue} \cos a - P \sin a \quad (2.5)$$

$$0 = F_k - N_k \quad (2.6)$$

де F_{ue} - відцентрова сила інерції, Н;
 F_{uk} - сила інерції Коріоліса, Н.

Знаючи, що сила інерції Коріоліса в цьому випадку

$$F_{(kk)} = 2 \frac{P}{g} \omega_e V_{rл} \sin a \quad (2.7)$$

А в рівнянні (2.7)

$$F_k = N_k$$

то сила тертя частки по поверхні лопаті від дії сили інерції Коріоліса дорівнюватиме:

$$F_{тр(к)} = f N_k$$

або

$$F_{тр(к)} = 2f \frac{P}{g} \omega_e V_{rл} \sin a$$

Оскільки прийнята форма робочої поверхні відцентрового апарату постійно зберігає нормальну реакцію $N=0$, отже, $\sum F_N$, теж дорівнює нулю.

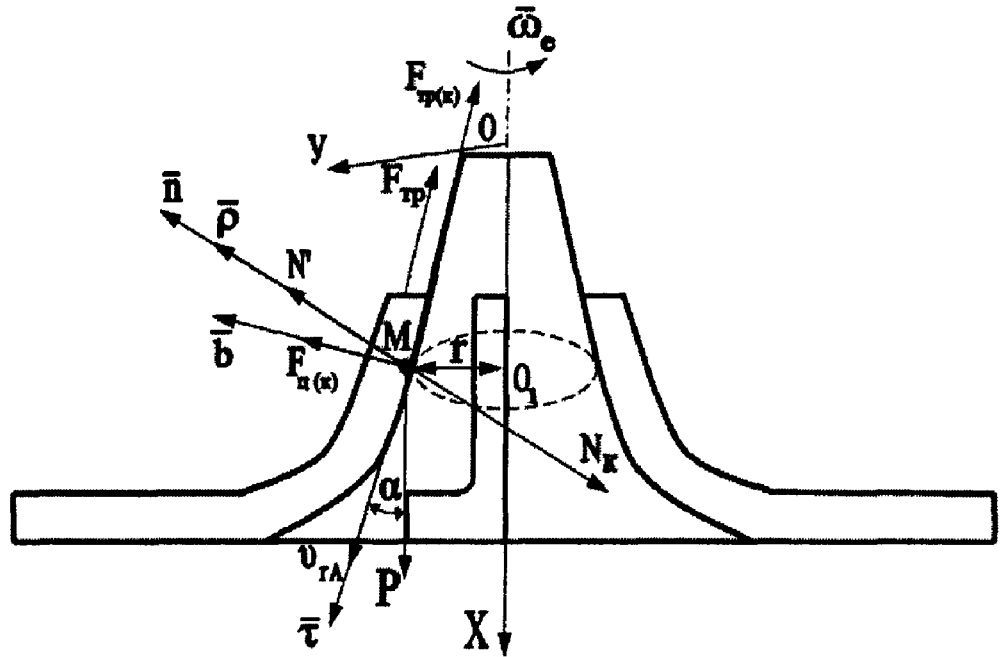


Рис. 2.3 - Сили, що діють на частинку добрив, при русі вздовж лопаті по конічній поверхні робочого органу

Підставляючи отримані значення сил у рівняння (2.5) матимемо:

$$\frac{P}{g} \frac{dV_{rл}}{dt} P \cos \alpha + F_{ue} \sin \alpha - 2f \frac{P}{g} \omega_e V_{rл} \sin \alpha \quad (2.8)$$

В рівнянні (2.8) замінимо значення $\cos \alpha$ і $\sin \alpha$ через їх похідні та отримаємо:

$$\frac{P}{g} \frac{dV_{rл}}{dt} = P \frac{dx}{ds} + P \omega_e^2 y \frac{dy}{ds} - 2f \frac{P}{g} \omega_e V_{rл} \frac{dy}{ds}$$

Скоротивши ліву та праву частини даного рівняння на $\frac{P}{g}$ враховуючи,

Що $V_{rл} = \frac{ds}{dt}$, отримаємо:

$$V_{rл} dV_{rл} = g dx + \omega_e^2 y dy - 2f \omega_e V_{rл} dy \quad (2.9)$$

Рівняння (2.9) є диференціальне рівняння відносно швидкості руху частинок добрив вздовж лопаті по конічній поверхні робочого органу. Якщо в рівнянні (2.9) замінити значення U через X , а потім, розділивши ліву та праву частини на dx , матимемо:

$$V_{r_z} V_{r_x} = g + \frac{\omega_e^4}{g} e^{\frac{2\omega_e^2}{g} x} - 2f \frac{\omega_e^3}{g} V_{r_x} e^{\frac{\omega_e^2}{g} x}$$

Розділивши це рівняння на V_{r_x} , остаточно отримаємо:

$$V_{r_x}' \left(g + \frac{\omega_e^4}{g} e^{\frac{2\omega_e^2}{g} x} \right) \frac{1}{V_{r_x}} = 2f \frac{\omega_e^3}{g} e^{\frac{\omega_e^2}{g} x} \quad (2.10)$$

За рівнянням (2.10) обчислені значення відносно швидкості руху частинок добрив вздовж лопаті робочого органу в залежності від параметрів X і Y , кутової швидкості його обертання ω_e , коефіцієнта тертя f . Отримані залежності представлені малюнку 2.4.

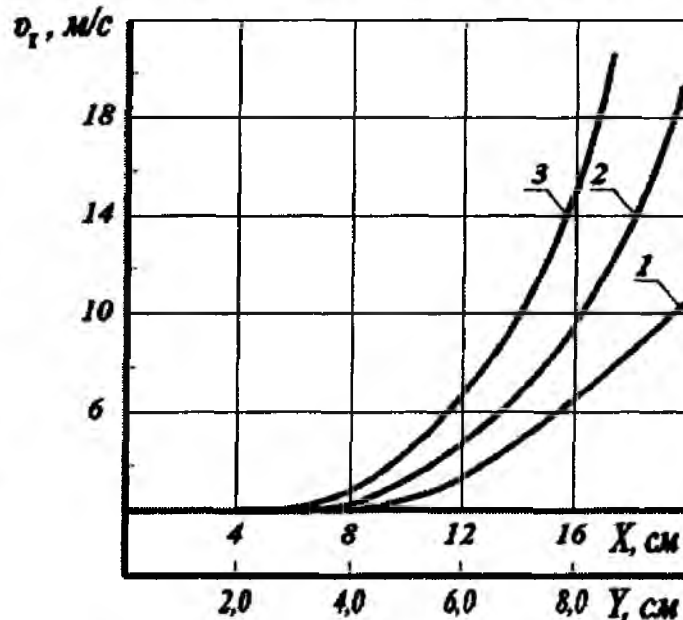


Рис. 2.4 - Залежність відносно швидкості V_{r_l} руху частинок вздовж лопаті від форми поверхні
 1 - при $\omega = 15.7 \text{ c}^{-1}$, 2 - при $\omega = 62.8 \text{ c}^{-1}$, 3 - при $\omega = 94.2 \text{ c}^{-1}$; при $f = 0.5$

Аналіз отриманих результатів показує, що частинки добрив рухаються вздовж лопаті з меншою швидкістю (рис. 2.4), ніж по гладкій конічній поверхні. Збільшення кутової швидкості ω ротора призводить до зниження початкової швидкості надходження частинок на поверхню відцентрового апарату і лише з відстані $x > 8\text{ см}$ відносна швидкість частинок зростає.

Таким чином, викидні лопаті повинні бути встановлені на відстані 8-10 см від вершини конуса. В даному випадку буде забезпечене постійне збільшення відносної швидкості руху частинок добрив поверхнею викидної лопаті.

2.3 Рух частинок добрив вздовж викидної лопаті на диску

Для досягнення рівномірного розподілу мінеральних добрив і вапняних матеріалів по поверхні ґрунту на середню і дальню відстань відцентровий апарат у нижній своїй частині повинен забезпечити оптимальний розподіл туків як викидними лопатями, так і всіма параметрами робочого органу. Аналіз теоретичних досліджень показує, що нині недостатньо ще вивчені питання впливу викидних лопатей на сепарацію повнокомпонентної суміші добрив. Отже, при встановленні на диску викидних лопатей істотним є вибір форми лопаті.

П.М. Василенко рекомендує виходити з передумови про те, щоб на всій траєкторії руху частинки зберігався постійним кут між дотичною до траєкторії і радіусом. Тому, подальші теоретичні дослідження були спрямовані на встановлення впливу викидних лопатей на сепарацію матеріалу, що вноситься, і дальність викидання частинок мінеральних добрив і вапняних матеріалів.

Якщо лопата є частиною кола радіусом r_l (рис. 2.5), то рух частинок, що зійшли з конічної частини робочого органу, можна описати рівнянням виду:

$$z = \omega^2 \left[c \cdot \sin\beta - f \left(2 \frac{z}{\omega} - c \cdot \cos\beta + r_l + \frac{g}{\omega^2} \right) \right] \quad (2.11)$$

Відстань від центру обертання робочого органу до радіусу кривизни лопаті буде:

$$C = (r_l^2 + R_0^2 - 2r_l R_0 \sin \psi_{R_0})^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

де R_0 - радіус внутрішньої кромки диска, мм;
 r_l - радіус кривизни лопаті, мм;

ψ_{R_0} - початкове значення кута між радіусом вектором і дотичної до поверхні лопаті, рад.

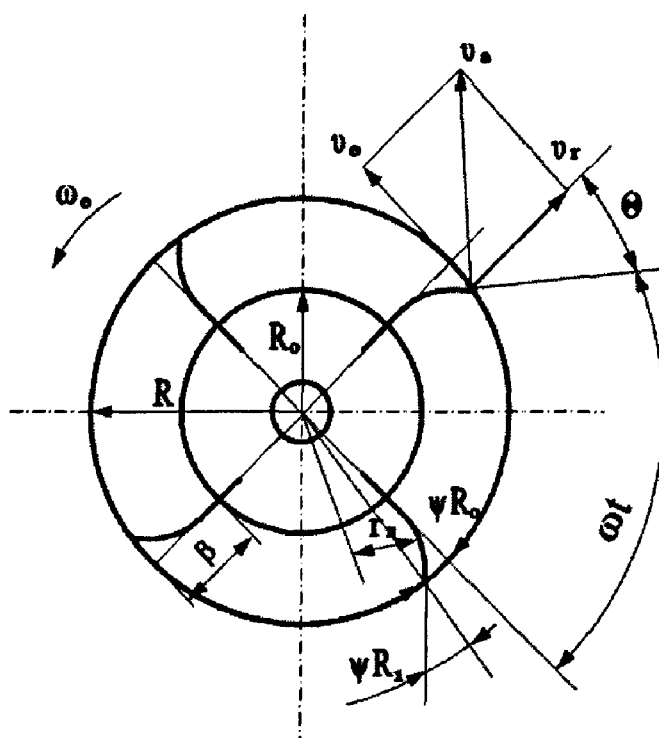


Рис. 2.5 - Схема визначення руху частинок добрив вздовж криволінійної лопаті

Шлях, пройдений вздовж лопаті буде:

де β_0 - визначається з наступного виразу:

$$\beta = \frac{C}{r_l} + \beta_0$$

$$\beta_0 = \arcsin\left(\frac{R_0 \cos \psi_{R_0}}{c}\right) \quad (2.13)$$

Рівняння (2.11) можна вирішити одним із числових методів. При початкових

умовах $t=0$, $\tau=\tau_0$, $\tau \in V_H$ Час t руху частинки вздовж лопаті буде:

$$\tau_{max} = r_{л} \beta_{л}$$

де $\beta_{л}$ – кут розчину лопаті, рад;

V_H - початкова швидкість руху частинки вздовж криволінійної лопаті, м/с.

Кут розкривання лопаті описується рівнянням виду:

$$\beta_{л} = 2 \arctg \left[\frac{(R_1 \sin \psi_{R_1} - R_0 \sin \psi_{R_0})}{R_1 \cos \psi_{R_1} + R_0 \cos \psi_{R_0}} \right] \quad (2.14)$$

де R_1 – радіус зовнішнього обрізу диска, мм;

ψ_{R_0} - кінцеве значення кута між вектором і дотичної до поверхні лопаті, рад.

Швидкість метання залежить від відносної V_r і окружної ωR швидкостей у точці сходу частинок. Знаючи час і враховуючи, що у відносному русі частка

зміститься на кут $\psi_{R_1} + \psi_{R_0} - \beta_{л}$ знайдемо кут сходу частинок добрив:

$$\omega t = \psi_{R_1} + \psi_{R_0} - \beta_{л}$$

Аналіз рівнянь показує, що на величину відносної швидкості V_r і

кут сходу ωt основний вплив надають такі параметри, як: початкова швидкість руху частинок вздовж лопаті V_H , кутова швидкість диска ω , початкове і кінцеве значення кута між радіус-вектором і відносно до поверхні криволінійної лопаті $\psi_{R_1} + \psi_{R_0}$

Так із збільшенням початкової швидкості руху частки

зменшується кут сходу і зростає відносна швидкість V_r . Кут сходження частинок добрив також залежить від коефіцієнта тертя f . Відносна швидкість V_r

зростає інтенсивніше зі збільшенням початкової швидкості руху частинок вздовж лопаті V_H . Підвищення кутової швидкості робочого органу ω_e при $V_H = \text{const}$, сприяє зростанню кута сходу частинок добрив і відносної швидкості V_r .

Як показали дослідження, залежність відносної швидкості V_r від кутової швидкості робочого органу близька до лінійної. Кут сходу частинок із зростанням кутової швидкості робочого органу зростає. Зі збільшенням радіуса диска R підвищується значення кута сходу ωt і відносна швидкість V_r .

Кінематичний аналіз взаємодії частинок з лопатями диска

показує, що ненаголошений вплив можливий, коли:

$$\varphi_{R_0} \approx \arctg \frac{V_H \cos \theta_0}{\omega R_0} - \frac{\pi}{2}$$

Значення φ_{R_0} необхідно вибрати, виходячи з умов отримання найвищої швидкості метання. Вплив абсолютної швидкості на кут сходу частинок показано на рис. 2.6.

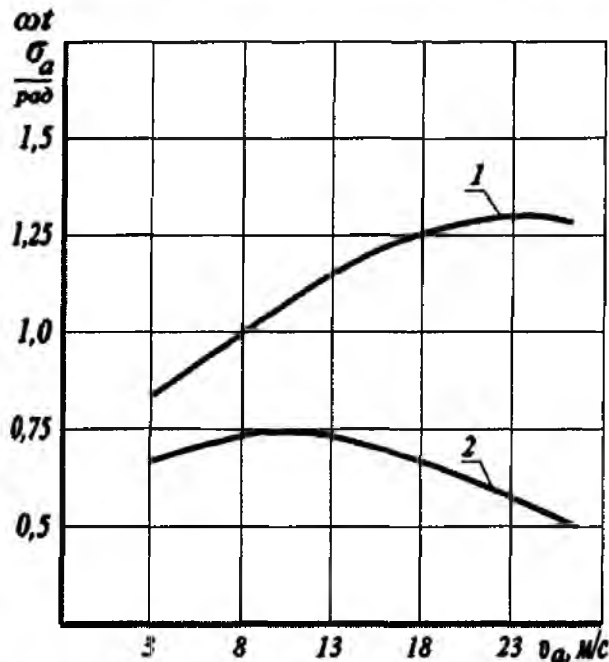


Рис. 2.6 - Вплив абсолютної швидкості V_a на величину кута сходу частинок добрив;

1 - кут сходу частинок, 2 - середньоквадратичне відхилення кута сходу

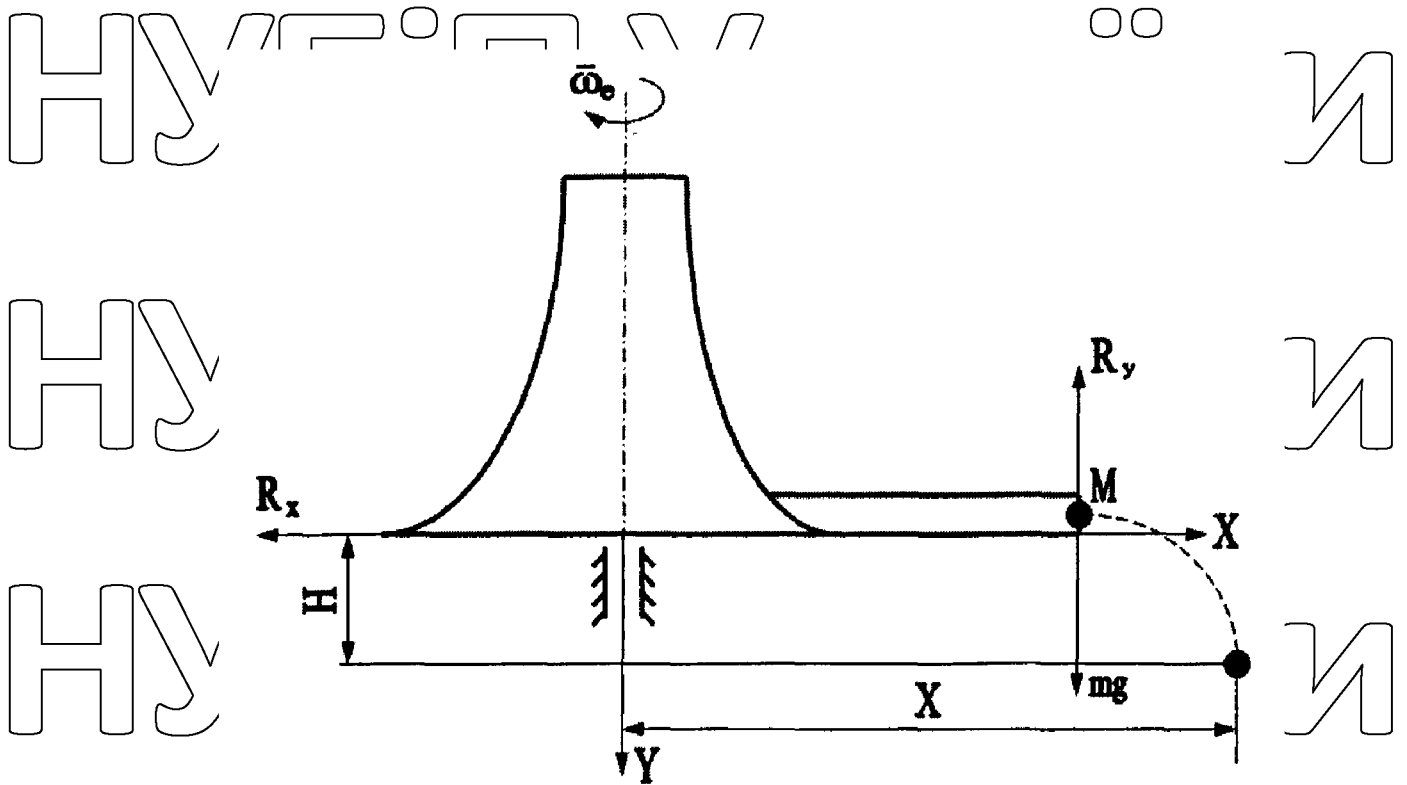


Рис 2.7 – Схема визначення дальності польоту частинок добрив

Сила опору повітря дорівнює:

$$R_B = k \frac{\gamma}{g} F(x')^2 \quad (2.15)$$

де k - Коефіцієнт опору повітря;

γ - питома вага повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$;

F - міделевий переріз, мм .

Рівняння (2.14) зручніше уявити в такому вигляді:

$$X'' = \frac{k\gamma F}{mg} (x')^2 = -k_n (x')^2 \quad (2.16)$$

де k_n - коефіцієнт парусності;

$$k_n = \frac{k\gamma F}{mg}$$

Для вирішення рівняння (2.16) слід зменшити його порядок. З

цією метою припустимо, що $X' = V$, тоді:

$$X'' = \frac{dV}{dx} V \quad (2.17)$$

Підставляючи ці значення в рівняння (2.16) отримаємо:

НУБІП $V \frac{dV}{dx} = -k_n V^2$ Українни

або

$$\frac{dV}{dx} = -k_n V^2 \quad (2.18)$$

Розділимо змінні

НУБІП $\frac{dV}{V^2} = -k_n dx$ Українни

(2.19)

Інтегруючи рівняння (2.19), знайдемо

$$\ln V = -k_n x + \ln C_1$$

НУБІП $\ln V = \ln e^{-k_n x} + \ln C_1$ Українни

(2.20)

Потенціюючи вираз (2.20), матимемо.

НУБІП $V = C_1 e^{-k_n x}$ Українни

(2.21)

Постійну інтегрування слід визначити з початкових умов за $x=0$, швидкість частинки $V=V_p$.

Отже, рівняння польоту частинки остаточному вигляді буде

представлено у такому вигляді.

НУБІП $V_p = V_p e^{-k_n x}$ Українни

(2.22)

Для визначення дальності польоту X отримане рівняння необхідно проінтегрувати за часом, для того перепишемо їх у такому вигляді.

НУБІП $\frac{dx}{dt} = V_p e^{-k_n x}$ Українни

або

$$e^{k_n x} dx = V_p dt \quad (2.23)$$

Після інтегрування отримаємо

НУБІП $\frac{1}{k_n} e^{k_n x} = V_p t + C$ Українни

(2.24)

Постійну інтегрування визначимо з початкових умов: за $t=0$, $x=0$.

Тоді

$$C = \frac{1}{k_n}$$

З огляду на це знайдемо:

$$\frac{1}{k_n} e^{k_n x} = V_p t + \frac{1}{k_n} \quad (2.25)$$

Помноживши на k_n і логарифмуючи обидві частини рівності (2.25), отримаємо

$$k_n x = \ln(k_n V_p t + 1)$$

звідси вираз для дальності польоту у функції часу набуде вигляду

$$X = \frac{\ln(k_n V_p t + 1)}{k_n} \quad (2.26)$$

Однак у рівняння (2.26) є дві невідомі X і t , для вирішення його

потрібно залучити додаткові умови. З цією метою розглянемо рух частинки по вертикалі, тобто в напрямку осі Y під дією сили тяжіння і складової R_y сили опору повітря.

(Рис.2.7). Так як швидкість руху частинки в цьому напрямку від

початкової швидкості V_p не залежить, а висота H падіння невелика, то впливом сили R_y - опір повітря, можна знехтувати. З урахуванням цього можна прийняти, що при вільному падінні частки висота H дорівнюватиме:

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

Звідки

НУБІП України

Якщо отримане значення часу t підставити вираз (2.26), то рівняння дальності польоту в остаточному вигляді буде:

НУБІП України

$$X = \frac{\ln(k_n V_p \sqrt{\frac{2H}{g} + 1})}{k} \quad (2.27)$$

НУБІП України

Аналізуючи рівняння (2.27) можна відмінити, що на дальність польоту частинок туків впливають:

- Початкова швидкість розсіву V_p ,

- Висота установки відцентрового апарату H ;

- Коефіцієнт парусності добрив k_n .

НУБІП України

Побудовані за рівнянням (2.27) розрахункові залежності (рис. 2.8) показують, що найбільший вплив на максимальну дальність польоту частинок добрив надають кутова швидкість, коефіцієнт парусності добрив та висота

встановлення робочого органу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

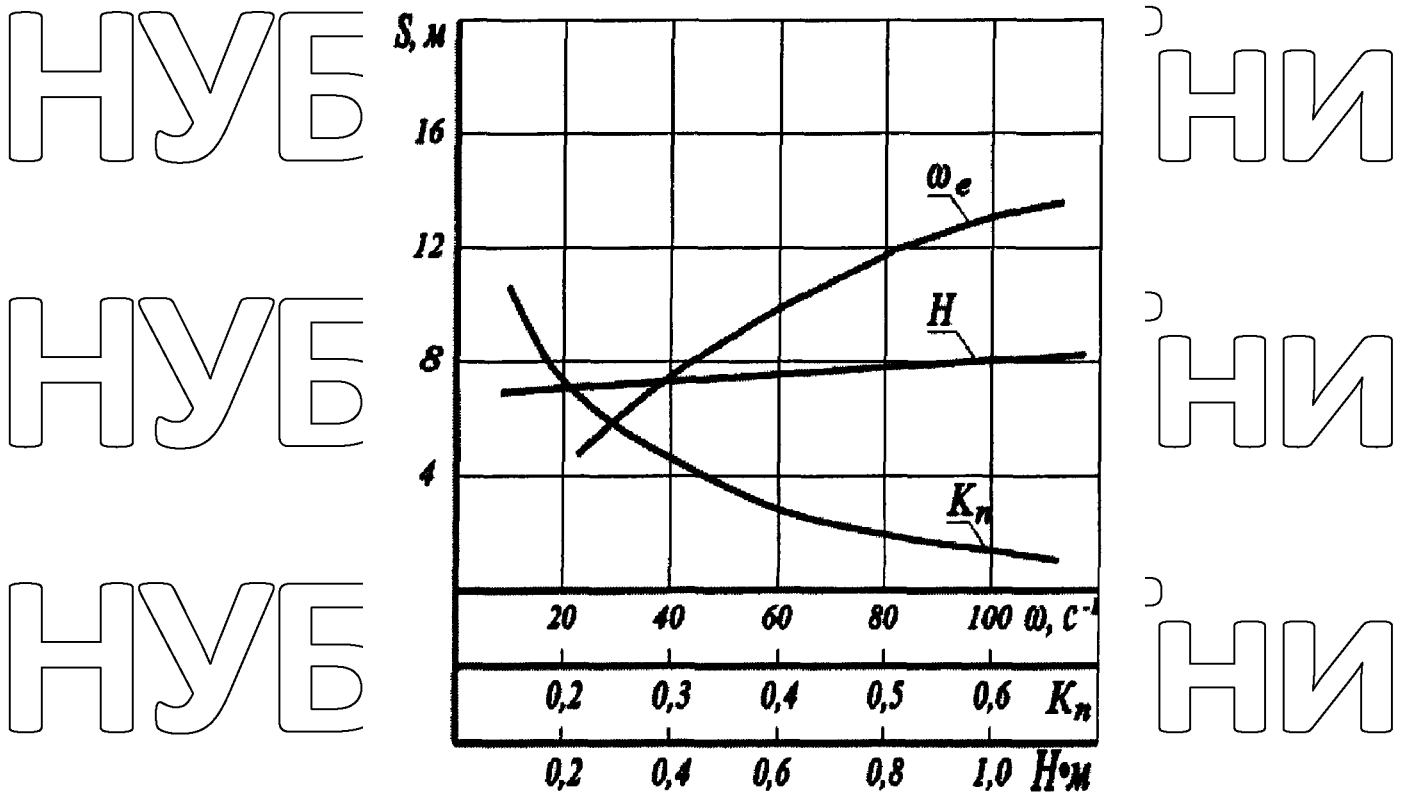


Рис. 2.8 - Залежність дальності польоту частинок добрив від конструктивних та кінематичних параметрів робочого органу

Коефіцієнт корисної дії відцентрового робочого органу можна

визначити як ставлення мінімальних витрат енергії до загальних витрат. При рівномірному розподілі добрив у безповітряному просторі та оптимальному куті та швидкості розсіву, необхідна потужність на привід робочого органу визначається рівнянням

$$N_{min} = \frac{QB_p V_m kg}{7,2 \cdot 10^7} \left(\frac{\Delta}{4} - 1 \right) + \frac{QH^2 V_m g}{7,2 \cdot 10^7} \ln \frac{1}{2} \left(\frac{B_p}{H} + \Delta \right) \quad (2.28)$$

де Q – норма внесення добрив, кг/га;

B_p – робоча ширина захоплення, м;

H – висота розташування робочого органу, м;

V_m – швидкість агрегату, км/год.

Але оскільки через нерівномірність розподілу туків доводиться працювати з перекриттям, а кути сходу і розсіву практично далекі від оптимальних, насправді потрібно значно більша потужність.

Щоб знайти її, прийmemo відхилення дальності польоту окремих частинок від середньої дальності, що відповідає нормальному розподілу.

Маса добрив, що розкидаються за 1сек., буде:

$$M_y = \frac{QB_p V_m}{3,6 \cdot 10^4}$$

На елементарне кільце або частину кільця dx (рис.2.9), віддалену на відстань X від осі робочого органу, потрапляє добрив:

$$dM = \frac{QB_p V_m}{3,6 \cdot 10^4} \cdot \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} \right] dx \quad (2.29)$$

де m – математичне очікування дальності польоту частинок;

σ - середнє квадратичне відхилення.

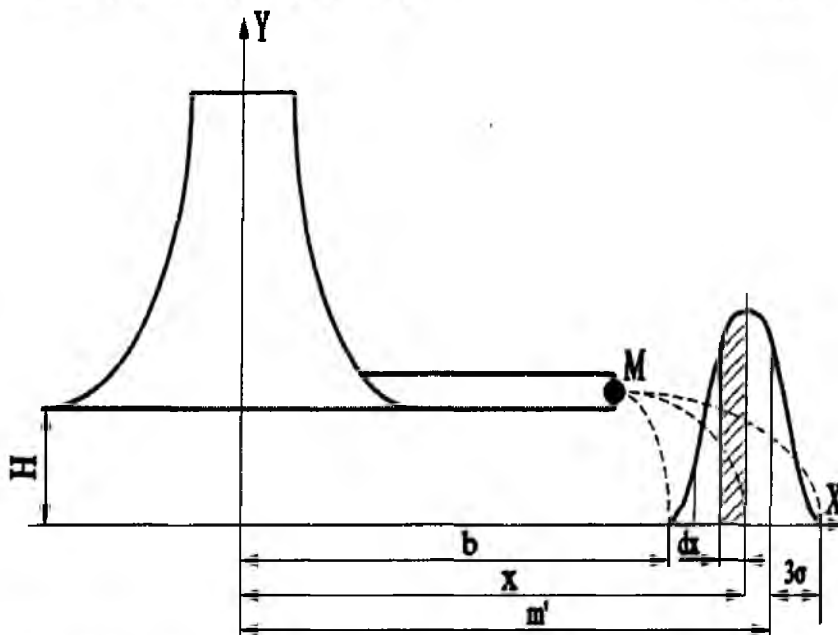


Рис. 2.9 Схема визначення маси внесених добрив

За правилом «трьох с.гм» для однодискового апарату:

НУБІП УКРАЇНИ

$$\sigma_1 = \left(\frac{B_p}{2} - v \right) 6^{-1}$$

де B_p – ширина смуги розкидання добрив, м,
 v – внутрішній радіус кільця розкидання, м.

Математичне очікування дальності польоту:

НУБІП УКРАЇНИ

$$m_1 = \left(\frac{B_p}{2} + b \right) 2^{-1}$$

Щоб масу dM закинути на відстань X , необхідно витратити енергію:

$$dN = V_p^2 dM m^{-1} \quad (2.30)$$

Залежно від його дальності та з урахуванням опору повітря:

НУБІП УКРАЇНИ

$$V_0^2 = \frac{g}{4k_n^2 h} [\exp(2R_n x) - 2k_n x - 1] \quad (2.31)$$

З урахуванням залежності (2.29) та (2.31) формула (2.30) набуде вигляду:

НУБІП УКРАЇНИ

$$dN = \frac{B_p V_m g}{28,8 \cdot 10^4 k_n^2 H} \cdot \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - m)^2}{2\sigma^2} \right] \cdot [\exp(2k_n x) - 2k_n x - 1] dx$$

Потужність, необхідна для розподілу добрив однодисковим апаратом:

НУБІП УКРАЇНИ

$$N_\Phi = \frac{B_p V_m g}{28,8 \cdot 10^4 k_n^2 H} \cdot \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - m)^2}{2\sigma^2} \right] \cdot [\exp(2k_n x) - 2k_n x - 1] dx$$

Спростивши отриманий вираз, знаходимо:

НУБІП УКРАЇНИ

$$N_\Phi = \frac{\Phi B_p V_m g}{28,8 \cdot 10^7 k_n^2 H} \cdot \exp(2k_n m + 2k_n^2 \sigma^2) \Phi(2k_n \sigma - 3)$$

Опір повітря буде:

НУБІП УКРАЇНИ

$$N_B = 2,95 \cdot 10^7 \cdot z h_0 n (R^4 - R_{\min}^4)$$

n – число оборотів диска,
 z – число лопатей, шт;
 h_0 – висота лопатей, мм.

З урахуванням опору повітря загальні витрати енергії за одиницю часу:

$N_{об} = N_{ф} + N_{в}$
 Коефіцієнт корисної дії відцентрового апарату визначається:

$$\eta_{ц} = \frac{N_{min}}{N_{обц}} \quad (2.32)$$

За виразом (2.32) визначено значення ККД запропонованого робочого органу та наведено порівняння з дисковим робочим органом серійного розкидача.

Як показали розрахунки, ККД запропонованого робочого органу на 12% вище, ніж серійного дискового апарату.

На підставі проведених теоретичних досліджень, для покращення технологічного процесу поверхневого внесення мінеральних добрив розроблено відцентровий робочий орган, на який отримано патент №55247 (рис.2.10).

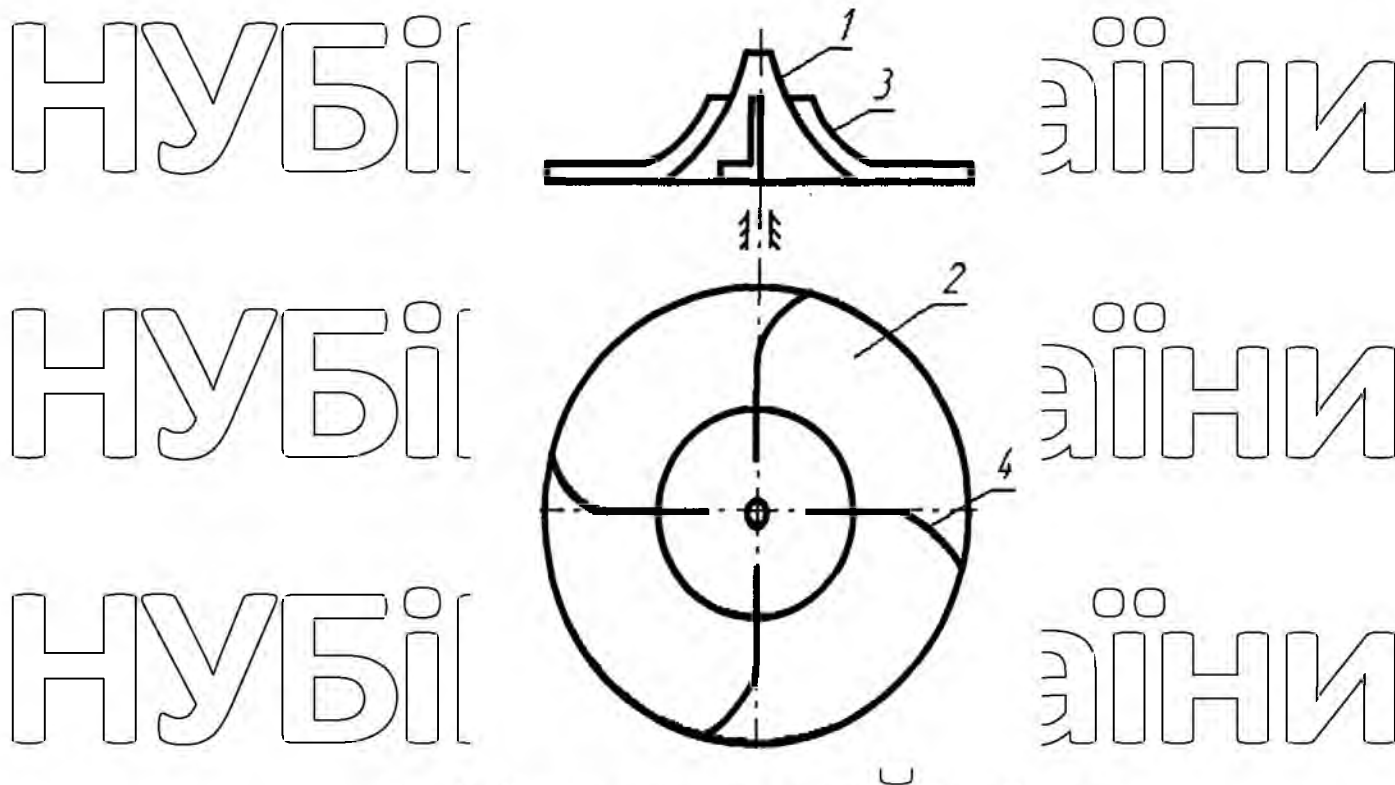


Рис. 2.10 – Експериментальний робочий орган;

1 – конічна частина; 2 – плоский диск; 3 – прямі лопаті; 4 – криволінійні лопаті.

Пропонований робочий орган складається з конічної частини та плоского диска. На конічній частині вздовж утвореного конуса встановлені чотири прямі, що переходять у криволінійні лопаті на плоскій частині диска.

При обертанні робочого органу конічна частина приймає потік матеріалу, розподіляє його рівномірним шаром і забезпечує спрямований рух частинок вниз по конусній робочій поверхні. За рахунок конусності окружна швидкість робочої поверхні до її основи зростає, в результаті чого швидкість руху частинок добрив по ній також безперервно збільшується.

Частина матеріалу сходить з невеликою швидкістю з верхньої частини робочого органу і розкидається на близькій відстані від осі руху агрегату. Матеріал, що рухається по робочій поверхні і потрапив у викидня лопаті, продовжує свій рух уздовж лопаті зі зростаючим прискоренням до краю диска і викидається на далекій відстані від осі руху. Частина матеріалу, що рухається в міжлопатевому просторі робочої поверхні, викидається на середню

відстань. Така конструкція робочого органу забезпечує безперервний рух частинок туків від місця подачі до краю диска робочої поверхні. Крім того, відбувається послідовна подача матеріалу у викидні лопаті, постійне збільшення швидкості сходу частинок і викид частинок як з лопатей, так і з

усього периметра робочого органу. Це дозволяє отримати більшу дальність викиду, потрібну рівномірність розподілу частинок по поверхні поля та високу продуктивність відцентрового робочого органу. Таким чином, запропонована нами конструкція відцентрового апарату відповідає вищевказаним вимогам.

2.4 Обґрунтування основних конструктивних параметрів робочого органу

У процесі роботи робочий орган машини для поверхневого внесення мінеральних добрив здійснює складний рух: поступальний разом з машиною і обертальний щодо неї. У зв'язку з цим, добрива сходять з викидних лопат у вигляді струменя і частинки осідають на поверхні поля, утворюючи візерунки розсіву. Візерунки розсіву характеризуються різницею початку і кінця сходу частинок. Дані візерунки розсіву будуть частиною циклоїди. Так як на робочому органі встановлюють по кілька лопат, то одноіменні точки цих лопат описують однакові циклоїди, але зміщені вперед по ходу машини на деяку відстань S_z , яка називається кроком розсіву.

При симетричному розташуванні лопат крок розсівання буде:

$$S_z = \frac{S}{z} = \frac{V_M t}{z} \quad (2.33)$$

де z – число лопатей, шт;

S – шлях, пройденою машиною, м;

t – часу, протягом якого лопатка займе місце попередньої, с.

Кількість лопатей на диску можна визначити як:

$$z = \frac{S_z}{S}$$

Кількість добрив, що захоплюються лопатою, залежить від її площі, товщини шару та об'ємної маси і дорівнює .

$$Q_{уд} = Sh_{сл} \gamma \quad (2.34)$$

де S - площа добрив, що знаходяться на диску, мм²,

$h_{сл}$ - товщина шару добрив, що знаходяться на диску, мм.

Звідси товщина шару буде:

$$h_{сл} = \frac{Q_{уд}}{S\gamma} \quad (2.35)$$

З урахуванням не висипання добрив через край, висоту лопатей на диску можна прийняти $h_{max} > h_{сл}$.

Чим більше лопат на диску, тим менше час впливу на частинки добрив, що знаходяться на робочому органі.

$$t = \frac{t_{об}}{z}$$

де $t_{об}$ - час, протягом якого диск повернеться на один оборот, с.

Час одного обороту визначається за умови $\omega t_{об} = 2\pi$, звідки,

$$t_{об} = \frac{2\pi}{\omega}$$

тоді

$$t = \frac{2\pi}{\omega z}$$

Підставивши замість t його значення в початковий вираз, отримаємо

$$S_z = \frac{2\pi R_M}{\omega z}$$

або помноживши чисельник і знаменник на R , замінивши ставлення окружної

швидкості $U_{ок}$ до поступальної швидкості машини V_M через λ , матимемо:

$$S_z = \frac{2\pi R}{\lambda z} \quad (2.36)$$

де λ - кінематичний режим роботи робочого органу.

З формули (2.36) слід, змінити крок розсівання відцентрового

робочого органу поверхні ґрунту можна, змінюючи кількість лопатей чи показник кінематичного режиму роботи.

Встановлено, що найбільш рівномірний розподіл спостерігається в тому випадку, якщо розрив між порціями добрив, що розкидаються суміжними лопатями відцентрового робочого органу по ходу руху становить 3-6 см. Отже, при заданому числі лопатей робочому органі завдання зводиться до визначення значення λ .

Розв'язавши рівняння (2.36) щодо λ , отримаємо:

$$\lambda = \frac{2\pi R}{S_z Z} \quad (2.37)$$

Підставивши в рівняння (2.37) значення S_z , що відповідає конкретним умовам, будемо мати показник кінематичного режиму λ , на який потрібно налаштовувати агрегат, щоб отримати задану кількість добрив, що вносяться на певну площу. Якщо шлях, що проходить агрегатом за одну хвилину, дорівнює

$S = 60V_m$, то число оборотів робочого органу дорівнюватиме:

$$n = \frac{S}{S_z Z}$$

Час від початку і до кінця розкидання добрив однією лопатою визначається наступним виразом:

$$T_{ц} = \frac{60}{nz}$$

а шлях, пройдений агрегатом за цей час, дорівнюватиме:

$$S = T_{ц} V_m$$

Шлях S_0 , пройдений агрегатом при розкиданні добрив на площу 1 га, визначається як розподіл цієї площі на робоче захоплення розкидача. При відомій нормі внесення добрив на 1 га кожна лопатя диска буде розкидати таку кількість добрив:

$$g = \frac{QS'}{S_0}$$

де Q – норма внесення добрив, кг/га.

При певних дозах внесення добрив окружна швидкість робочого органу визначається з наступного виразу:

$$U_{ок} = \frac{\pi S}{30zS'} R \quad (2.38)$$

тоді радіус диска робочого органу можна визначити як:

$$R = \frac{30zS'}{\pi S} U_{ок} \quad (2.39)$$

Висота установки робочого органу над поверхнею поля виходить з наступного виразу:

$$H = U_{ок} t_n \sin \alpha + \frac{gt_n^2}{2} \quad (2.40)$$

де α - кут між напрямком польоту частинки та горизонтом, град

t_n - час польоту частинок, добрив, с.

g - прискорення вільного падіння добрив, м/с²

При цьому робота, що витрачається на відкидання частинок добрив, виходить із рівняння:

$$A = \frac{g_1 U_{ок}}{2g} \quad (2.41)$$

де g_1 - кількість добрив, що розкидаються за одну секунду, кг.

Кількість добрив, що розкидаються в одну секунду, визначається як:

$$g_1 = \frac{gnz}{60}$$

Отримані вирази дозволяють обходитися при розрахунку без додаткових громіздких обчислень і можуть бути використані при

конструювання відцентрових робочих органів машин, призначених для поверхневого внесення добрив.

2.5 Обґрунтування форми щитка, що відбиває

На рівномірність розподілу добрив по полю однодисковим відцентровим розкидувачем великий вплив має місце установки щитка, його розміри та форма. Місце встановлення щитка та його розміри вибираються такими, щоб унеможливити потрапляння частинок добрив у вузли агрегату.

Розмір щитка зазвичай визначається величиною сектора перекриття з центральним кутом, що визначається шириною захоплення агрегату і відстанню

від центру робочого органу до задньої стінки агрегату. Відбиваючий щиток повинен зберігати симетричний характер розподілу добрив по поверхні ґрунту, властивий роботі відцентрового робочого органу. Найбільш поширені відбиваючі щитки циліндричної форми забезпечують концентрацію добрив у певному напрямку руху розкидача, що залежить від розміру та місця встановлення. При роботі з відбивним щитком матеріал, що розкидається, на початку кілька разів ударяється об циліндричний відбивач, а потім починає ковзати вздовж нього (рис.2.11).

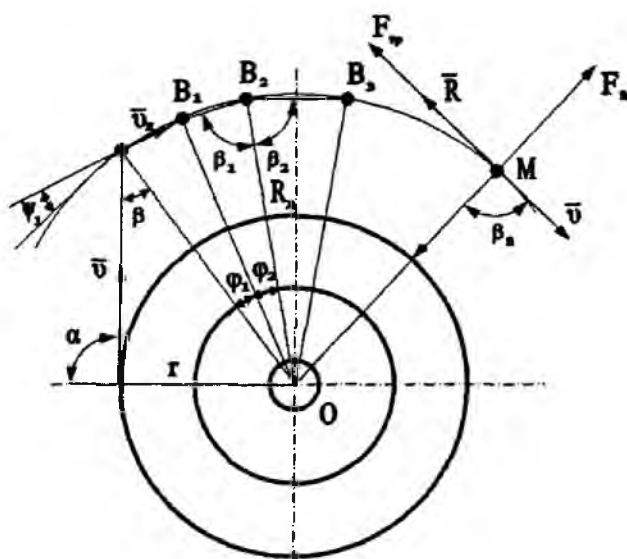


Рис.2.11 - Схема визначення форми відбиваючого щитка

При обґрунтуванні щитка приймемо такі припущення: швидкість частки до першого удару дорівнює швидкості сходу її з диска і в проміжках між ударами швидкість і напрямок руху частки змінитися не встигає. Тоді удар можна розглядати як центральний косий об нерухому стінку. Закономірність зміни кутів падіння та відображення частинок описується відношенням:

$$tg\beta_n = \frac{tg\beta_{n-1}}{k} \tag{2.42}$$

де β_n - кут відбиття при n -му ударі, град;

β_{n-1} - г кут падіння, що відповідає β_n , град;

k - коефіцієнт відновлення.

З виразу (2.42) випливає, що кожен наступний кут менший за попередній на величину, зворотну коефіцієнту відновлення, тому порядкові кути падіння і відображення утворюють геометричні прогресії зі знаменником:

$$D \cong \frac{1}{k} \quad (2.43)$$

причому кожен кут відбиття при $(n-1)$ -му ударі дорівнює куту падіння при n удари:

$$\operatorname{tg} \beta_n = \frac{\operatorname{tg} \beta}{k^{n-1}} \quad (2.44)$$

З малюнка (2.11) випливає також, що

$$\frac{\operatorname{tg} \beta}{k^n} = \operatorname{ctg} \frac{\varphi_n}{2} \quad (2.45)$$

Центральний кут сектора перекриття:

$$\varphi = 2 \left[90^\circ - \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{k} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{k^n} \right) \right] \quad (2.46)$$

Закономірність зміни довжин дуг:

$$s_n = 2R_g \left[90^\circ - \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{k^n} \right) \right] \quad (2.47)$$

де R_g - відстань від центру диска до відбивача, мм.

Параметри відбивача, що визначаються формулами (2.37-2.40), також утворюють геометричні прогресії зі знаменником, що визначається формулою (2.36).

Швидкість частки зменшується при ударах:

$$V \cos \beta_n = k^{n-1} V \cos \beta \quad (2.48)$$

Отримані залежності дозволяють рекомендувати наступну методику розрахунку циліндричного відбивача.

Скориставшись формулою (2.47) знаходимо число ударів:

$$n = \frac{\lg\left(\frac{r g R \cdot \lg \frac{s_0}{r R}}{\lg k}\right)}{\lg k} \quad (2.49)$$

Даді, використовуючи наведені формули, за певних умов знаходимо параметри, що характеризують рух частинки відбивачом, за початкових умов подальшого її ковзання $\beta = 90^\circ$, φ_0 , s_0 , V_0 .

Диференціальне рівняння цього руху

$$m \frac{dV_g}{dt} = -f m \frac{V_g^2}{R} - \mu V^2$$

де V_g – швидкість руху частинки вздовж щитка, м/с.

Звідки

$$\frac{dV_g}{dt} + \frac{V_g^2}{A} = 0 \quad (2.50)$$

де $A = Rm(fm + Rn) \cdot 1 = \text{const.}$

Рішення рівняння (2.50) дає швидкість та координату частки:

$$\begin{cases} V_g = \frac{V_a}{1 + A V_a t} \\ S = S_0 + A \ln\left(1 + \frac{V_a}{A} t\right) \end{cases} \quad (2.51)$$

Час руху частки по відбивачу нас практично не цікавить

$$V_g = V_a \exp\left(-\frac{s-s_0}{A}\right) \quad (2.52)$$

Отже, взаємодія матеріалу, що розкидається, з циліндричним відбивачем носить характер удару, якщо відбивач перекриває сектор із центральним кутом до 86-90°. При більшому куті перекриття після серії ударів починається ковзання частинок із спрямованим викидом, що викликає нерівномірний розподіл їх по ширині захоплення агрегату. Швидкість частинок внаслідок зіткнень зменшується на 30%, а після початку ковзання ще на 5%.

Цього можна уникнути, якщо на виході кінці циліндричного щитка зробити у вигляді плоскої пластини. Кут нахилу плоскої частини щитка повинен забезпечувати рекошетування частинок і для більшості типів добрив може бути прийнятий рівним 40°.

Кут ψ_1 між щитком і віссю OX в площині робочого органу вибирається таким, щоб частка після зіткнення зі щитком повертася на свій початковий напрямок з тим самим значенням координати X, яке вона мала б, якби не було попереду перешкоди.

ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

НУБІП України

3.1. Лабораторно-польова експериментальна установка

Начіпні машини для внесення мінеральних добрив зазвичай працюють за перевалочною технологією. Така технологічна схема операцій містить у собі:

- навантаження мінеральних добрив на складі господарства;
- перевезення до місця внесення;
- перевантаження з транспортного агрегату на розкидальний агрегат і внесення добрив за допомогою розкидача.

У цій технологічній схемі мінеральні добрива зі складу в поле транспортують за допомогою причепа 2ПТС-4 і начіпного розкидача в одному агрегаті.

Перевантаження з причепа в ємність розкидача на місці внесення добрив проводиться зазвичай вручну. Це досить трудомісткий процес і займає багато часу, що позначається на продуктивності машинно-тракторного агрегату. Для роботи експериментальної машини за даною технологічною схемою пропонується новий метод перевантаження з причепа в ємність розкидача на місці внесення добрив. Його характерна особливість полягає в тому, що господарству не потрібно купувати якісь спеціальні машини для навантаження добрив у поле. Потрібно лише трохи переобладнати наявний у господарстві тракторний самоскидний причіп. Для цього на задній частині рами встановлюється кронштейн для збільшення висоти розташування кузова від землі. У задньому борту причепа вирізається вікно, довжина якого має перевищувати ширину заправної ємності (бункера) експериментальної установки.

Це вікно забезпечується шибером із важелем керування для дозування норми завантаження.

Пропонована перевалочна схема включає наступні операції:

- завантаження зі сховища мінеральних добрив до кузова причепа;
- транспортування завантажених добрив від сховища до місця внесення за

допомогою причепа та експериментального розкидача в одному агрегаті;

- встановлення причепа з добривами біля краю поля.

Для заправки розкидача необхідно під'їхати до заднього борту причепа, з'єднати шланг гідроциліндра візка з гідро системою трактора і зробити механізовану дозаправку розкидача. Після чого від'єднується шланг гідро системи візка від трактора, і заправлений агрегат може виконувати роботу.

При випорожненні ємності розкидачу проводиться повторне навантаження добрив за тією самою схемою.

Для продуктивної роботи агрегату необхідно правильно визначити відстань між пунктами заправки. Відстань між пунктами заправки пропонується визначити з наступного виразу:

$$l_3 = \frac{L_{\text{тех}} \cdot B_p}{L_p} = nB \quad (3.1)$$

де $L_{\text{тех}}$ - довжина робочого шляху між заправками, м;

B_p - ширина захоплення агрегату, м;

L_p - довжина робочого ходу агрегату між заправками, м;

n - число проходів агрегату між заправками.

Кількість добрив, які необхідно мати в причепі на пункті заправки,

знаходять за формулою:

$$Q_{\text{тех}} = L_p \cdot l \cdot g_n \cdot 10^4 \quad (3.2)$$

де g_n - норма внесення добрив, кг/га.

Норма внесення розраховується за такою формулою:

$$g_p = \frac{10^4 \cdot Q_{\text{ф}}}{B_p \cdot L_p} \quad (3.3)$$

де $Q_{\text{ф}}$ - фактична маса внесення добрив за прохід, кг/га.

Усі відомі технології внесення добрив (перевантажувальна або прямоточна) характеризуються витратами, пов'язаними із заправкою ємності розкидачу добривами; так при перевантажувальній технології - витратами часу на очікування транспортувальника - перевантажувача; при прямоточній витратами часу на поїздку за добривами на склад. Для пропонованої технологічної схеми витрати часу пов'язані тільки з механізованою

дозаправкою розкидачу добривами, що дозволяє скоротити час та збільшити продуктивність даного агрегату. Розрахунок експлуатаційно-технічних показників МТА при внесенні добрив за запропонованою технологічною схемою з урахуванням витрат часу на механізоване навантаження дозволяє оцінити показники МТА при внесенні добрив за прямою технологією. Розрахунки показали, що застосування експериментальної установки при запропонованій технологічній схемі в порівнянні з серійною машиною та традиційною технологією дає можливість вивільнити для виконання інших робіт один трактор та один навантажувач. При цьому експлуатаційна продуктивність запропонованого агрегату збільшується в 2,2 рази, а питомі трудовитрати зменшуються в 4,5 рази.

3.2 Планування експерименту щодо технологічного процесу внесення добрив

Дослідженнями встановлено, що якість внесення мінеральних добрив та вапна у ґрунт машинами відцентрового типу залежить від впливу багатьох факторів, які поділяються на дві групи. До першої групи факторів можна віднести конструктивні параметри та режими роботи робочих органів розкидача, а також фізико-механічні властивості добрив.

До другої групи відносяться технологічні параметри, такі як ширина захоплення та швидкість руху агрегату, норма внесення, перекриття між проходами, сила вітру, рельєф поля та ін.

Проведені дослідження технологічного процесу внесення мінеральних добрив експериментальною установкою підтверджуються висновками авторів про вплив на якість процесу перерахованих вище факторів. Однак слід зауважити, що раніше проведені дослідження якості поверхневого внесення мінеральних добрив у ґрунт проводилися при зміні, по черзі, одного з перерахованих вище факторів і встановлювався ступінь більшого або меншого їх впливу на цей процес. Фактично ж під час роботи агрегату у виробничих умовах працювати відцентрового робочого органу одночасно впливають кілька чинників.

В даному випадку якісні показники технологічного процесу поверхневого внесення мінеральних добрив залежатимуть від того, наскільки стабільно розподілятиме туки по поверхні поля відцентровий робочий орган при впливі на нього факторів другої групи.

Для управління якістю процесу застосування добрив, тобто. для забезпечення заданої дози та рівномірності розподілу добрив по полю, необхідно знати, як впливають проміжні показники якості на вихідні змінні, що характеризують його перебіг.

Вихідними даними для побудови математичної моделі технологічного процесу можуть бути як теоретичні уявлення про природу фізичних явищ, що відбуваються при протіканні цього процесу, так і експериментально встановлювані залежності між вхідними і вихідними параметрами. Традиційні методи аналізу технологічного процесу поверхневого внесення мінеральних добрив та вапняних матеріалів у ґрунт машинами відцентрового типу, в основу яких, як було зазначено вище, покладено послідовний перебір усіх технологічних факторів та класичний регресивний аналіз, характеризуються рядом принципових недоліків. Застосування цих методів призводить до того, що багато прийнятих рішень носять випадковий характер і не завжди є оптимальними. У цих умовах вирішальне значення має проведення екстремального багатфакторного експерименту з математичним плануванням, що дозволяє отримати математичну модель, що описує технологічний процес поверхневого внесення мінеральних добрив і перевести в ґрунт машинами відцентрового типу, і з достатнім ступенем точності управляти їм. До того ж, даний метод суттєво підвищує надійність та достовірність одержаних результатів при скороченні обсягу експериментальних робіт.

Так як математичні методи планування експерименту засновані на кібернетичному підході до об'єкта дослідження, то найбільш підходящою моделлю останнього є "чорний ящик". "Чорний ящик" відповідає об'єкту дослідження, а деякі параметри, що входять в об'єкт, відповідають факторам, що впливають на об'єкт дослідження. Це група керованих чинників, за зміни

яких вивчається об'єкт дослідження. У цей об'єкт входить і група некерованих факторів. Вихідними величинами технологічного процесу поверхневого внесення добрив у ґрунт є такі параметри оптимізації:

У1 – показник нерівномірності розподілу добрив на робочій ширині захоплення агрегату;

У2 – показник нерівномірності розподілу добрив у процесі руху агрегату;

У3 – дальність польоту частинок добрив.

Найбільш важливим, з точки зору досягнення якості поверхневого внесення добрив машинами з відцентровими робочими органами, є У1.

Проведені нами дослідження на першому етапі дозволили встановити вплив на критерії оптимізації технологічного процесу поверхневого внесення мінеральних добрив машинами відцентрового типу наступних факторів:

Х0 - вид добрив (гранулометричний склад, вологість, парусність і т.д.);

Х1 – швидкість руху агрегату;

Х2 – норма внесення добрив;

Х3 – ширина захоплення агрегату.

Після вибору факторів встановлюємо їх рівні та інтервали варіювання. За даними досліджень ряду авторів виявлено, що під різні сільськогосподарські культури норми основного внесення окремих компонентів мінеральних добрив становлять (в діючій речовині) від $N_{60} P_{60} K_{60}$ до $N_{120} P_{120} K_{120}$ тобто. від 60 до 120 кг/га. Враховуючи якісний склад туків, а також вимоги, яким повинні відповідати машини, що здійснюють поверхневе внесення добрив у ґрунт, приймаємо для кожного виду добрив відповідну норму внесення (табл.3.1).

Робоча ширина захоплення машин з відцентровими органами для поверхневого внесення мінеральних добрив 1РМГ-4Б, МВУ-6, МВУ-8, МВУ-0,5, Л-116, знаходиться в межах 7-14 м.

За сучасних вимог сільськогосподарського виробництва для виконання робіт у встановлені агротехнічні терміни цього вкрай недостатньо.

Дослідженнями професора Ф.С. Завалишина встановлено, що оптимальна ширина захоплення розкидачів мінеральних добрив повинна бути в межах 15-

20 м, а при внесенні вапна 7-10 м.

Природно, у виробничих умовах коливання робочої ширини захоплення значні, тому ми приймаємо для експериментальної установки робочу ширину

на внесенні мінеральних добрив 15-25 м і вапна 7-12 м.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 3.1 Рівні факторів та інтервали їх вирівнювання

Кодове позначення змінних	Швидкість дваженьня агрегату, км/год	Норма введіть-ня добрив, кг/га	Робоча ширина хвата, м.
	X ₁	X ₂	X ₃
Аміачна селітра			
Верхній рівень (+1)	14	400	25
Базовий рівень (0)	10	300	20
Нижній рівень (-1)	6	200	15
Інтервал варіювання	4	100	5
Гранульований суперфосфат			
Верхній рівень (+1)	14	600	25
Базовий рівень (0)	10	450	20
Нижній рівень (-1)	6	300	15
Інтервал варіювання	4	150	5
Хлористий калій			
Верхній рівень (+1)	12	300	25
Базовий рівень (0)	10	255	20
Нижній рівень (-1)	8	150	15
Інтервал варіювання	2	75	5
Суміш туків N:P:K			
Верхній рівень (+1)	12	800	25
Базовий рівень (0)	10	650	20
Нижній рівень (-1)	8	500	15
Інтервал варіювання	2	150	5
Вапняне борошно			
Верхній рівень (+1)	12	3200	12
Базовий рівень (0)	10	2300	9,5
Нижній рівень (-1)	8	1400	7
Інтервал варіювання	2	900	2,5

НУБІП України
Для зручності обчислень перетворимо аналізовані фактори на безмірні

величини:

$$X_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i} \quad (3.4)$$

де X_i – кодоване значення i -го фактора.

У цьому випадку верхні та нижні рівні I -го фактора відповідно складає

$X_{i1} = +1, X_{i2} = -1$. Рівні варіювання факторів наведені у таблиці 3.1.

Математичний опис функції відгуку для кожного виду добрив

$$M_{[y]} = f(V_M, Q, B_p) \quad (3.5)$$

Зважаючи на те, що показник нерівномірності розподілу туків залежить

від дальності польоту частинок, яка змінюється пропорційно квадрату

швидкості, ми припустимо, що зазначена функціональна залежність опишеється поліномом другого ступеня.

$$y = B_0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i + \sum_{i=1}^k B_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^k B_i X_i^2 \quad (3.6)$$

Для отримання математичної моделі технологічного процесу

поверхневого внесення мінеральних добрив у ґрунт, що описується поліномом другого ступеня (3.6), використовували ортогональний центральний композиційний план другого порядку. Матриця планування експерименту

кожного виду мінеральних добрив може бути представлена в такий спосіб

(табл. 3.2).

Згідно з планом, на експериментальній установці задавали той чи інший варіант рівнів факторів, що вивчаються (табл. 3.1).

Обробку результатів досліджень технологічного процесу поверхневого

внесення мінеральних добрив і вапна проводили в наступній послідовності:

- Визначалися коефіцієнти регресії;
- проводився статистичний аналіз результатів експерименту;
- Проводилася інтерпретація рівнів регресії.

Усі коефіцієнти регресії, з ортогональності планування експерименту,

визначали незалежно один від одного методом найменших квадратів по формулі:

$$B_i = \frac{1}{\sum_{g=1}^N Z_{ig}^2} \sum_{g=1}^N Z_{ig} y_{ig} \quad (3.7)$$

Вектор спостережень середнього значення досліджуваного параметра оптимізації знаходили за формулою:

$$y_{ig} \equiv \frac{1}{m} \sum_{e=1}^m y_{ge} \quad (3.8)$$

Статистичний аналіз рівнянь регресії включав перевірку відтворюваності експерименту, визначення статистичної значущості коефіцієнта регресії, оцінку адекватності отриманої математичної моделі процесу. Перевірка гіпотези відтворюваності необхідна з'ясування однорідності випадкових чинників, які впливають на показник не-рівномірності розподілу мінеральних добрив на поверхні ґрунту. Для цього застосуємо критерій Кохрена, який порівнює максимальну емпіричну дисперсію із сумою всіх дисперсій.

$$G_{max} = \frac{S_{gmax}^2}{\sum_{g=1}^{15} S_g^2} \quad (3.9)$$

де

$$S_g^2 \equiv \frac{1}{2} \sum_{e=1}^m (y_{ge} - y_g)^2$$

Це дисперсія помилки експерименту в g -ій точці плану. Статистичну значимість коефіцієнтів B_j перевіряли за допомогою t -критерію Стьюдента, який порівнює абсолютну величину коефіцієнта з помилкою його визначення.

$$t_i = \frac{|B_i|}{S\{B_i\}} \quad (3.10)$$

Дисперсію помилки знаходимо за формулою:

$$S^2\{B_i\} = \frac{\sum_{g=1}^{15} S_g^2}{15} \cdot \frac{1}{3 \sum_{g=1}^{15} z_{ig}^2} \quad (3.11)$$

Отримані рівняння (3.6) були використані для вирішення задачі на екстремум методом підбору точок на ПК. У результаті рішення було визначено оптимальні значення чинників, відповідних мінімальному значенню оптимізації.

Таким чином, були отримані оптимальні значення швидкості руху агрегату, норми внесення туків і робочої ширини захоплення розкидача з експериментальним робочим органом у виробничих умовах при забезпеченні

високої якості внесення мінеральних добрив і перевести в ґрунт.

Таблиця 3.2 – Матриця планування повнофакторного експерименту

	Номер досліджу	0	X	>>	>>	>>	>>	X	X				
		X				X	X	X	X			X'	
Планування типу 2 ³	1	+	-	-	-	+	+	+	0,27	0,27	0,27	Y _{g1}	
	2	+	+	-	-	-	-	+	0,27	0,27	0,27	Y _{g2}	
	3	+	-	+	-	-	+	-	0,27	0,27	0,27	Y _{g3}	
	4	+	+	+	-	+	-	-	0,27	0,27	0,27	Y _{g4}	
	5	+	-	-	+	+	-	-	0,27	0,27	0,27	Y _{g5}	
	6	+	+	-	+	-	+	-	0,27	0,27	0,27	Y _{g6}	
	7	+	-	+	+	-	-	+	0,27	0,27	0,27	Y _{g7}	
	8	+	+	+	+	+	+	+	0,27	0,27	0,27	Y _{g8}	
Зіркові точки	9	+	-1,215	0	0	0	0	0	+0,75	-0,73	-0,73	Y _{g9}	
	10	+	-1,215	0	0	0	0	0	+0,75	-0,73	-0,73	Y _{g10}	
	11	+	0	-1,215	0	0	0	0	-0,73	+0,75	-0,73	Y _{g11}	
	12	+	0	+1,215	0	0	0	0	-0,73	+0,75	-0,73	Y _{g12}	
	13	+	0	0	-1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	+0,75	Y _{g13}	
	14	+	0	0	+1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	+0,75	Y _{g14}	
Центр. точки	15	+	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	Y _{g15}	

3.3 Характеристика вихідного матеріалу

Великий вплив на результати експериментальних досліджень надають фізико-механічні властивості добрив. Для проведення експериментальних досліджень технологічного процесу внесення мінеральних добрив нами були використані широко застосовувані сільському господарстві туки. Це комплексні добрива, аміачна селітра, гранульований суперфосфат, хлористий калій, а також вапняне борошно. Нами були визначені фізико-механічні властивості даних добрив перед проведенням експериментальних робіт, такі як: вологість, гранулометричний склад, коефіцієнт тертя, об'ємна маса, кут природного укосу, опір зсуву, коефіцієнт парусності.

Дослідження фізико-механічних властивостей добрив починали з визначення вологості висушуванням зразка в сушильній шафі до постійної ваги. Для цього навішування, розділивши порівну, засипали в три бюкси і сушили при температурі 100–5°C.

Вологість добрив для кожного бюкса підраховували за такою формулою:

$$W = \frac{100a}{Q_m} B \% \quad (3.12)$$

де a_B - вага випаровується вологи, г;

Q_H - навішування добрив, г.

За вологість добрива набувають середньоарифметичного значення з трьох повторностей.

Механічний (гранулометричний) склад добрив характеризується крупністю його частинок, розміри яких визначали за допомогою набору сит з діаметром від 10 до 0,25 мм. Для цього навішування (шаром не більше 1 см) насипали на верхнє сито решітного класифікатора і розділяли на фракції.

Об'ємну вагу добрив визначали на мірній зерновій пурпурі і підраховували за формулою:

$$y_0 = \frac{Q_0}{V_y} \quad (3.13)$$

де Q_0 - вага добрив у мірці, кг;

V_y - обсяг добрив, кг.

Коефіцієнт тертя ковзання, що надає великий вплив на рушійну силу, частин добрив по поверхні робочого органу, визначали за допомогою

лабораторної установки, розробленої на кафедрі сільськогосподарських машин

(приклад, рис. 12)

Кут природного укосу визначали за допомогою спеціальної скриньки розмірами 370×200×200 мм. У дніщі ящика влаштований проріз (125×200 мм),

що перекривається засувкою. Ящик встановлювали горизонтально і

заповнювали добривом до певного рівня, а потім висували засувку, і матеріал

висипався через проріз на горизонтальну поверхню, утворюючи конус з кутом природного укосу α° . Добрива, що залишилися в ящику, розташовуються під

кутом обвалення $\alpha^\circ \text{обр}$. Це дозволяє в тому самому досвіді визначити два

показники: α° і $\alpha^\circ \text{обр}$. Кут обвалення та кут природного укосу вимірюють за

допомогою кутоміра. Повторність дослідів триразова.

Для визначення опору добрив зрушенню нами було виготовлено установку. Вона складається з верхньої рухомої рамки, що переміщається на

роликах по напрямних, троса, нижньої нерухомої рамки, притискної коробки і вантажів (приклад. рис. 6).

Для проведення досвіду між напрямними нижньої рамки насипали шар добрива, який вирівнювали лише на рівні верхньої кромки рамки. На направляючі встановлювали верхню рамку, яку також заповнювали добривом; поверхню вирівнювали і встановлювали на неї притискну коробку з набором вантажів. Переміщення верхньої рамки здійснюють вручну за допомогою троса з пружинним динамометром. Прикладена до троса сила здійснює зсув по площині. Зусилля T , що зсуває, відраховують на шкалі динамометра. Воно залежить від нормального навантаження на добрива, тому опір добрива зсуву визначали при трьох різних тисках.

За отриманим значенням зсувної сили T , що викликає ковзання туку, визначали величину дотичної напруги τ , як приватне від поділу зсувної сили на площу зрізу, тобто:

$$\tau = \frac{T_{зд}}{F_p} \quad (3.14)$$

де $T_{зд}$ – зусилля на зсув, зареєстровану динамометром, кг;

F_p – площа рамки, см²,

а також нормальна напруга

$$\sigma = \frac{Q_B}{F_p} \quad (3.15)$$

Кожен вид добрив при заданому навантаженні випробували у трьох повторностях. Середньоарифметичне значення τ приймають за основний показник опору зсуву.

Коефіцієнт парусності, що характеризує аеродинамічні властивості частинок туків, визначали за формулою:

$$K_n = \frac{g}{V_{кр}^2} \quad (3.16)$$

Критичну швидкість частинок добрив визначали на вітряльному класифікаторі. За вимірюванням на класифікаторі динамічному тиску встановили швидкість повітряного потоку.

Основні фізико-механічні властивості добрив, які були використані для проведення дослідів, представлені у табл. 3.3.

Аналізуючи одержані дані табл. 3.3 можна відзначити, що значення критичної швидкості $V_{кр}$ і коефіцієнта парусності $K_{п}$ змінюється в широких межах. Ці показники меншою мірою залежать від виду добрив, а більше від розмірів частинок туків.

У зв'язку з порівняно великим інтервалом значень коефіцієнта парусності рівномірність розподілу частинок добрив відцентровим робочим органом буде різною.

Таблиця 3.3

Добриво	Вологість %	Объем на маса, т/м ³	Коеф. тертя	кут, град		Склад добрив по фракціях % до ваги наважки								Коеф. критична кількість парусності					Критична швидкість м/с				
				Природність ухилена	Обруше	>7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	Розміри частинок, мм									
														0-1	1-2	2-3	3-5	>5	0-1	1-2	2-3	3-5	>5
1. Комбінування	4,3	1,05	0,53	29	55		4,2	10,3	8,8	10,5	14,5	14,2	33,9		0,43	0,3	0,19		3,4	7,1	9,4	10,2	13,5
2. Аміачна селітра	1,3	0,8	0,6	42	70		1,4	6,9	60,8	23,1	7,8				0,72	0,27	0,16			7,1	8,7	10,4	
3. Суперфосфат	4,0	1,14	0,5	33	37	0,1	0,3	19,1	49,0	10,6	18,2	2,5	0,2	6,2	0,6	2,7	0,17	0,12	4,9	8,0	9,7	11,6	13,7
4. Хлористий калій	2,2	0,9	0,5	50	78	1,6	3,8	6,1	4,0	0,9	5,5	50,7	27,4	5,7	0,7	0,25	0,17	0,09	3,3	6,8	9,3	10,6	14,8
5. Повнокомплектна суміш NPK	6,0	1,0	0,6	42	54	0,4	1,9	38,1	30,0	20,0	5,2	2,8	1,6	0,1	1,2	0,2	0,14	0,1	3,9	7,8	9,6	12,0	14,9
6. Вапняна мука	18,0	0,91	0,71	38	65	0,9	1,3	8,6	12,9	25,7	24,0	22,4	4,2										

У зв'язку з цим необхідно пред'явити більш суворі вимоги до гранулометричного складу мінеральних добрив, щоб коефіцієнт парусності туків мав невеликі відхилення, що сприяло б поліпшенню рівномірності поверхневого внесення добрив

3.4 Нерівномірність розподілу добрив по ширині захвату агрегату

Якісний розподіл добрив по поверхні ґрунту відцентровим робочим органом забезпечується в основному правильним регулюванням і встановленням ширини розкидання з урахуванням виду і гранулометричного складу туків. Але оскільки партії різних видів мінеральних добрив відрізняються своїми властивостями і, зокрема, гранулометричним складом,

тому заздалегідь неможливо визначити оптимальну робочу ширину захоплення машини. Для отримання нерівномірності розподілу добрив у межах допустимої величини ($\pm 25\%$) рекомендуються наступні відстані між суміжними проходами агрегату.

При внесенні нітромафоски і суперфосфату у великих гранулах - 12м, а аміачної селітри в гранулах розміром 1-2мм - 8м, дрібнокристалічного хлористого калію - 5-6 м. Частинки, маючи неоднаковий гранулометричний розмір, вже при розгоні робочим органом. Потім при вільному польоті швидкість їхнього руху залежить від коефіцієнта парусності. З цих причин частки відлітають на різні відстані: зазвичай великі далі, а дрібні ближче до центру проходу машини. Це особливо помітно проявляється при внесенні тукосумішей.

Нами проведені дослідження щодо визначення нерівномірності розподілу добрив по ширині захоплення агрегату при внесенні їх експериментальним і серійним розкидачем. Дослідження проводилися на розсіві нітромафоски та гранульованого суперфосфату, хлористого калію, їх суміші та вапняного борошна. Розподіл нітромафоски за шириною захоплення експериментальним і серійним розкидачем показано на рис.4.1. Як видно з рис.4.1, характер розподілу добрив по ширині захвату у серійного розкидача дуже близький до нормального розподілу. У середній частині смуги розсіву туків значно більше, ніж з обох боків. Це призводить до великої нерівномірності розсіву, що знижує ефективність використання мінеральних добрив. Експериментальний відцентровий апарат різко змінив характер розподілу добрив за шириною захвату. Це досягнуто за рахунок перерозподілу добрив із середньої частини смуги до країв та збільшення ширини розкидання.

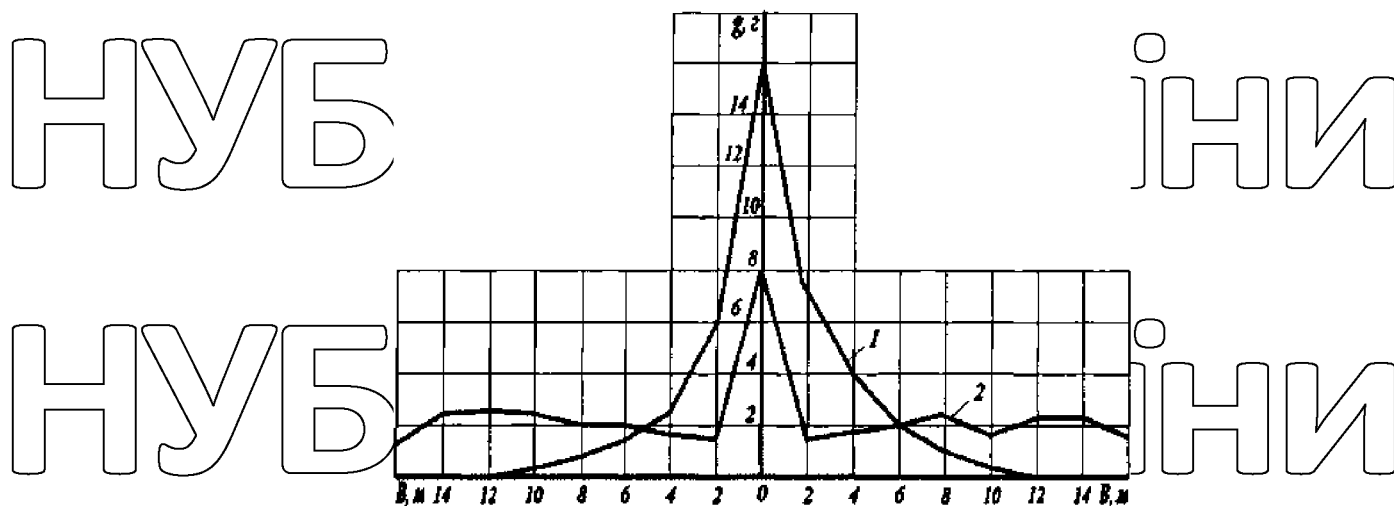


Рис. 3.1 - Характер розподілу нітромофоски за шириною захвату:

1 - серійним; 2 - експериментальним розкидачем

Таким чином, експериментальний робочий орган дозволив

збільшити ширину захвату з 10 до 16 м і зменшити нерівномірність розподілу

туків загальною шириною захвату з 60,0 до 30,0%. Збільшення перекриття

суміжних проходів як для серійного так і експериментального розкидача

покращує рівномірність розподілу добрив.

Перекриття суміжних проходів для експериментальної установки

наполовину або більше загальної ширини захоплення дозволяє забезпечити

рівномірність розподілу до $\pm 15\%$. Дослідження показали, що збільшення

робочої швидкості з 1,5 м/с до 2,0 м/с на ширині захвату 10 м призводить до

погіршення рівномірності розподілу добрив поверхнею поля. Подальше

збільшення робочої швидкості до 3 м/с призводить до поліпшення рівномірності

розподілу добрив. Така залежність характерна як для серійного розкидача, так

експериментального розкидача.

Вплив якості внесення добрив на врожайність сільськогосподарських культур визначали на дерновоподolistому ґрунті КФГ Дубенського та

Лямбірського районів, що підтверджується актами про впровадження розробок у

цих господарствах. Нітроамофоску в кількості 200 кг/га вносили при трьох рівнях

нерівномірності: сівалкою зернотуковою СЗ-3,6, серійним розкидачем МВУ-0,5 і

експериментальною машиною, з подальшим закладенням ґрунтообробними

машинами. Нерівномірність внесення мінеральних добрив сівалкою СЗ-3,6 була - 8%, МВУ-0,5 - 30%, а експериментальною машиною $\pm 18\%$. Урожайність ячменю становила відповідно після внесення добрив сівалки СЗ - 3,6 - 26,6 ц/га, МВУ-0,5 - 21,5 ц/га, та експериментальною машиною 25,0 ц/га, тобто. рівномірний розподіл добрив сприяв збільшенню врожайності. У місцях внесення добрив розкидачем МВУ-0,5 були смуги полегшеного ячменю шириною 3-6 м. При внесенні добрив зерново-трав'яною сівалкою та експериментальною машиною вилягання було відсутнє.

Вплив нерівномірності розподілу мінеральних добрив по поверхні ґрунту серійним розкидачем МВУ-0,5 та експериментальною машиною на врожай сільськогосподарських культур визначався на підживленні багаторічних трав. При підживленні багаторічних трав аміачною селітрою з нормою внесення 150-200 кг/га експериментальною машиною з робочою шириною захоплення 18 м і нерівномірністю розподілу $\pm 15\%$ досягнуто підвищення врожайності зеленої маси на 20% вище порівняно з ділянкою, здійснювалася розкидачем МВУ-0,5 з нерівномірністю $\pm 30\%$ на робочій ширині захвату 12 м.

Нерівномірне дозрівання хлібів, більш пізня готовність полів до збирання, зниження продуктивності збиральних машин, збільшення термінів збирання, самоосипання зерна, втрати при збиранні через неприбрані колосків і не зрізаних стебел - такі наслідки нерівномірного внесення добрив. Причому ці наслідки особливо виявляються в роки з великою кількістю опадів. Результати досліджень наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вплив нерівномірності внесення добрив на врожайність сільськогосподарських культур

№	Агрегат	Культура	Нерівномірність, %	Урожайність, ц/га
1	Сівалка СЗ-3,6	Ячмінь	8%	26,6
2	МВУ-0,5	Ячмінь	30%	21,5
3	Експериментальне знання	Ячмінь	18%	25,0
Подкормка многолетних трав аммиачной селитрой				
1	МВУ-0,5	Багаторічні трави	30%	Урожайність при підживленні експериментальним розкидачем вище на 20% у порівнянні серійним МВУ-0,5.
2	Експериментальне знання	Багаторічні трави	15%	

3.5 Математичні моделі технологічного процесу

розподілу добрив та вапна по поверхні поля

З урахуванням проведених теоретичних та експериментальних досліджень, було встановлено, що на якість розподілу мінеральних добрив та вапняних матеріалів відцентровим апаратом найбільший вплив мають такі фактори як: фізико-механічні властивості, робоча швидкість, норма внесення та ширина захоплення. Для повного визначення працездатності запропонованого робочого органу проведено дослідження його на експериментальній установці в польових умовах.

Для оцінки впливу вищевказаних факторів на технологічний процес поверхневого розподілу мінеральних добрив і вапняних матеріалів, а також встановлення оптимальних режимів роботи експериментального агрегату нами проведені досліді за схемою ортогонального планування другого порядку .

Результати дослідів дозволили отримати залежність від нерівномірності розподілу різних видів мінеральних добрив і вапняних матеріалів від вищевказаних факторів.

Для отримання математичної моделі нерівномірності розподілу добрив і вапняних матеріалів досліді проводили за планом, поданим у додатку .

Відповідно до цього плану для експериментальної установки задавали необхідні варіанти рівнів факторів, що вивчаються . Для зменшення помилки план було реалізовано у триразовій повторності. Обробку результатів експерименту вели відповідно до методики проведення дослідів. Результати дослідів щодо дослідження поверхневого розподілу мінеральних добрив і вапняних матеріалів представлені в додатках, а графіки нерівномірності розподілу на рис. 4.2.

З графіка 4.2 випливає, що якість розподілу гранульованого суперфосфату по ширині захоплення експериментальним розкидувачем у всіх проведених дослідіх висока і нерівномірність внесення нижче технічно допустимої норми. На ширині захоплення агрегату за зміни швидкості руху від 1,5 до 3,0 м/с і норми внесення гранульованого суперфосфату від 200 до 500 кг/га нерівномірність становила 17-20 %.

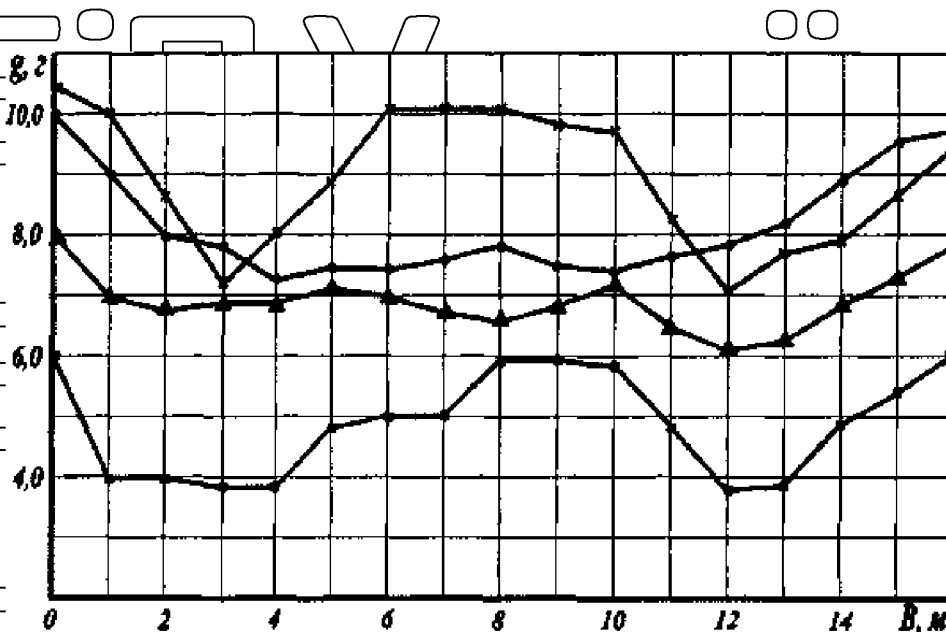


Рис.3.2 - Залежність розподілу мінеральних добрив і повнокомпонентної суміші туків по ширині захоплення агрегату

• - гранульованого суперфосфату; ▸ – аміачної селітри;

□ – кристалічного хлористого калію; x - повнокомпонентної суміші

Аналіз отриманих результатів показує, що якість поверхневого розподілу аміачної селітри за шириною захоплення у всіх дослідах значно вища, ніж допускається агротехнічними вимогами. На ширині захвату 15 м, при зміні швидкості руху від 1,5 до 3 м/с та норми внесення аміачної селітри від 300 до 600 кг/га нерівномірність розподілу становила 10 – 15%. Поліпшенню показників технологічного процесу поверхневого внесення аміачної селітри сприяє більш вирівняний гранулометричний склад у порівнянні з гранульованим суперфосфатом.

Досліди показали, що на ширині захвату 15 м при зміні швидкості руху агрегату від 1,5 до 3,0 м/с і норми внесення калію хлористого від 160 - 260 кг/га нерівномірність розподілу становить 13 - 15%. Можна відзначити, що розподіл добрив по ширині захвату в основному рівний, з деякою концентрацією в середині проходу агрегату.

Аналізуючи отримані результати при внесенні суміші добрив, можна відзначити, що на ширині захвату 15 м при зміні швидкості руху агрегату від 1,5 до 3,0 м/с і норми внесення в межах 500 - 700 кг/га показник нерівномірності знаходиться в межах 15,0 – 18,0%. Показник нерівномірності розподілу компонентів суміші на цій ширині захвату змінюється у ширших межах.

Порівнюючи отримані результати з даними на розсіві окремо кожного компонента, можна помітити, що якість внесення суміші мінеральних добрив і розподілу її компонентів за шириною захоплення агрегату цілком задовольняє агротехнічним вимогам.

Досвідами встановлено, що ширина захоплення розкидачау значно впливає на якість розподілу вапняного борошна (рис.3.3). Так, на ширині захоплення 8 м при зміні швидкості руху агрегату від 1,5 до 3,0 м/с і норми внесення в межах 1200 - 3000 кг/га показник нерівномірності становив 12,0 - 14,0%, тоді як на ширині захоплення 12 м він був у межах 30 - 35 %. Якщо врахувати, що серійні розкидачі на робочій ширині захоплення 7 м розподіляють вапняні матеріали з нерівномірністю – 30%, то експериментальна установка на цій ширині захоплення забезпечує якість внесення майже в 2,5 рази вище.

Таким чином, дослідження показали, наведені вище фактори впливають на технологічний процес поверхневого внесення мінеральних добрив і вапна. Подальша обробка результатів дозволила встановити ступінь впливу факторів на цей процес. Обробку

результатів досліджень проводили в наступній послідовності: визначали коефіцієнти регресії рівняння математичної моделі, проводили статистичний аналіз результатів експерименту та інтерпретацію рівнів регресії.

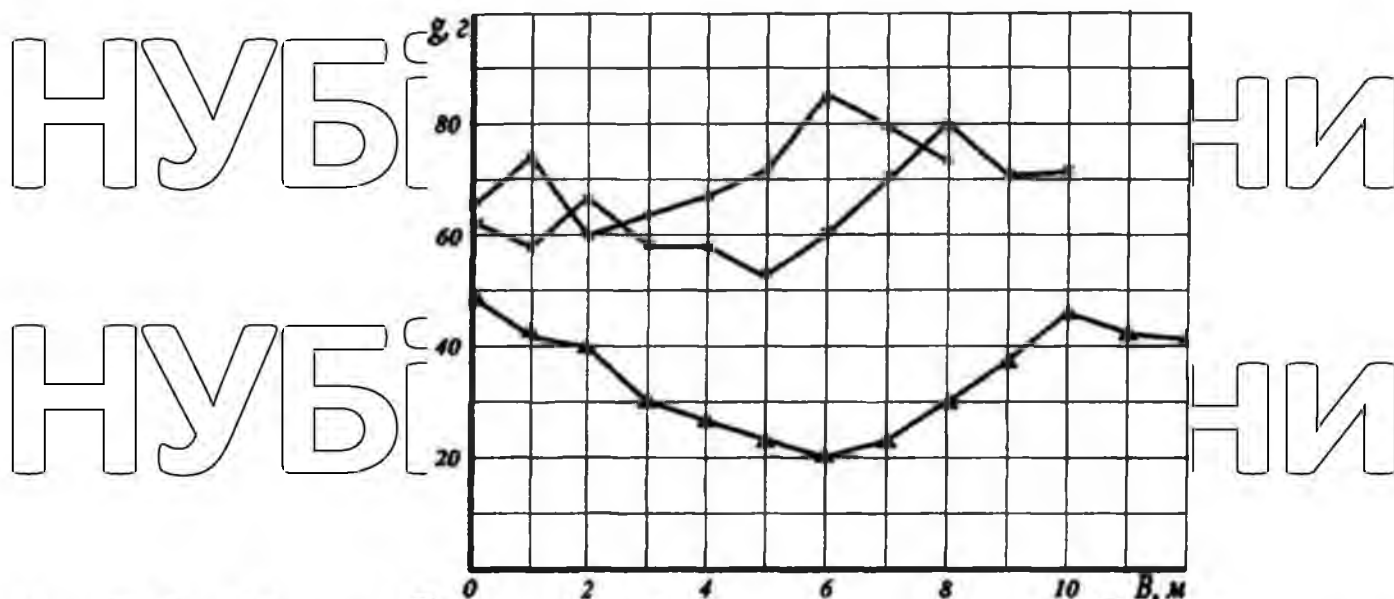


Рис. 5.3 - Залежність розподілу ванняного борошна від ширини захвату агрегату:

• – на ширині 8 м; ▴ – на ширині 12 м; x – на ширині 10 м

Статистичний аналіз результатів проводили з метою перевірки відтворюваності експериментів, визначення статистичної значущості коефіцієнтів регресії та оцінки адекватності отриманої математичної моделі.

Коефіцієнти регресії визначали шляхом найменших квадратів. Відтворюваність, тобто гіпотезу рівності дисперсії вихідної величини перевіряли за критерієм Кохрена. Порівнюючи отримане значення G_{max} з табличним $G_{таб}$, прийнятим при числі ступенів свободи $\sqrt{1b} = 2$ і $\sqrt{2b} = 15$ і рівні значущості $q = 5\%$, робимо висновок, що гіпотеза про однорідність дисперсій достовірна.

Перевірка гіпотези про значущість коефіцієнтів регресії була проведена за допомогою t-критерію Стьюдента, який порівнює абсолютну величину коефіцієнта регресії з помилкою визначення. Якщо розрахункове значення критерію Стьюдента $t_i > t_{таб}$, то гіпотеза про статистичної значимості коефіцієнтів приймається. В іншому випадку гіпотеза відкидається, коефіцієнти приймаються рівними нулю, і в остаточний вид моделі не включаються. У зв'язку з цим, а також з огляду на те, що ортогональне планування дозволяє

визначити всі коефіцієнти незалежно один від одного, незначний коефіцієнт відкидаємо без перерахунку інших.

Математична модель нерівномірності розподілу гранульованого суперфосфату по поверхні поля описується рівнянням регресії виду:

$$y = 17,386 - 2,2374x_2 - 0,8858x_3 - 1,5625x_2x_3 - 2,6682x_1^2 - 1,1784x_2^2 + 1,5332x_3^2 \quad (3.17)$$

За рівнянням (3.17) розраховуємо значення нерівномірності розподілу туків в експериментальних точках y_g і знаходимо дисперсію адекватності, що характеризує розсіювання результатів експерименту поблизу апроксимуючої кривої, вираженої рівнянням зв'язку (3.17). Порівнюючи нерівномірність, отриману експериментально і за рівнянням (3.17), можна відзначити, що розбіжності значень показника нерівномірності розподілу туків незначні і знаходяться в межах припустимої помилки вимірювань.

Далі, за F-критерієм Фішера, проводимо перевірку гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі. Модель адекватна, якщо за

заданому рівні значимості $q=5\%$ для ступенів свободи $\sqrt{lag} = N-k-1 = 7$ і $\sqrt{2lag} = N\{m-1\} = 30$ маємо $F_{рас} < F_{таб}$. Результати обробки експериментальних даних представлені у додатку.

Таким чином, за результатами дослідження 15 точок факторного простору $\{V_m, Q, V_p\}$, знайдено незалежні коефіцієнти апроксимуючого полінома (3.17), адекватно описує показник нерівномірності поверхневого розподілу гранульованого суперфосфату експериментальним агрегатом у широкому діапазоні зміни незалежних змінних V_m, Q, V_p .

Так як для практичних розрахунків та інтерпретації отриманих результатів рівняння (3.17) у закодованому вигляді є незручним, то за допомогою ПК проведено його розкодування. У розкодованому вигляді рівняння (3.17) можна записати:

$$H = 39,7762 + 3,8528V_M - 0,00771Q - 3,36804B_p - 0,1723V_M^2 - 0,00021V_M Q - 0,01064V_M B_p - 0,00005Q^2 + 0,00195QB_p + 0,06051B_p^2 \quad (3.18)$$

Рівняння (3.18) досить точно описує показник нерівномірності розподілу добрив експериментальною установкою, так як множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,956$.

При внесенні гранульованого суперфосфату з нерівномірністю $\pm 15\%$, з найвищою продуктивністю процесу, використовуючи рівняння (3.17 та 3.18) на ПК за методом перебору точок встановлені наступні оптимальні значення факторів: при нормі внесення $Q = 500$ кг/га швидкість руху $V_M = 12$ км/год, робоча ширина захвату $B_p = 18$ м.

За результатами досліджень побудовано графік залежності нерівномірності внесення гранульованого суперфосфату від ширини захвату та швидкості руху агрегату (рис. 3.18).

Таким чином, експериментальний розкидач забезпечує поверхневий розподіл гранульованого суперфосфату з нерівномірністю до $\pm 15\%$.

Для отримання математичної моделі технологічного процесу поверхневого внесення аміачної селітри досліди проводили за планом, представленим у додатку. Відповідно до цього плану для експериментальної установки задавали необхідні варіанти рівнів факторів, що вивчаються. Умови самі, що у першому випадку. Встановлено, що математична модель поверхневого внесення аміачної селітри в ґрунт може бути описана рівнянням регресії виду:

$$Y = 13,7466 + 1,5159x_1 - 1,013x_2 + 0,3835x_3 + 0,7755x_1x_2 - 0,9x_1x_3 - 0,525x_2x_3 - 1,3048x_1^2 - 2,4903x_2^2 - 2,8627x_3^2 \quad (3.19)$$

Перевірку адекватності рівняння (3.19) експериментальними даними перевіряли за F-критерієм Фішера при рівні значущості $q = 5\%$ та ступеня свободи

$$\sqrt{lag} = N-d = 4 \text{ і } \sqrt{2lag} = 30. \text{ Маємо } F_{\text{рас}} = 0,5786 < F_{\text{таб}} = 2,69.$$

Аналіз рівняння (3.19) показав, що нерівномірність розподілу може бути знижена рахунок збільшення норми внесення. Збільшення швидкості руху та

робочої ширини захоплення призводить до збільшення показника нерівномірності розподілу.

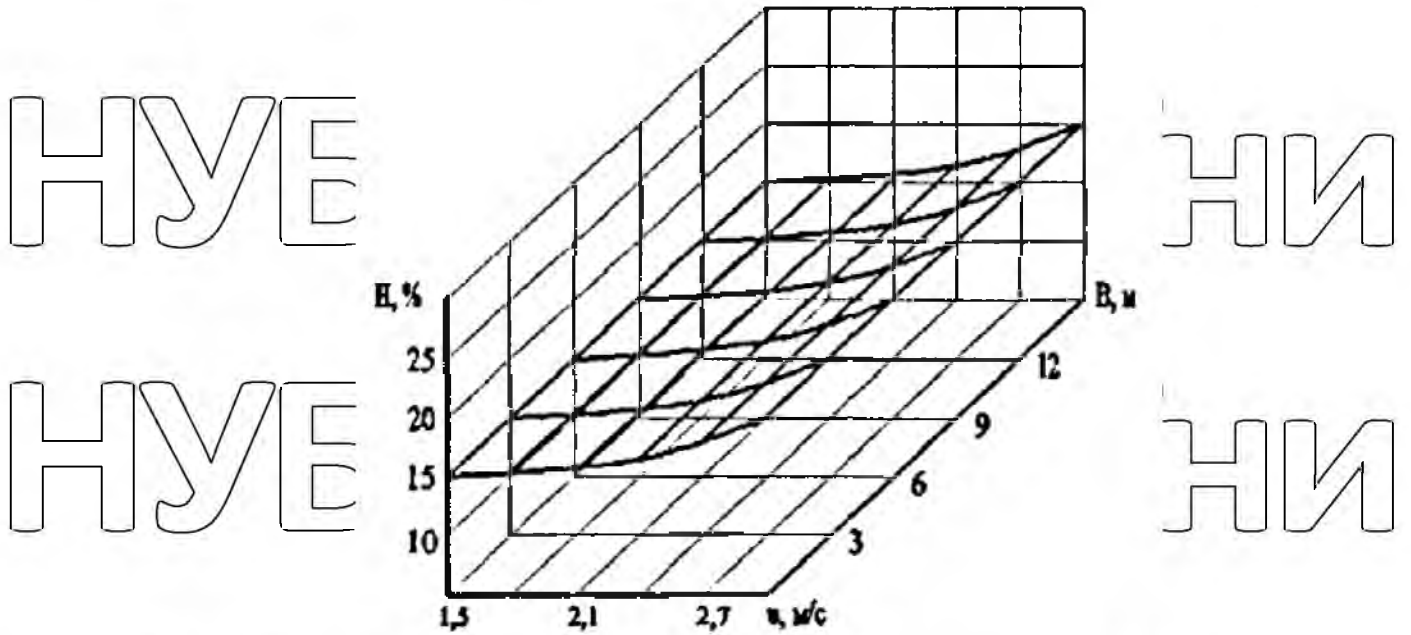


Рис. 3.4. Залежність нерівномірності внесення гранульованого суперфосфату від ширини захвату і швидкості руху агрегату

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Для визначення економічної ефективності експериментального розкидача, обладнаного відцентровим робочим органом запропонованої форми, нами використано методи економічної оцінки ГОСТ 23728-00, ГОСТ 23730-00. Для розрахунку техніко-економічних показників використовувалися нормативні та літературні джерела.

Критерієм економічної ефективності машини є економічний ефект, який сумарно визначається різницею за порівнюваними варіантами машин наведених витрат на виконання річного обсягу робіт, кількості та якості сільськогосподарської продукції, трудових ресурсів, від покращення технічних параметрів і соціальних чинників. За базу для порівняння ми брали показники заміної машини МВУ-0.5.

Вихідними даними для розрахунку були результати роботи розкидачів при підживленні багаторічних трав та нормативні дані (таб.4.1).

Наведені витрати на одиницю напрацювання (Π) у гривнях визначають за формулою:

$$\Pi = I + KE \quad (4.1)$$

де I - прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання, грн;

K - капітальні вкладення на одиницю напрацювання, грн.

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання в гривнях визначаються за формулою:

$$I = Z + \Gamma + P + A + \Phi \quad (4.2)$$

де Z - Витрати оплати праці обслуговуючого персоналу, грн;

Γ - витрати на пально-мастильні матеріали, грн;

P - витрати на технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, грн;

A - витрати на реновацію, грн;

Φ - інші прямі витрати, грн.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності розкидачів

Показники	Одиниця.	Эталон МВУ- 0,5	Випробовує МО
Маса	кг.	220	230
Ціна	грн.	20000	21000
Продуктивність за годину часу	га.	5,6	7,2
Річне навантаження	год	450	450
Річне напрацювання	га	2520	3240
Кількість обслуговуючого персоналу	чол	1	1
Тарифна ставка трактор V-розряду	грн	7,7	7,7
Норма відрахувань на ремонт	%	18	18
Норма амортизаційних відрахувань	%	20	20
Агрегується з тракторами	клас	1,4	1,4

Витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн.

$$Z = \frac{1}{W_{cm}} \sum_{j=1}^n P_j \cdot \tau \cdot k_d \quad (4.3)$$

де W_{cm} - продуктивність агрегату або робітника за 1годину змінного часу, га/год;

τ_j - годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу з j-розряду, грн/чол-ч;

k_d - коефіцієнт, що враховує доплати з розрахунку за продукцію, премій, класність із соціального страхування.

L_j – кількість j -го виробничого персоналу, чол.

Витрати на пально-мастильні матеріали в гривнях на одиницю виробництва визначаються за формулою:

$$\Gamma = gЦ \quad (4.4)$$

де g - витрата паливно-мастильних матеріалів, кВт год;

$Ц$ – ціна 1кг палива, грн/кг.

Витрати технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт визначаються за нормативними відрахуваннями від балансової ціни машини.

Балансова вартість машини визначається шляхом множення оптової ціни коефіцієнт 1,1.

$$B_M = C_{opt} \cdot 1,1 \quad (4.5)$$

де C_{opt} – оптова ціна машини в грн.

Витрати на ТО, поточний та капітальний ремонт за нормативами відрахувань від балансової ціни машини визначаються за формулою:

$$P = \frac{B_M(r_y + r_k)}{W_{ek} \cdot T_q} \quad (4.6)$$

де B_M – балансова ціна машини, руб;

W_{ek} – продуктивність агрегату за 1г. експлуатаційного часу;

r_y - коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та ТО;

r_k – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

T_q - нормативне річне завантаження, год.

Витрати на реновацію машини в гривнях визначаються за такою формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{ek} \cdot T_3} \quad (4.7)$$

де a - коефіцієнт відрахувань на реновацію машини.

Інші прямі витрати:

$$\Phi = \sum h_i \cdot C_{mi} \quad (4.8)$$

де h_i - Питома витрата i -виду матеріалу;

C_{mi} - оптова ціна одиниці i -го виду матеріалу, що витрачається, грн.

Капітальні вкладення по машині:

Витрати праці в чол.-ч на одиницю напрацювання під час виконання машиною визначають за такою формулою:

$$K = \frac{B}{W_{ек} \cdot T_з} \quad (4.9)$$

$$Z_T = \frac{L}{W_{см}} \quad (4.10)$$

де L – кількість виробничого персоналу, чол.
Зональне річне напрацювання нової машини визначають за формулою:

$$B_з = W_{ек} \cdot T_з \quad (4.11)$$

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини в гривнях визначають за такою формулою:

$$E_T = B_з (П_б - П_н + E) \quad (4.12)$$

де $П_б, П_н$ – наведені витрати на одиницю напрацювання за базовою та новою машинами, грн.

E – економічний ефект від вивільнення робочої сили, якості продукції;

$B_з$ – річне напрацювання нової машини в умовах даної природно-кліматичної зони.

Річний економічний ефект від виробництва та використання за термін служби нової машини в грн. визначають за формулою:

$$E_c = \frac{E_T}{a_n + E} \quad (4.13)$$

де a_n – коефіцієнт відрахувань на реновацію новою машиною;

E – нормативний коефіцієнт ефективності нових вкладень.

Дані таблиці. 4.2 показують, що експериментальний розкидач з відцентровим робочим органом на внесенні мінеральних добрив у ґрунт поверхневим способом ефективніший у порівнянні з серійним розкидувачем типу МВУ-0,5. продуктивність першого вище в 1,5 рази, питомі витрати та витрати праці відповідно нижче 1,5-1,6 разів.

Розрахункові показники економічної ефективності по машинах, що порівнюються, представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Показники порівняльної економічної ефективності

№ п/п	Найменування показників	Одиниця вимірюв.	По машинах	
			Серійна МВУ-5	Удосконалена
1	Балансова вартість	грн.	22000	23100
2	Амортизаційні відрахування	грн/га	6,73	4,84
3	Витрати на ремонт	грн/га	5,80	3,39
4	Витрати на трактор	грн/га	13,80	8,7
5	Зарплатня тракториста	грн/га	8,50	5,30
6	Зарплатня праці	грн/га	0,17	0,13
7	Прямі експлуатаційні витрати	грн/га	34,6	22,3
8	Питомі капіталовкладення	грн/га	48,4	31,9
9	Наведені витрати	грн/га	44,3	28,7
10	Річний економічний ефект	Грн.		96100

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз засвідчив, що машини для поверхневого внесення мінеральних добрив не повній мірі задовольняють агротехнічні вимоги щодо рівномірності розподілу туків по поверхні поля. Це призводить до нерівномірного розвитку рослин і зниження врожайності сільськогосподарських культур.
2. Найперспективнішими машинами для поверхневого внесення мінеральних добрив і вапняних матеріалів є начіпні розкидачі, а найбільш прийнятним робочим органом для них залишається відцентровий робочий орган із вертикального віссю обертання.
3. Розроблено математичну модель технологічного процесу розподілу мінеральних добрив та вапняних матеріалів робочим органом відцентрового типу, що описується поліномом другого порядку.
4. Визначено та обґрунтовано раціональні конструктивні параметри відцентрового робочого органу. Діаметр диска $D=600$ мм; висота конуса $H=160$ мм; кут утворює конуса $\alpha = 36^\circ$; діаметр основи конуса $d = 300$ мм; число лопатей $z = 4$ шт; висота лопаті $a = 40$ мм (патент № 55247).
5. Встановлено, що технологічний процес поверхневого внесення мінеральних добрив виконується стійко при поступальній швидкості агрегату $V_M = 2,5-3$ м/с та кутової швидкості робочого органу $= 82,5$ с/л.
6. При даних конструктивних та кінематичних параметрах експериментального розкидача нерівномірність внесення гранульованого суперфосфату не перевищує - 21,0%, аміачної селітри - 16,2%, хлористого калію - 18,0%, складних комплексних добрив - 17,5% - 22%.
7. Польові та виробничі дослідження показали, що зниження нерівномірності внесення мінеральних добрив експериментальним відцентровим робочим органом до наведених вище значень забезпечує підвищення врожайності зеленої маси на 20%, ячменю на 4,2 ц/га.

8. Очікуваний річний ефект на один переобладнаний розкидан розробленим відцентровим робочим органом при середніх дозах внесення

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Моїсеєнко В. К. Технічні засоби нового покоління для розсіювання мінеральних добрив / В. В. Адамчук, В. К. Моїсеєнко. // Трактори та сільськогосподарські машини. – 2004. – № 2. – С. 15 – 19.
2. Адамчук В. В. Теоретичне дослідження руху частинок добрива по розсіюючому органу / В. В. Адамчук. // Трактори та сільськогосподарські машини. – 2008. – № 12. – С. 28 – 31.
3. Адлер Ю. П., Маркова Є. В. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов / Ю. П. Адлер, Є. В. Маркова. М.: Наука, 2010. 276 з.
4. Антоненко А. А., Антоненко Ф. А. Про покращення якості роботи дискових розкидачів мінеральних добрив / О. А. Антоненко, Ф. А. Антоненко. // Трактори та сільськогосподарські машини. – 2012. – № 7. – С. 28-29.
5. Актуальні питання створення машин для внесення добрив та захисту рослин // 36. наук. тр. М: ВІСХОМД988.103 з.
6. Белінський А. В. Обґрунтування параметрів комбінованої попатки відцентрового диска / А. В. Белінський. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2003 – № 1 – С. 5 – 8.
7. Бать М. І., Дженелідзе Г. Ю. Теоретична механіка в прикладах та завданнях / М. І. Бать, Г. Ю. Дженелідзе. М.: Наука, 2005. 608 з.
8. Бобровський А., Керімов А., Єрофєєв А. Способи внесення добрив і врожай / А. Бобровський, А. Керімов, А. Єрофєєв. // Землеробство – 2009. – № 12. С. 48-49.
9. Бабенко Н. В. До питання про способи внесення сухих тукоsumішей/Н. В. Бабенко // Хімія у сільському господарстві – 2013. – № 1. С. 20 – 22.
10. Василенко П. М. Теорія руху частинки по шорстких поверхнях сільськогосподарських машин / П. М. Василенко. Київ. : З-во, УАСГН, 2006. С. 244-263.
- Н. Вінтер/П. і Румплер І Який розкидач краще / П. Вінтер, І. Румплер // Нове сільське господарство. – 2008. – № 1. – С.42 – 44.

15. Войтов П. І. Ефективно використовувати мінеральні та вапняні добрива / П. І. Войтов. // Техніка сільському господарстві. – 2007. – № 4. – С. 1-3.

16. Войтов П. І. Нерівномірність внесення добрив, як її уникнути? / П. І. Войтов. // Землеробство. – 2015. – № 9. – С. 62-65.

17. Волосніков С. І., Якимов Ю. І. Розподіл суміші добрив відцентровим апаратом // С. І. Волосніков // Праці Кубанського СХІ. – 2007. Вип. 121. – С. 42-44.

18. Волосніков С. І. Дослідження процесу розсіву мінеральних добрив горизонтальним відцентровим апаратом з вітрозахисним пристроєм. Автореф. дис... канд. техн. наук, Краснодар: 2013. 23 с.

19. Вигодський М. Я. Довідник з елементарної математики / М. Я. Вигодський. М.: Наука, – 2015. 336 с.

20. Гаспарян Е. М. Визначення дальності польоту та координат точки приземлення частки при роботі конусного відцентрового диска на схилах / Е. М. Гаспарян. // Тр. Арм. НДІМЕСГ. – Єреван, 2004. Вип 12. – С. 213-218.

21. Гіліс М. Б. Раціональні способи внесення добрив / М. Б. Гіліс. М.: Колос, 2009. 240 з.

22. Горячкін В. П. Зібрання творів / В. П. Горячкін. М.: Колос, 2010. Т.2.-С. 10-11.

23. Грачов Д. Г., Бабенко Н. В. Змішані добрива / Д. Г. Грачов, Н. С. В. Бабенка. М.: Колос, 2009. – 159 с.

24. Грищенко М. Г., Серегіна Т. К. Огляд конструкцій зарубіжних машин для внесення добрив / М. Г. Грищенко, Т. К. Серегіна. // Звіт на тему 1052. М.: ВИСХОМ - 3 10 - 11.

25. Грибняк Н. Д. Планування експерименту при дослідженні стрічково-планчастого металника / Н. Д. Грибняк. // Механізація та електрифікація соціалістичного сільського господарства. – 2006 – № 9 – 3 52 – 54.

26. Губарев Є. А. до визначення дальності польоту добрив і ширини захоплення розкидачів / Є. А. Губарев. // Механізація та електрифікація

сільськогосподарського виробництва. / Зб. наук. тр. – зерноград, 2007. Вип. 26. - С. 130-136.

27. Державін Л. М. Удосконалювати агрохімічне обслуговування сільського господарства / Л. М. Державін. // Механізація та електрифікація соціалістичного сільського господарства. – 2008. – № 4. – 33 – 5.

28. Дорофєєв В. Ф., Понамарьов В. І. Проблеми вилягання пшениці та шляхи її вирішення / В. Ф. Дорофєєв, В. І. Понамарьов. // Огляд літератури ВЕДІТЕІСГ. М.: 2014. 3 с.

29. Догоновський М. Г., Козловський Є. В. Машини для внесення добрив / М. Г. Догоновський, Є. В. Козловський. М.: Машинобудування, 2012. 272 с.

30. Докучаєв А. А., Хрипун Ю. К. Про дальність польоту та розподілу частинок мінеральних добрив апаратами металевих типу при роботі на схилах / А. А.

Докучаєв, Ю. К. Хрипун. // Дослідження та конструктивні машини для тваринництва та кормовиробництва. 2005. Вип. 2.

В. 102-106.

31. Дьячков А. П. Удосконалення технології внесення меліорантів / А. П. Дьячков. // Удосконалення технологій та технічних засобів виробництва

продукції рослинництва та тваринництва: зб. наук. тр. / Вороніж: Вороніж

Держ. аграр. ун-т, 2009. – С. 133 – 138.

32. Дьячков А. П. Теоретичні дослідження технічних засобів та операційної технології внесення дефекту / А. П. Дьячков. // Вісник ВДАУ ім. К. Д. Глинки.

2007. – № 5. – С. 220 – 234.

33. Живоглод В. С., Солодухін Г. П. Результати випробувань центральних розкидальних апаратів мінеральних добрив / В. С. Живоглод, Г. П. Солодухін. //

Підвищення ефективності використання техніки у сільському господарстві, зб. наук. тр. - Гірки, 1978. Вип. 40. – С. 91 – 94.

34. Забродін В. П., Понамаренко І. Г. Оцінка якості розподілу мінеральних добрив по поверхні поля / В. П. Забродін, І. Г. Понамаренко. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2005. – № 12. – С. 12 – 14.

35. Завалішин Ф. С. Основи розрахунку механізованих процесів у рослинництві / Ф. С. Завалішин. М.: Колос, 2008. 231 с.

36. Залеський Ю. М. Дослідження широкозахватного робочого органу розкидачу мінеральних добрив / Ю. М. Залеський. : автореф. дис. ... канд. тех. наук. - Харків; 2009. 19 с.

37. Закурський Є. М. Дослідження роботи тарілчастого та відцентрового апаратів для внесення мінеральних добрив / Є. М. Закурський. // Довговічність та надійність та надійність сільськогосподарських машин. М.

Машинобудування, 2016. - С. 134 - 139.

38. Зангльов А. А. Виробнича експлуатація машинно-тракторного парку / А. А. Зангльов. М.: Колос, 2012. 320 з.

39. Ігнатенко Л. Д., Любченко А. Н., Деякі результати експериментально-теоретичного дослідження відцентрового органу, що розкидає / Л. Д. Ігнатенко, А. Н. Любченко. // Конструювання та технологія виробництва сільськогосподарських машин. Київ. : Техніка, 2004. Вип. 5. - С. 16-19.

40. Іванов Б. Н. Закони фізики / Б. Н. Іванов. М.: Вища шк. 2007. 335 с.

41. Кленін Н. І., Сакун В. А. Сільськогосподарські та меліоративні машини / Н.

І. Кленін, В. А. Сакун. М.: Колос, 2009. 670 з.

42. Козловський Є. В. Дослідження робочого процесу віроживильників та відцентрових розкидачів до машин з внесення добрив : / Є. В. Козловський : автореф. дис.... канд. техн. наук. - Пушкін, 2009. 23 с.

43. Кушилкін Б. А. Дослідження процесу висіву мінеральних добрив горизонтальним роторним апаратом: Б. А. Кушилкін: автореф. дис... канд. техн. наук. - Воронеж, 2011. 18 с.

44. Кругляков М. П. Машини для внесення добрив у ґрунт / М. П. Кругляків. М.: Маш гіз, 2016, 232 с.

45. Кійслер М. А. Дослідження кінцевого розкидаючого уст-ройства для внесення мінеральних добрив / М. А. Кійслер: автореф. дис... канд. техн. наук. - Каунас, 2018. 23 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України
ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**Розподілення гранульованого суперфосфату по ширині захвату
і по ходу агрегату**

№ про- тив- ня	Повторності									Сум- ма	Сред. по по- втор. гр.	От- клон . от сред. Δg _i
	1			2			3					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	14,9	13,5	13,2	12,0	10,0	13,0	11,5	9,0	11,0	108,1	12,0	3,0
2	12,4	11,5	11,8	11,2	8,7	10,2	10,2	9,2	9,7	93,9	10,4	3,0
3	9,6	9,2	10,0	10,5	8,1	7,5	9,4	10,2	8,6	83,1	9,2	1,8
4	8,6	8,2	9,1	8,0	8,9	8,8	8,4	8,5	8,8	77,3	8,5	1,1
5	7,5	7,9	10,4	7,8	7,6	8,5	7,7	8,8	8,0	74,2	8,2	0,8
6	7,4	7,1	3,7	7,2	7,1	8,3	7,2	7,0	7,0	62,7	6,9	0,5
7	7,1	6,8	7,2	7,0	6,8	7,1	6,6	6,6	6,0	63,0	7,0	0,4
8	6,9	6,3	6,4	6,9	6,1	6,0	6,2	6,3	6,2	57,8	6,4	1,4
9	6,7	5,5	6,3	6,3	6,4	6,0	6,4	5,9	6,8	56,9	6,2	1,2
10	6,6	5,8	6,1	5,8	5,6	6,3	6,4	6,2	5,8	54,5	6,0	1,4
11	6,8	5,8	6,7	6,1	5,6	6,0	6,4	6,2	6,2	55,0	6,1	1,3
12	6,9	5,8	6,5	6,0	6,0	6,5	6,5	6,1	6,0	56,5	6,2	1,2
13	6,8	5,9	6,3	5,8	5,8	6,1	6,3	6,0	5,9	55,3	6,1	1,3
14	6,7	5,9	6,0	6,0	5,8	6,0	6,7	5,8	6,0	54,6	6,0	1,4
15	7,2	5,8	5,9	5,8	5,9	6,1	6,8	6,3	6,0	55,2	6,1	1,3
16	7,0	5,7	6,1	6,1	5,9	5,9	6,7	6,0	5,8	56,1	6,2	1,2
17	6,8	6,2	5,8	5,9	5,9	5,9	6,7	6,0	5,8	54,7	6,0	1,4
18	7,8	6,1	6,1	5,8	5,7	5,8	6,2	6,0	5,8	55,8	6,2	1,2
19	6,7	5,8	6,3	5,8	5,9	5,7	6,3	5,8	5,9	54,2	6,0	1,4
20	6,8	5,7	6,1	5,8	5,8	5,9	6,4	6,0	6,0	54,1	6,0	1,4
21	6,9	5,7	6,3	5,7	5,6	6,1	6,3	6,2	5,9	54,8	6,0	1,4
22	6,8	5,8	6,3	5,8	5,8	5,9	6,2	5,8	6,0	54,8	6,0	1,4
23	6,9	5,5	5,7	5,7	5,8	6,1	6,0	6,3	6,2	53,7	5,9	1,5
24	6,3	5,7	6,5	6,5	6,4	5,9	6,4	6,8	6,6	55,8	6,2	1,2
25	6,7	6,1	5,8	7,5	7,7	6,0	7,3	8,0	8,0	59,6	6,6	0,8
26	8,0	7,7	7,1	9,0	8,7	7,9	9,0	9,8	8,6	71,7	7,9	0,5
27	9,2	10,2	10,8	11,1	9,1	8,2	8,5	9,6	9,1	86,0	9,5	2,1
28	8,4	8,6	11,2	8,7	7,8	12,1	10,2	10,0	11,0	84,0	9,3	1,3
29	11,7	10,3	12,6	12,2	10,1	12,8	10,2	10,0	11,0	100,8	11,2	3,8
30	15,1	12,1	14,0	15,9	12,5	13,4	12,2	10,9	12,8	118,9	13,2	5,8
Σ											223,3	48,0
Сред.											7,4	1,64

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Результати лабораторно-польових досліджень
внесення гранульованого суперфосфату

Н	Скорость движения, км/ч	Норма внесения, кг/га	Ширина захвата, м	Скорость ветра, м/с	Неравномерность распредел., σ, %	Ошибка опыта	Точность опыта
Н	6,0	300	15	2,9	21,0	0,40	5,4
Н	6,2	560	15	1,9	15,7	0,32	2,1
Н	13,0	300	15	1,7	26,5	0,37	5,0
Н	14,1	600	15	2,1	18,9	0,54	3,4
Н	9,9	440	20	2,4	20,9	0,37	3,3

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України