

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра агроінженерії і системотехніки  
імені Михайла САМОКИША

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
НА ТЕМУ:  
**«ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ  
ДОБРІВ»**

**Виконав:**

здобувач вищої освіти освітнього ступеня  
«Магістр» освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності 208  
«Агроінженерія» денної форми навчання

**Микола ШМАТА**

**Керівник:**

професор, заслужений  
працівник освіти  
України

**Анатолій РУДЬ**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_

Шкала ECTS \_\_\_\_\_

«\_\_\_» грудня 2025 р.

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_» грудня 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності  
208 «Агроінженерія», доцент

**Василь ДУГАНЕЦЬ**

## ЗМІСТ

	Стор.
ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....	5
АНОТАЦІЯ.....	7
РЕФЕРАТ.....	8
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОЗКИДАЧІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ.....	14
1.1. Аналіз стану досліджень розкидачів мінеральних добрив.....	14
1.2. Класифікація розкидачів мінеральних добрив.....	18
1.3. Аналіз досліджень розкидачів мінеральних добрив.....	27
Висновки до першого розділу.....	38
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ РОЗКИДАЧЕМ ВІДЦЕНТРОВОГО ТИПУ.....	40
2.1. Дослідження взаємодії гранул мінеральних добрив з диском.....	40
2.2. Теоретичне дослідження розкидача мінеральних добрив відцентрового типу.....	41
2.3. Дослідження польоту гранул, що сходять з лопаток.....	48
Висновки до другого розділу.....	50
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	52
3.1. Програма експериментальних досліджень розкидача мінеральних добрив відцентрового типу.....	52
3.2. Методика експериментальних досліджень.....	53
Висновки до третього розділу.....	57

4. РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ОРГАНА	
РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ .....	58
4.1. Результати лабораторних досліджень .....	58
4.2. Аналіз результатів лабораторних досліджень .....	59
4.3. Результати польових досліджень .....	61
4.4. Аналіз результатів польових досліджень .....	61
Висновки до четвертого розділу .....	66
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБГРУНТУВАННЯ	
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗКИДАЧА	
МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ .....	68
5.1. Загальні відомості .....	68
5.2. Розрахунок економічної ефективності від провадження	
у виробництво .....	68
Висновки до п'ятого розділу .....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ .....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	73
ДОДАТКИ .....	79

## ПЕРЕЛІК ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ:

1. Мета і задачі досліджень .
2. Вплив нерівномірності розподілу добрив на врожайність.
3. Класифікація розкидачів мінеральних добрив.
4. Схеми розкидачів мінеральних добрив.
5. Туковисівні апарати сівалок М-7000 і УПС-12.
6. Схема до розрахунку розкидача мінеральних добрив.
7. Конструктивно-технологічна схема розкидача мінеральних добрив.
8. Допустима швидкість удару гранул добрива по металевій поверхні.
9. Рівні варіювання першого і другого етапів дослідження.
10. Розподіл гранул залежно від висоти розташування експериментального диска над рівнем ґрунту.
11. Траєкторія руху частинок добрив, що злетіли з лопаток, встановлених під різними кутами відносно площі обертання диска.
12. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив.
13. Економічна ефективність результатів обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив відцентрового типу.
14. Загальні висновки і пропозиції.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША  
Освітній ступінь «Магістр»  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри,  
професор                      Анатолій РУДЬ  
„4”квітня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу здобувачу вищої освіти**

**ШМАТУ**  
**Миколі Володимировичу**

**Тема роботи: «ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ»**

**Керівник роботи:** професор, заслужений працівник освіти України  
РУДЬ Анатолій Володимирович

**Затверджено наказом** по Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від «4» квітня 2026 року № 355с.

**Строк подання** закінченої дипломної роботи 2 грудня 2025 року.

**Вихідні дані до роботи:**

1. Науково-технічна література, авторські свідоцтва і патенти на винаходи розкидачів мінеральних добрив та установок для їх дослідження.
2. Прототип досліджуваного розкидача мінеральних добрив.
3. Результати дослідження та випробування розкидача мінеральних добрив.

**Зміст пояснювальної записки:**

**Вступ**

1. Огляд і аналіз конструкцій розкидачів мінеральних добрив.
2. Теоретичні дослідження процесу розподілення мінеральних добрив розкидачем відцентрового типу.
3. Програма і методика експериментальних досліджень.
4. Результати і аналіз досліджень робочого органа розкидача мінеральних добрив.
5. Економічна ефективність результатів обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив.

Загальні висновки і пропозиції.

Список використаних джерел.

Додатки

## Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Мета і задачі досліджень .
2. Вплив нерівномірності розподілу добрив на врожайність.
3. Класифікація розкидачів мінеральних добрив.
4. Схеми розкидачів мінеральних добрив.
5. Туковисівні апарати сівалок М-7000 і УПС-12.
6. Схема до розрахунку розкидача мінеральних добрив.
7. Конструктивно-технологічна схема розкидача мінеральних добрив.
8. Допустима швидкість удару гранул добрива по металевій поверхні.
9. Рівні варіювання першого і другого етапів дослідження.
10. Розподіл гранул експериментальним диском.
11. Траєкторія руху частинок добрив, що злетіли з лопаток.
12. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив.
13. Економічна ефективність.
14. Загальні висновки і рекомендації.

## Консультант розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль і захист прав інтелектуальної власності	Корчак М. М., доцент	04.04.2025	04.04.2025

Дата видачі завдання 04 квітня 2025 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Строк виконання роботи	Підпис керівника
	Вступ	11.04.2025	
1	Огляд і аналіз конструкцій розкидачів мінеральних добрив.	02.05.2025	
2	Теоретичні дослідження процесу розподілення мінеральних добрив розкидачем відцентрового типу.	21.05.2025	
3	Програма і методика експериментальних досліджень.	05.06.2025	
4	Результати і аналіз досліджень робочого органа розкидача мінеральних добрив.	27.08.2025	
5	Економічна ефективність результатів обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив.	10.09.2025	
	Загальні висновки і пропозиції.	07.10.2025	
	Список використаних джерел.	12.11.2025	
	Додатки.	27.11.2025	

Здобувач вищої освіти

**Микола ШМАТА**

Керівник кваліфікаційної роботи , професор,  
заслужений працівник освіти України

**Анатолій РУДЬ**

## **АНОТАЦІЯ**

В кваліфікаційній роботі магістра Шмата М. В. представлено технічне рішення щодо результатів дослідження і обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив відцентрового типу.

Позитивний результат досягається внаслідок рівномірного розподілення мінеральних добрив в міжрядних просапних сільськогосподарських культур.

## **THE SUMMARY**

In the qualification work of the master Shmat M. V., a technical solution is presented regarding the results of the research and justification of the design and technological parameters of the centrifugal type mineral fertilizer spreader.

A positive result is achieved due to the uniform distribution of mineral fertilizers in inter-row tilled agricultural crops.

Шмата Микола Володимирович. Дослідження і обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив. Робота на здобуття вищої освіти освітнього ступеня «Магістр» освітньо-професійної програми «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія».

У роботі написаний вступ, зроблено огляд і аналіз досліджень існуючих конструкцій розкидачів мінеральних добрив вітчизняного і зарубіжного виробництва, представлено класифікацію туковисівних апаратів за принципом технологічного процесу роботи і за конструктивним оформленням, виконано теоретичні дослідження робочого органа розкидача мінеральних добрив, параметри відцентрового робочого органу туковисівного апарата, досліджено процес розподілення мінеральних добрив розкидачем відцентрового типу в лабораторних умовах і в реальних умовах виробництва та оптимізовано параметри розкидача мінеральних добрив відцентрового типу. Розрахована техніко-економічна ефективність від впровадження розкидача мінеральних добрив відцентрового типу. Написані загальні висновки і рекомендації виробництву. Складено список використаних джерел та оформлені додатки.

***Ключові слова: робочий орган, розкидач, мінеральні добрива, гранули, диск, лопатки, відцентрова сила, обґрунтування, розподілення, сівалка, продуктивність.***

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ,  
СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ**

<b>Скорочення</b>	<b>Розшифровка скорочень</b>
KPM	Кваліфікаційна робота магістра
EK	Екзаменаційна комісія
2СК-16	Сівалка комбінована
KPH-2,8	Культиватор-рослинопідживлювач
T-2	Тарілчасто-скребковий туковисівний апарат
ATД-2	Апарат тарілчасто-дисковий
V	Швидкість вильоту туків з диска, м/с.
$V_p$	Відносна швидкість, м/с
$V_e$	Переносна швидкість, м/с
A ( $F_e$ )	Робота переносної сили інерції, Дж.
$F_e$	Сила інерції, Нют.
$N_2$	Сила тертя, Нют.
У	Нерівномірність розподілу гранул
$X_1$	Частота обертання диска, $xv^{-1}$
$X_2$	Кут нахилу лопатей до площини обертання диска, градусів
$X_3$	Кут постановки ребра, градусів
МВД-900	Машина для внесення добрив
T-150К	Трактор класу 3.0
МВУ-0,5	Машина для внесення добрив
ЮМЗ-6АЛМ	Трактор класу 1.4

## ВСТУП

**Загальна характеристика кваліфікаційної роботи.** Економіка України на ринкових засадах потребує створення умов для підвищення ефективності діяльності в сільськогосподарській галузі. Проте проблема збереження родючості ґрунтів в Україні, від чого в основному залежить ефективність цієї галузі, стає з кожним роком все гострішою, оскільки за останні роки практично перестали у більшості господарств вносити органічні добрива, у зв'язку із занепадом тваринницької галузі на селі. Одним з факторів збереження родючості ґрунтів в Україні, останнім часом, є внесення мінеральних добрив. З причини високої їх вартості, частіше за все, працівники сільськогосподарських підприємств вносять їх тільки у припосівному способі (під час сівби) малими нормами, а іноді й при підживленні рослин, використовуючи для цього туковисівні апарати, якість розподілення добрив у рядку якими є недостатньою. Вітчизняними і зарубіжними агрономами доведено про значні втрати врожаю від нерівномірного внесення мінеральних добрив [1, 2, 3, 5, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 24, 25, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 47, 48, 49, 52, 53, 54].

Отже, задача полягає у тому, щоб забезпечити рівномірне розподілення мінімальних норм мінеральних добрив у рядку туковисівними апаратами.

**Актуальність теми кваліфікаційної роботи.** Виробництво продукції рослинництва спрямоване на забезпечення населення біологічно повноцінною продукцією для харчування, лікування та використання в різних галузях господарського комплексу, виходячи з точки зору економічної доцільності та охорони навколишнього середовища. В Україні домінують напрямки землеробства з використанням хімічних препаратів. Пов'язано це з багатьма факторами, але визначальним є те, що за розрахунками, через нестачу певних хімічних елементів у ґрунті, через хвороби рослин, наявність бур'янів і шкідників втрачається більше третини можливого врожаю. Для забезпечення належного рівня поживних речовин у ґрунті необхідно вносити мінеральні добрива. Витрати агрохімікатів у перерахунку діючої речовини на один гектар у світі зростають. Тобто існує проблема не тільки інтенсифікації процесів захисту рослин і внесення мінеральних добрив, але і пошуку нових механіко-технологічних шляхів економії

технологічного матеріалу та збереження навколишнього середовища.

Мінеральні добрива являють собою основне джерело підвищення родючості ґрунту і приблизно 75% від їх загальної кількості вносять суцільним способом. Для виконання цієї операції використовують в основному кузовні машини з робочими органами відцентрового типу. Як правило, це лопатевий диск з вертикальною віссю обертання. Основний недолік відомих конструкцій – нерівномірний розподіл добрив по поверхні поля, що призводить до збільшення екологічного навантаження на навколишнє середовище та погіршення якості вирощеної продукції. Таким чином, удосконалення робочого органу, яке може покращити процес розкидання мінеральних добрив, є актуальним.

Вирішення викладених напрямів потребує проведення подальших досліджень та розробки методів розрахунку раціональних конструкцій робочих органів, які забезпечать високі показники продуктивності та якості роботи розкидачів мінеральних добрив відцентрового типу.

**Зв'язок кваліфікаційної роботи з науковими програмами, планами, темами.** Кваліфікаційна робота виконувалась згідно пріоритетних питань кафедральної тематики кафедри сільськогосподарських машин і механізованих технологій „Обґрунтування та дослідження робочих органів розкидачів мінеральних добрив та плану науково-дослідних робіт Закладу вищої освіти «Подільський державний університет».

**Мета дослідження** – підвищення рівномірності внесення мінеральних добрив шляхом диференційної їх подачі на лопатки диска розкидача.

**Задачі дослідження:**

- виявити основні причини нерівномірності внесення мінеральних добрив існуючими засобами механізації;
- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему робочого органу з розкидачем відцентрового типу, який забезпечить диференційовану подачу добрив на поле;
- провести лабораторні дослідження щодо визначення критичної швидкості удару гранул добрив по елементах робочого органу;
- розробити науково – обґрунтовані рекомендації з вибору конструктивно-

технологічних параметрів відцентрового робочого органу машини для внесення мінеральних добрив і у виробничих умовах перевірити ефективність впровадження об'єкту.

**Об'єкт дослідження** – процес внесення мінеральних добрив відцентровим робочим органом.

**Предмет дослідження** – закономірності взаємодії елементів конструкції робочого органу розкидача відцентрового типу з гранулами мінеральних добрив та їх вплив на характер розподілу по поверхні поля.

**Методи дослідження.** Під час лабораторних досліджень використані методи фізичного моделювання, математичної статистики та теорії ймовірностей. Польові випробовування проведені за стандартними методиками випробовування сільськогосподарської техніки (ДСТУ EN ISO 14982:2018, ДСТУ ISO 25119-4:2014, ДСТУ EN ISO 16231-1:2016).

**Наукова новизна одержаних результатів:**

– дістали подальший розвиток математичні залежності, які дозволяють обґрунтувати раціональні конструктивні параметри відцентрового розкидача мінеральних добрив;

– набула подальшого розвитку теорія взаємодії гранули і лопатки диска, що дає змогу розрахувати швидкість та кут вильоту гранул при різних кутах нахилу лопатки;

– розроблено методику визначення критичної швидкості удару гранули по металевій поверхні та методику дослідження впливу повітряного потоку на процес розподілу добрив.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано і обґрунтовано вдосконалену конструкцію робочого органу розкидача мінеральних добрив та визначено його основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри.

Результати досліджень дали можливість підвищити продуктивність та якість виконання технологічного процесу внесення мінеральних добрив, підвищити техніко-економічні показники роботи.

Матеріали науково-дослідної роботи використовуються в навчальному

процесі Закладу вищої освіти «Подільський державний університет».

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи.** Основні положення кваліфікаційної роботи доповідалися на щорічних науково-практичних конференціях „Перші наукові кроки” інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет».

**Публікації.** Основний зміст і результати кваліфікаційної роботи опубліковано у наукових працях: „Робочий орган розкидача мінеральних добрив”, „Експериментальне дослідження робочого органа”.

# **1. ОГЛЯДІ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОЗКИДАЧІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

## **1.1. Аналіз стану досліджень розкидачів мінеральних добрив**

Застосування мінеральних добрив в інтенсивних технологіях обробітку сільськогосподарських культур все гостріше ставить питання підвищення їх ефективності [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 23, 25, 30].

Це диктується як економічними міркуваннями, так і проблемами охорони навколишнього середовища від забруднення. Одна з ключових задач - збільшення коефіцієнта використання живильних речовин рослинами. Це залежить, в першу чергу, від рівномірності внесення мінеральних добрив у ґрунт тому, що від нерівномірного внесення туків рослини одержують неоднакове живлення, що суттєво впливає на урожайність. Наприклад, при внесенні 80 кг/га діючої речовини азотних добрив з нерівномірністю 40-60% недобір урожаю зерна озимої пшениці складає 4,5-5%, а з нерівномірністю 60-80% - 10-11%. По даних, що наведені Осіповим І.М., по залежностях внесення добрив, які свідчать, що навіть мінімально припустима нерівномірність в 10...15% викликає зниження врожайності і ефективності використання добрив.

Вченими досліджувався вплив нерівномірності розподілу добрив на врожайність різних культур, таких як озима пшениця, цукровий буряк, ячмінь тощо. Подібні результати досліджень отримують різні країни. Так, дослідженнями, проведеними у США встановлено, що зі збільшенням нерівномірності внесення добрив втрати врожайності сільськогосподарських культур зростають (табл. 1.1). Більш того, встановлено також і те, що збільшення норми внесення мінеральних добрив може приводити до зменшення їх ефективності (рис. 1.1). У цьому плані роль технічних засобів полягає в тому, щоб точно і своєчасно донести добриво до рослини згідно з чинними агротехнічними вимогами.

Відзначимо, що під час збирання врожаю з полів вивозиться безліч рослин, а разом з ними в ґрунті втрачається азот, фосфор, калій та інші мікродобрива та хімічні елементи.

Вплив нерівномірності розподілу добрив на врожайність оброблюваних культур

Культура	Урожайність, кг/га	Нерівномірність внесення добрив, %	Втрати врожаю	
			%	кг/га
Озима пшениця	5500	15	0,6	33
		30	2,3	127
		50	6,3	347
Цукрові буряки	49000	15	0,9	441
		30	3,5	1715
		50	10,5	5145

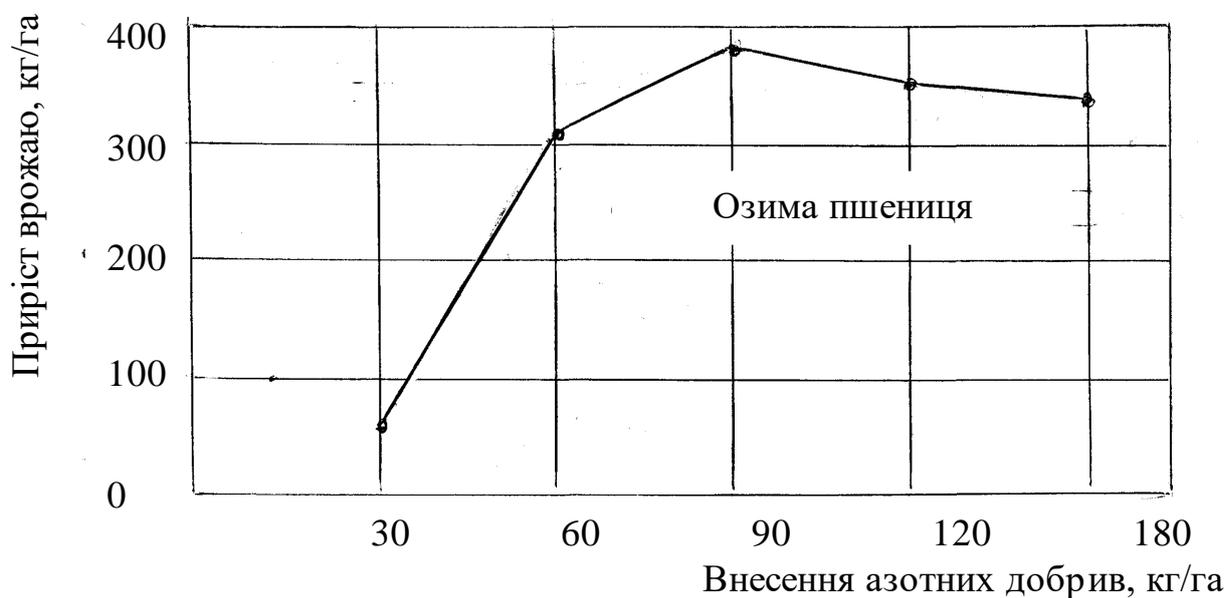


Рисунок 1.1 - Графік зміни приросту врожаю від норми внесення мінеральних добрив.

Так, при врожаї зерна пшениці 2500...3000 кг/га в ньому втримується в середньому не менш 90кг N, 30кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> та 60...75кг K<sub>2</sub>O [3] (або на 100кг (1ц) урожаю зерна виноситься з поля 3,3кг азота, 1,0кг фосфора і 2,2кг калія) і тільки незначна частка їх повертається полю у вигляді гною і залишків рослин (стерня, частинки стебел та інше). Тому ці втрати необхідно компенсувати шляхом грамотної системи внесення добрив, у тому числі і мінеральних.

Оскільки рівномірність внесення мінеральних добрив при сівбі та підживленні сільськогосподарських культур залежить від роботи туковисівних



час сівби (припосівне) і після сівби (підживлення) – різноманітними способами. Туковисівні апарати використовують в основному при припосівному способі та підживленні рослин, а саме:

- припосівним способом, коли одночасно висіваються мінеральні добрива і насіння у рядки. При цьому часто насіння (бульби) і добрива розділені невеликим прошарком ґрунту;

- підживлення рослин, коли мінеральні добрива під час вегетації рослин вносять в шар ґрунту, де знаходиться їх коріння.

Для механізації такого внесення сухих мінеральних добрив в ґрунт використовують спеціальні дозатори, що були названі туковисівними апаратами, які встановлюють на комбінованих посівних, посадочних машинах та культиваторах-рослинопідживлювачах [3, 5, 17, 19, 29, 40, 47, 51, 52, 53, 54].

Вивченням цих питань на різних етапах розвитку технології процесів роботи туковисівних апаратів займалися і займаються такі вчені як В.В. Адамчук, В.І. Александров, І.Б. Баранов, П.М. Василенко, М.Л. Кругляков, С.І. Лісовенко, І.І. Моїсеєв, А.І. Мордухович, І.В. Павловський та інші.

Випробування і дослідження машин і апаратів для висіву різноманітних туків в процесі їх роботи, давали і дають можливість впливати на розвиток і удосконалення техніки внесення добрив. В результаті таких випробувань виявляються всілякі недоліки та переваги одного типу апаратів перед іншим, що дає можливість впроваджувати у виробництво найбільш прості та працездатні апарати. Останнім часом широкого поширення набули шнекові туковисівні апарати.

Питання використання шнекових механізмів, як елементів багатомодульних систем в комплексі технологічних процесів та систем машин для механізації різних галузей сільського господарства, розглянуті в роботах Ю.Б. Авансова, В.М. Булгакова, Б.М. Гевка, І.І. Евенка, П.М. Заїки, А.В. Литвиненка, М.К. Лінника, С.Г. Нагорняка, А.М. Панченка, Р.М. Рогатинського, Г.А. Хайліса та інші.

Проте, питання забезпечення необхідної якості дозування та розподілу мінеральних добрив у рядку залишилося за рамками вищезгаданих робіт, що і обумовило вибір напряму даних досліджень.

## 1.2. Класифікація розкидачів мінеральних добрив

У тридцятих роках двадцятого століття в сільському господарстві почали поширюватися комбіновані сівалки, на яких встановлювалися спеціальні туковисівні апарати для одночасного внесення мінеральних добрив з висівом насіння. Тобто з'явилися конструкції туковисівних апаратів для комбінованих посівних та посадочних машин і культиваторів-рослинопідживлювачів з туковисівними апаратами.

На комбінованих посівних машинах до другої світової війни в Україні великого поширення набув туковисівний апарат фрезеруючої дії типу "Schleera" для забезпечення висіву навіть несипких мінеральних добрив та, так званий, баночний, тобто тарілчасто-скребачковий апарат типу СУЗ для висіву більш сипких добрив. Ці ж туковисівні апарати застосовувалися спочатку і в пізніші часи. Наприклад, апарат типу "Schleera" встановлювався на комбінованій сівалці 2СК-16, а апарат типу СУЗ – на комбінованій сівалці ССК і культиваторі-рослинопідживлювачі КРН-2,8. Саме на цих посівних машинах і машинах для догляду за посівами просапних культур сільськогосподарських культур були встановлені туковисівні апарати самих різноманітних конструкцій.

Як показує літературний огляд [1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 34, 35, 39, 43, 50, 51], у світі на протязі дев'ятнадцятого і двадцятого століть було створено різними фірмами велике різноманіття конструкцій туковисівних апаратів. На конструктивні особливості туковисівних апаратів впливали як види та якість мінеральних добрив, такі способи внесення їх у ґрунт, а також намагання забезпечення якості та надійності роботи цих туковисівних апаратів.

За принципом технологічного процесу роботи [27] туковисівні апарати можна поділити на наступні групи (рис. 1.2): ротаційно-виштовхувальні; вібраційної дії; апарати, що працюють за принципом вільного витікання; апарати, що працюють за принципом вільного внесення мінеральних добрив (туків) з бункера туковисівного апарата [8, 9, 12, 14, 17, 23, 24, 25, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 49, 50, 51].

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100





Даний вид апаратів придатний для висіву як сухих туків, так і туків підвищеної вологості.

Основними представниками цієї групи є туковисівні апарати типу "Schleera" (Німеччина) (рис. 1.5, *а*) і конструкції Слуцького (рис. 1.5, *б*).

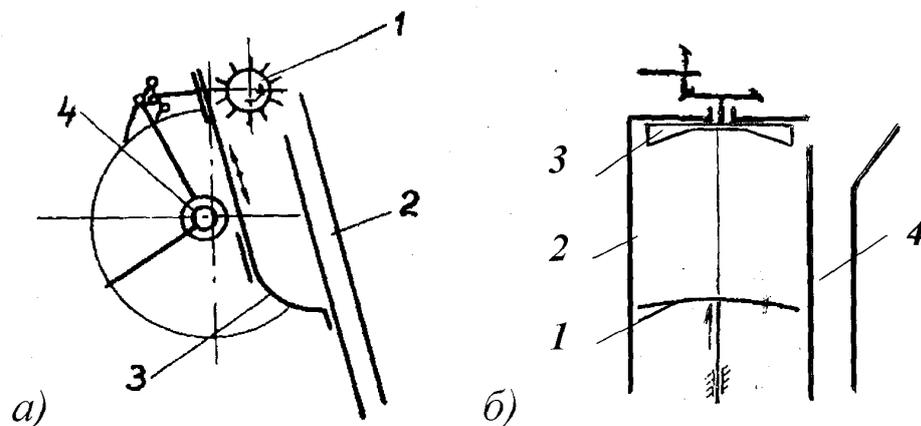


Рисунок 1.5 - Схема апарата:

*а*) типу "Schleera": 1 – планчастий барабан; 2 – тукопровід; 3 – рухомий туковий ящик; 4 – механізм приводу; *б*) конструкції Слуцького: 1 – рухоме дно; 2 – бункер; 3 – диск з крильчаткою (16 лопатей); 4 – лійка.

Проте, одним з недоліків цих апаратів є те, що під час роботи підіймається вся маса туків, що знаходиться в бункері і, тим самим, туки сильно ущільнюються за рахунок їх тертя по нерухомій стінці бункера, тому норма висіву і якість висіву цими апаратами змінюються у міру спорожнення бункера. Одним з недоліків таких апаратів є також складність конструкції.

Принцип дії туковисівних апаратів вигрібаючої дії полягає у тому, що вони своїми робочими органами вигрібають нижній шар туків з бункера.

До цієї групи можна віднести апарати з такими робочими органами:

- штифтовим барабанчиком (рис. 1.6, *а*),
- диском з пальцями (зірочкою), який буває з прямолінійними пальцями (апарат "Mc Cormick-Deering" (США) (рис. 1.6, *б*) та апарат тукової сівалки "Imperial" (США) (рис. 1.6, *в*) і з криволінійними пальцями (експериментальні апарати АТП-2 та АТЗ-2 (рис. 1.7, *а*, *б*).



*a*

Т

З

К

П

органом (рис. 1.9, *a*); стрічковий - "Iron Edge" (рис. 1.10, *б*); вібраційний апарат (рис. 1.10, *a*); тарілчасто-скребачкові - "Minneapolis-moline" (США) (рис. 1.9, *б*), "Milton", "Mc Cormick-Deering", АТС-2 конструкції Степанова (рис. 1.11, *a*); тарілчасто-дисковий - АТ-2А конструкції ВІСГОМа (рис. 1.11, *б*).

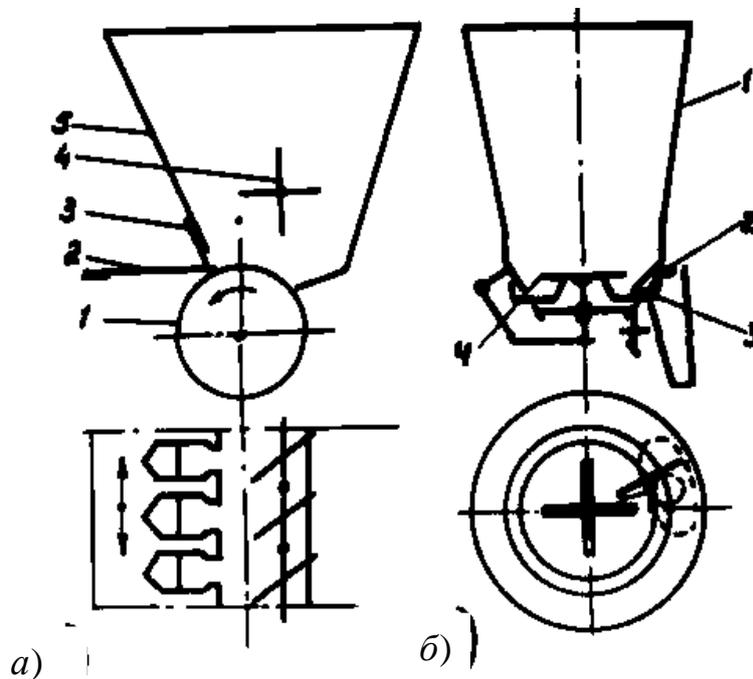


Рисунок 1.9 - Схема: *a*) апарат "Vomford": 1 – барабан; 2 – зчищаюча пила; 3 – заслінка; 4 – ворушилка; 5 – бункер; *б*) тарілчасто-скребачковий апарат фірми "Minneapolis-moline": 1 – бункер; 2 – скребачка; 3 – тарілка; 4 – ворушила.

Туковисівний апарат «Vomford» складається з: барабана 1, зчищаючого пилу 2, заслінки 3, ворушилки 4, бункера 5, а тарілчасто-скребачковий апарат фірми "Minneapolis-moline" включає: бункер 1, скребачку 2, тарілку 3 і ворушилку 4.

Принцип роботи апаратів цієї групи полягає у тому, що нижній шар туків з бункера виноситься стрічкою, тарілкою або іншими робочими органами тільки за рахунок сили тертя туків по поверхні робочого органа, що забезпечує якісне розподілення мінеральних добрив.

Основним недоліком цих апаратів є те, що вони працюють рівномірно і стійко лише під час висіву мінеральних добрив нормальної вологості (наприклад, при висіві гранульованого суперфосфату вологістю не вище 15%), що суттєво стримує використання їх у виробничих умовах.



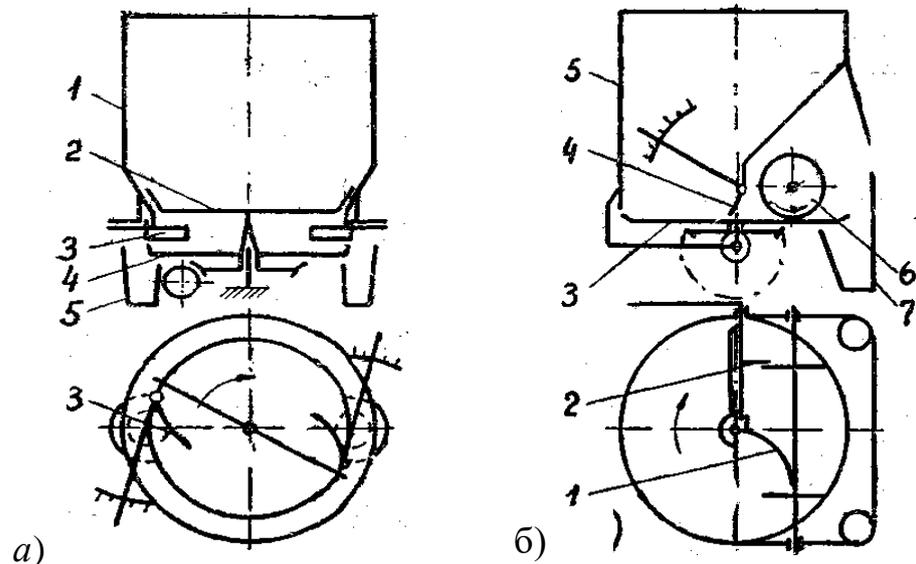


Рисунок 1.11 - Схема туковисівного апарата:

- а) АТС-2: 1 – бункер; 2 – ворушилка; 3 – скребачка; 4 – тарілка; 5 – лійка;
- б) АТ-2А: 1 – спрямувач; 2 – подільник; 3 – тарілка; 4 – заслінка; 5 – бункер; 6 – дисковий скидач; 7 – лійка.

При цьому подільник 2 ділить потік, що виходить, на два струмені, один з яких безпосередньо підходить до першого дискового скидача 6, що обертається, а другий - направляється спрямувачем 1 до другого дискового скидача, якими туки скидаються в тукопроводи.

Слід відзначити, що останні роки на вітчизняних просапних сівалках почали використовувати шнекові туковисівні апарати, в яких шнек використовується у вигляді навитої з дроту спіралі. Такі апарати працюють за принципом вигрібання туків у висівні вікна витками шнека або витками дроту, які зсовують шар туків, що лежить на днищі бункера, до його краю і далі у лійки тукопроводів.

### 1.3. Аналіз досліджень розкидачів мінеральних добрив

Метою аналізу результатів дослідження туковисівних апаратів є пошук оптимального рішення по забезпеченню якості дозуючої здатності апарата та рівномірного розподілення мінеральних добрив у борозні згідно з агротехнічними вимогами.

Туковисівний апарат (рис. 1.12) складається з встановленого у днищі



частині якого встановлені кармани 7, які поділяють загальний потік зфрезерованих туків на струмені для кожного сошника. Норма висіву регулюється зміною швидкості підйому рухомої стінки з дном бункера.

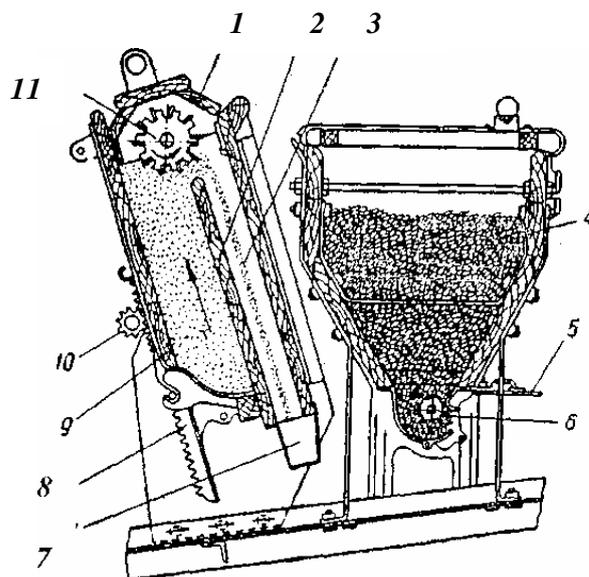


Рисунок 1.13 - Схема розташування ящиків комбінованої сівалки з барабанно-фрезеруючим туковисівним апаратом конструкції "Schleera":

1 – туковий ящик; 2 – внутрішня нерухома стінка; 3 – тукопровід;  
 4 – насінневий ящик; 5 – важіль регулятора висіву насіння; 6 – катушковий насінневисівний апарат; 7 – карман; 8 – зубчаста рейка; 9 – передня рухома стінка;  
 10 – шестерня; 11 – планчастий барабан.

О.В. Гуцаленко і В.Є. Кириченко, досліджуючи цей апарат, встановили, що хоча він і висіває туки підвищеної вологості, все ж таки ставити його на комбіновані просапні сівалки не можна. Ці висновки обґрунтовані тим, що апарат має велику зону скидання туків (по всій довжині барабана) і збирати їх в окремі тукопроводи важко, оскільки кут нахилу планок в тукопроводі, по яких стікають туки, становить менше кута природного укусу туків і відбувається пульсуюче їх обсіпання. Тому рівномірність висіву цим апаратом різко погіршується із збільшенням міжряддя (більше 450мм).

Дослідженнями тарілчастих туковисівних апаратів встановлено, що явища погіршення якості висіву із збільшенням міжряддя більше 450мм у апаратів тарілчастого типу не існує, а тому було рекомендовано для посівів з міжряддями

(

150

.....

1

1

1

2

8

2

5

1

(

(

5

(

1

(



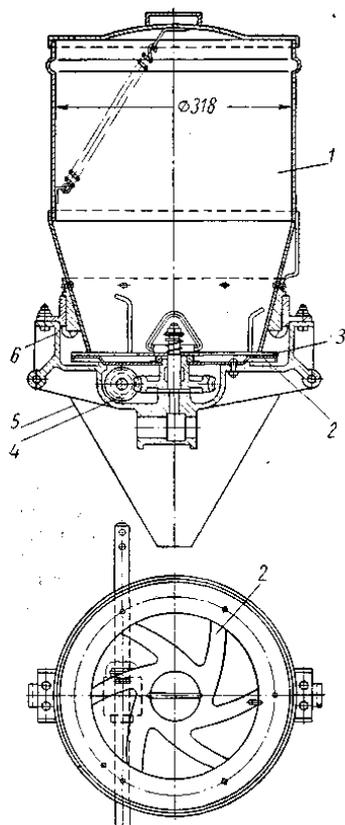


Рисунок 1.16 - Туковисівний апарат АТП-2 оригінальної конструкції:

1 – банка; 2 – нерухома тарілка; 3 – пальцевий скидач; 4 – передаточний механізм; 5 – спрямуюча лійка; 6 – кронштейн.

В.В. Адамчук відзначав, що необхідно також продовжити роботу над апаратом вигрібаючого типу конструкції М.Л. Круглякова. Він вважав, що апарати зірчастого типу можуть застосовуватися лише для висіву гранульованих добрив, а подальша робота над апаратами з робочими органами, що обертаються усередині банки, і з висівним отвором в дні апарату, не перекритим козирком, недоцільна [18, 23, 48].

Отже, на підставі широких досліджень туковисівних апаратів різних груп можна зробити такі висновки:

- а). Тарілчасті туковисівні апарати придатні для висіву гранульованих туків.
- б). Ротаційно-виштовхуючі апарати працюють значно гірше за апарати всіх інших груп.
- в). Апарати фрезеруючої дії є перспективними, необхідно шукати нові схеми апаратів цієї групи.
- г). Апарати вигрібаючої дії є більш універсальними в порівнянні з



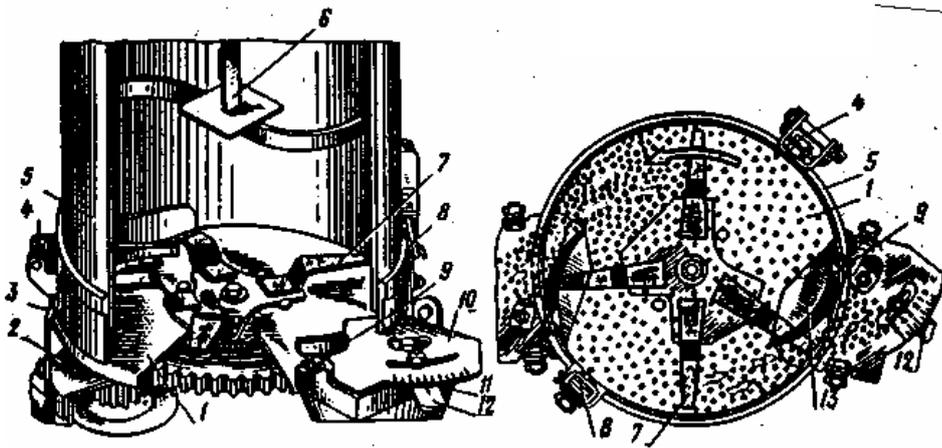


Рисунок 1.17 - Загальний вигляд апарата АТД-2 з плоскими пальцями:  
 1 – тарілка; 2 – щиток; 3 – пояс; 4 – вісь; 5 – бункер; 6 – показник рівня добрив у бункері; 7 – палець ворущилки; 8 – замок; 9 – скребачка; 10 – шкала; 11 – лійка; 12 – важіль регулятора висіву; 13 – козирок.

При обертанні тарілки 1 із закріпленими на ній на відповідній відстані від її площини пальцями ворущилки 7, нижній шар туків між пальцями та тарілкою приходить у рух разом із тарілкою. Скребачки 9, які розташовані в проміжку між тарілкою і пальцями, відокремлюють шар добрив і спрямовують його крізь висівні вікна до лійок 11 і далі до тукопроводів. Такий апарат, хоч і значно ускладненої конструкції, здатний висівати як сипкі, так і слабосипкі мінеральні добрива та їх суміші, що забезпечило виконання всіх агротехнічних вимог до туковисівних апаратів

До недоліків відносять значну металоємність, малий об'єм бункера (300дм<sup>3</sup>), незадовільну якість висіву – нерівномірність та нестійкість висіву були нижче до встановлених АТВ (8%).

Випробування нового за конструкцією туковисівного апарата сівалки М-7000 фірми "John Deere" США (рис. 1.18) виявили його перевагу над апаратами вільного виносу.

Цей апарат відноситься до вигрібаючого типу апаратів. При обертанні вала з шнеками туки виводяться з бункера крізь вікна лійок і далі у лійки та тукопроводи.





передбачено, а близьке розташування шнеків до денця бункера (зменшення технологічного зазору) може сприяти заклинюванню та подрібненню гранул туків, що необхідно практично перевірити.

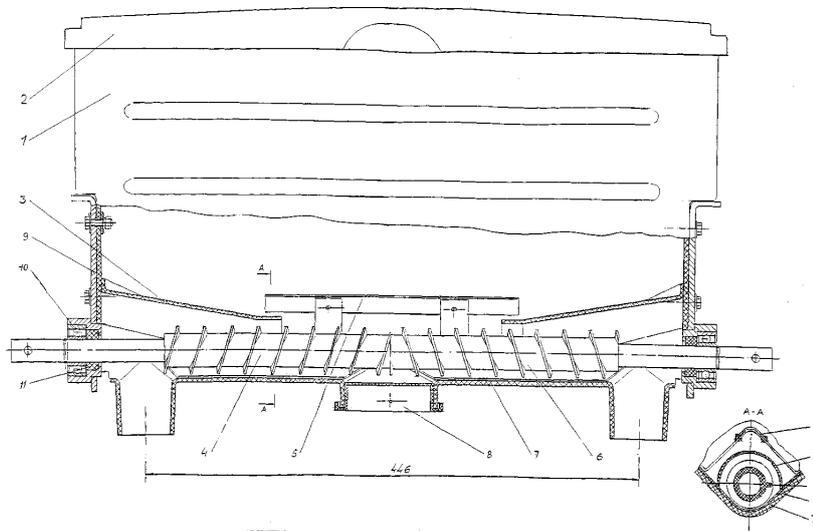


Рисунок 1.20 - Шнековий туковисівний апарат сівалки УПС-12

підприємства «ЕЛЬВОРТІ»:

- 1 – бункер; 2 – кришка бункера; 3 – кришка шнека; 4 – лівий шнек;  
 5 – козирок; 6 – правий шнек; 7 – денце; 8 – заглушка вивантажувального отвору;  
 9 – кронштейн; 10 – шарикопідшипник; 11 – манжета.

Огляд і аналіз науково-технічної літератури показав, що задача створення більш універсального апарата здатного якісно висівати різні туки, застосовуватися для малих і великих норм висіву є складною і до теперішнього часу залишається остаточно не вирішеною.

## Висновки до першого розділу

На основі проведеного огляду і аналізу досліджень розкидачів мінеральних добрив можна зробити наступні висновки:

1. Розробки конструкцій розкидачів мінеральних добрив відцентрового типу, які найбільш повно почали відповідати останнім вимогам, до комбінованих просапних сівалок та культиваторів-рослинопідживлювачів, дали можливість спростити конструкцію апарата і покращити її експлуатаційні можливості.

2. Багато питань з визначення параметрів дисків, як дозуючорозподільчих елементів апаратів досліджено недостатньо. Так, не розглянуто питання з вивчення природи формування і рівномірного скидання туків у лійки тукопроводів, не визначено до кінця технічного рішення для вирівнювання цього потоку від пульсуючого дозування шнека.

3. Принциповою особливістю конструкцій і умов ефективного використання туковисівних апаратів для просапних сівалок і культиваторів-рослинопідживлювачів стає вимога не тільки до якісного дозування ними туків, але й до якісного (рівномірного) розподілення туків у рядку. Проте, розрахунки показують, що при висіві 50-200кг/га туків з міжряддям 700 мм на один метр довжини рядка буде висіватися всього 4,52...18,08 г, а при міжрядді 450 мм – 2,24...8,96 г. А якщо врахувати, що в середньому туки містять не більше 30% поживних речовин, то рослини будуть отримувати на одному погонному метрі довжини рядка всього відповідно 1,3...5,4 г та 0,7...2,4 г поживних речовин. Тому таку малу кількість поживних речовин необхідно розподіляти у рядку досить рівномірно, щоб рівномірно підживлювати всі рослини. Але, як показує аналіз попередніх досліджень, у дискових туковисівних апаратів спостерігається пульсуючий висів. Більше того, спостерігалось інколи вільне витікання добрив при непрацюючому апараті.

4. Сучасні мінеральні добрива по якості сипкості відносяться вже до

посівного матеріалу підвищеної сипкості, коли коефіцієнт внутрішнього тертя туків не перевищує 0,45, та сипкого, коли  $f=0,45\dots0,7$ . Все це дозволяє вибирати більш прості конструкції дозаторів до туковисівних апаратів.

5. Практикою чітко розділені туковисівні апарати для сівалок рядкової сівби (міжряддя 150 мм) та сівалок просапних (міжряддя 450 мм і більше).

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ РОЗКИДАЧЕМ ВІДЦЕНТРОВОГО ТИПУ

### 2.1. Дослідження взаємодії гранул мінеральних добрив з диском

Незважаючи на фундаментальні дослідження в теорії взаємодії гранули з диском та чисельні удосконалення конструкції робочого органу, питання рівномірності розсіву мінеральних добрив, яку забезпечують існуючі розкидачі, все ще залишається вирішеним не в повній мірі, тому, метою аналітичних досліджень було створення конструкції диска, здатного забезпечити технологічно достатню рівномірність при розкиданні добрив [7, 8, 9, 26, 39, 46, 49, 50]. Одна зі суттєвих причин нерівномірності розсіву пояснюється схемою – рисунок 2.1.

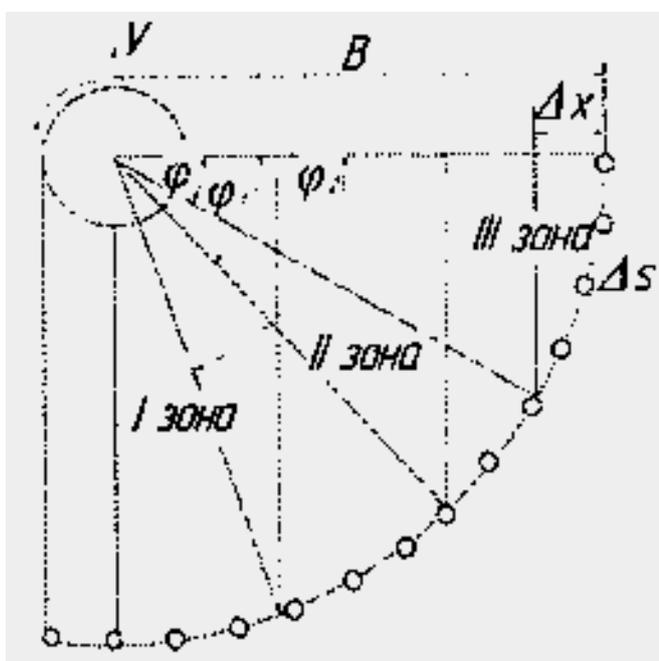


Рисунок 2.1 - Схема до аналізу нерівномірності розподілення мінеральних добрив по ширині захвату за рівномірного обертання відцентрового робочого органу.

Якщо припустити, що всі гранули при розвантажуванні диска закидаються на одну і ту ж саму відстань  $B$  від центра, за умови, що агрегат не рухається, то, за рівномірного розміщення гранул по колу радіуса  $B$  під час руху, стає очевидним ущільнене засівання по краю ширини захвату.

На підставі прийнятого припущення можна стверджувати, що кількість гранул, яка припадає на смугу  $\Delta x$  по ширині захвату, пропорційна довжині

відповідної дуги  $\Delta s$  (рис. 2.1). Це дає можливість характеризувати інтенсивність засівання площі, що обробляється, відношенням  $\Delta s/\Delta x = \psi$ . Найбільш інтенсивно засівається зона, ширина якої визначається третиною від половини ширини захвату і відповідає значенню кута  $\varphi_2 = 0,841$  рад ( $48,19^\circ$ ) (рис. 2.2).

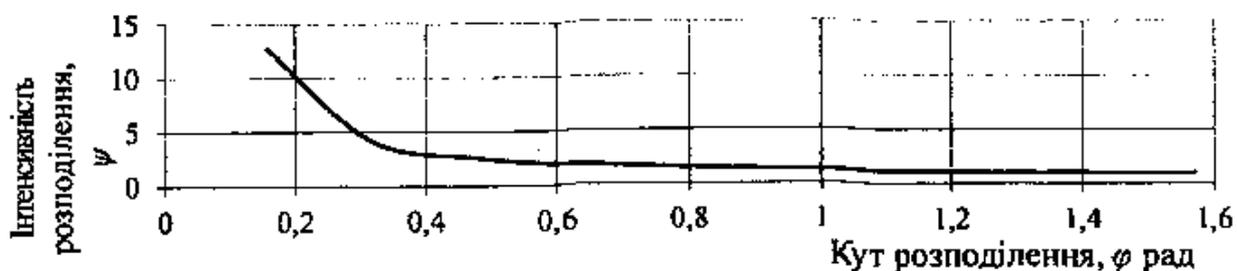


Рисунок 2.2 - Динаміка нерівномірності розподілення добрив по площі, що обробляється.

Якщо розбити половину площі захвату на три рівновеликі ділянки (рис. 2.1), то, на третю зону припадає 53,54 % об'єму добрив, на другу, що визначається кутами  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  ( $\varphi_1 = 70,53^\circ$ ) - 24,83 % від об'єму добрив, і на першу - 21,63 % від об'єму, що припадає на половину ширини захвату.

Очевидно, що реальна схема розподілення буде відрізнятися від розглянутого ідеалізованого варіанта, проте загальна картина ущільненого розсіву ширини захвату на краях полоси спостерігається і в реальних умовах.

Як видно з наведених міркувань, необхідно забезпечувати схід з диска декількох потоків гранул з різними початковими швидкостями, уникнувши при цьому перехрещення потоків у процесі польоту.

## 2.2. Теоретичне дослідження розкидача мінеральних добрив відцентрового типу

Конструкція відцентрового робочого органу, що пропонується для вирішення проблеми, передбачає можливість додаткового одночасного засіву зон II і до досягнення середньої щільності, яка реалізується в зоні III (рис. 2.1).

Диск, що проектується оснащений чотирма лопатями (секторами), нахиленими до горизонтальної поверхні диска під деяким кутом  $\alpha$ ; на робочій поверхні

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42





$$V_a \cos \alpha_0 = \sqrt{(V_r \cos \alpha)^2 + V_e^2 + 2 V_e V_r \cos \alpha \cos \gamma}, \quad (2.14)$$

де  $\gamma$  кут між вектором переносної швидкості  $V_e$  та проекцією відносної швидкості на горизонтальну площину.

Вираз (2.14) дає можливість визначити також і кут вильоту  $\alpha_0$  після розрахунку  $V_a$  за формулою (2.13).

Наведені формули дозволяють обґрунтувати геометричні параметри розкидача.

Аналіз можливих варіантів конструкцій відцентрового робочого органа для внесення мінеральних добрив дозволив прийняти схему розкидача, конструкція якого передбачає формування розташування потоків гранул при завантажуванні (рис.2.4).

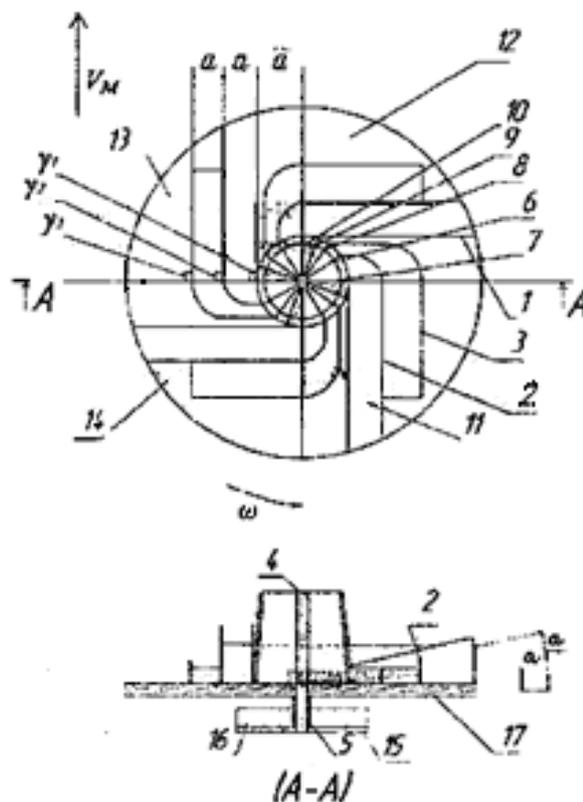


Рисунок 2.4 - Конструктивно-технологічна схема розкидача мінеральних добрив відцентрового типу.

Розкидач складається з диска 17, чотирьох лопатей (секторів 11-14), кожна з яких утворюється двома лопатками у яких бічні стінки утворюються вертикальними ребрами, а днища нахилені під кутами  $a_1$  та  $a_2$  до горизонтальної поверхні диска. Кожне ребро (1-3) перпендикулярне до спільної лінії перетину днищ

лопаток і площини диска (на рисунку 2.4) напрямом кожного ребра позначений кутами  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ , відповідно). У центрі диска знаходиться живильник 4 конічної форми, внутрішній простір якого розбито на окремі сектори радіальними вертикальними пластинами (6-10). Кожна пластина в нижній частині виходить за межі живильника на висоту ребра і нижнім краєм приєднується до горизонтальної центральної частини диска. Бічний край виступаючої з живильника (конічної форми) частини з'єднується з криволінійною ділянкою ребра 2, розміщеною на горизонтальній площині диска. Така особливість конструкції туковисівного апарата забезпечує досить рівномірне дозування мінеральних добрив, а отже і виключно рівномірне їх розподілення по всій площі, що забезпечить оптимальні умови для росту і розвитку рослин, які вирощуються.

У такий самий спосіб ребро 3 з'єднується з виступаючим бічним краєм пластини 8, а ребро 1 – з 9. У кожній четверті відцентрового робочого органу, де знаходиться робоча лопать, живильник розбивається пластинами на чотири сектори. Три з них робочі, через два туки падають на верхній диск, причому на другий сектор припадає 53,6 % об'єму добрив від першого, а на останній - третій - найменший 11,24 % того ж самого об'єму. З цього сектора добрива потрапляють на диск 15, який розташований на 60 мм нижче відносно верхнього, на якому розміщені перпендикулярно одне одному напрямні ребра 16. Один зі секторів живильника закритий зверху (рис.4, заштрихований). Площі секторів призначаються пропорційними витраті матеріалу, що припадає на кожне ребро. Матеріал, потрапляючись до секторів, сходить на горизонтальну поверхню диска, з якої, рухаючись між криволінійними ділянками ребер під дією відцентрової сили і потрапляє на нахилені лопатки [14, 18, 23, 24, 25, 27, 29, 34].

$$F_b = m\omega^2 R \quad (2.15)$$

де  $F_b$  – відцентрова сила, кН;  $m$  – маса частинки мінеральних добрив, кг;

$\omega^2$  – кутова швидкість, рад/с;  $R$  – радіус диска, м;

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

$\pi$  – 3,14;  $n$  – частота обертання диска, хв<sup>-1</sup>.





У результаті розв'язку математичної моделі побудовано графік, який представлено на рисунку. 2.6.

Для дальності польоту гранули, що визначалась за формулами (12) отримано значення 9,94 м, а максимальна висота – 1,2 м.

При аналізі руху гранули, яка розганялася другою лопаткою, що має довжину 0,25 м, кут нахилу  $\alpha_2 = 8^\circ$ , було отримано швидкість вильоту гранули  $V_0 = 11,75$  м/с, кут зльоту –  $7,5^\circ$ . За таких умов дальність польоту склала 6,35 м від осі диска. Траєкторія руху частинки не перетинається з траєкторією руху, визначеної з першої лопатки, оскільки висота зльоту над диском у даному випадку становить 0,12 м.

Найменша частина добрив буде сходити з останньої (третьої) лопатки, яка розташована на нижньому (додатковому) диску, що має радіус 0,12 м та чотири напрямних радіальних ребра, які розташовані під прямим кутом один до одного. Кут вильоту гранул у даному випадку становить  $0^\circ$ , а швидкість руху – 6,63 м/с. Дальність польоту гранули за цих умов – 3,96 м.

Отже, з аналізу руху частинок, що перейшли з проєктуючого робочого органа слідує, що траєкторії руху частинок за одночасного розсіювання трьома ребрами не перетинаються, що забезпечує передбачуваний розподіл гранул по окремих смугах при розсіюванні диском. Це наглядно представлено на рисунку 2.6.

## Висновки до другого розділу

З аналізу теоретичних досліджень відцентрового туковисівного апарата, що викладені в другому розділі можна зробити такі висновки:

1. Кількість гранул, яка припадає на смугу  $\Delta x$  по ширині захвату, пропорційна довжині відповідної дуги  $\Delta s$ . Це дає можливість характеризувати інтенсивність засівання площі, що обробляється, відношенням  $\Delta s/\Delta x = \psi$ . Найбільш інтенсивно засівається зона, ширина якої визначається третиною від половини ширини захвату і відповідає значенню кута  $\varphi_2 = 0,841$  рад ( $48,19^\circ$ ), що повністю відповідає агротехнічним вимогам.

2. Як видно з теоретичних досліджень, необхідно необхідно забезпечити схід з диска декількох потоків гранул з різними початковими швидкостями, уникнувши при цьому перехрещення потоків у процесі польоту. Задля рівномірного розподілення мінеральних добрив по площі поля.

3. Конструкція відцентрового робочого органу, що пропонується для вирішення проблеми, передбачає можливість додаткового одночасного засіву зон II і I до досягнення середньої щільності, яка реалізується в зоні III відцентрового туковисівного апарата.

4. Аналіз можливих варіантів конструкцій відцентрового робочого органу для внесення мінеральних добрив дозволив прийняти схему розкидача, конструкція якого передбачає формування розташування потоків гранул при завантажуванні відцентрового туковисівного апарата.

5. Математична модель для дослідження польоту гранул передбачає, що опір навколишнього середовища пропорційний швидкості. Розглядається загальний випадок руху частинки як матеріальної точки в повітрі після сходження з робочого органу за наявності вітру та коливань відцентрового туковисівного апарата.

6. Найменша частина добрив буде сходити з останньої (третьої) лопатки, яка розташована на нижньому (додатковому) диску, що має радіус 0,12 м та чотири напрямних радіальних ребра, які розташовані під прямим кутом один до одного. Кут вильоту гранул у даному випадку становить  $0^\circ$ , а швидкість руху – 6,63 м/с. Дальність польоту гранули за цих умов буде в межах чотирьох метрів (3,96 м).

7. Траєкторії руху частинок за одночасного розсіювання трьома ребрами не перетинаються, що забезпечує передбачуваний розподіл гранул по окремих смугах при розсіюванні робочим диском відцентрового висівного апарата.

### 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма експериментальних досліджень розкидача мінеральних добрив відцентрового типу

Лабораторними дослідженнями розкидача мінеральних добрив відцентрового типу передбачалось [6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 19, 26, 36, 39]:

– визначення основних механіко-технологічних властивостей добрив, що використовуються в досліджах;

– встановлення розподілу гранул за кінематичними та геометричними параметрами: частота обертання  $n$  диска, рад/с; кути  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  постановки напрямних потоку, град (рис.4); кути  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – кути нахилу лопатей до площини обертання диска, град;

– розрахунок параметрів розподілу по поверхні окремо від кожного потоку та одночасно від усіх потоків для різного фракційного складу добрива;

– визначення конструктивних параметрів диска, за яких розподіл є найбільш наближеним до рівномірного;

– дослідження впливу вітру різної направленості і швидкості на кінцевий розподіл добрив;

– встановлення впливу на кінцевий розподіл добрив коливань висоти розташування диска та кута нахилу відносно поверхні ґрунту.

У програму польових випробувань було закладено:

– виготовлення дослідного зразка диска, конструктивні і кінематичні характеристики якого визначались результатами лабораторних та польових досліджень;

– визначення якості поверхневого внесення добрив за різних норм внесення;

– проведення порівняльного аналізу якості внесення серійним та розробленим відцентровим робочим органом машини.

У ході експерименту визначали основні механіко-технологічні властивості добрив, що використовувалися для досліджень.

### 3.2. Методика експериментальних досліджень

Для визначення вологості, питомої ваги, коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя, коефіцієнта відновлення при ударі використовували стандартні методики. Оригінальними можна вважати методики визначення допустимої швидкості удару гранул по металевій поверхні та визначення їх аеродинамічних властивостей.

Допустиму швидкість удару визначалась за схемою (рис.3.1).

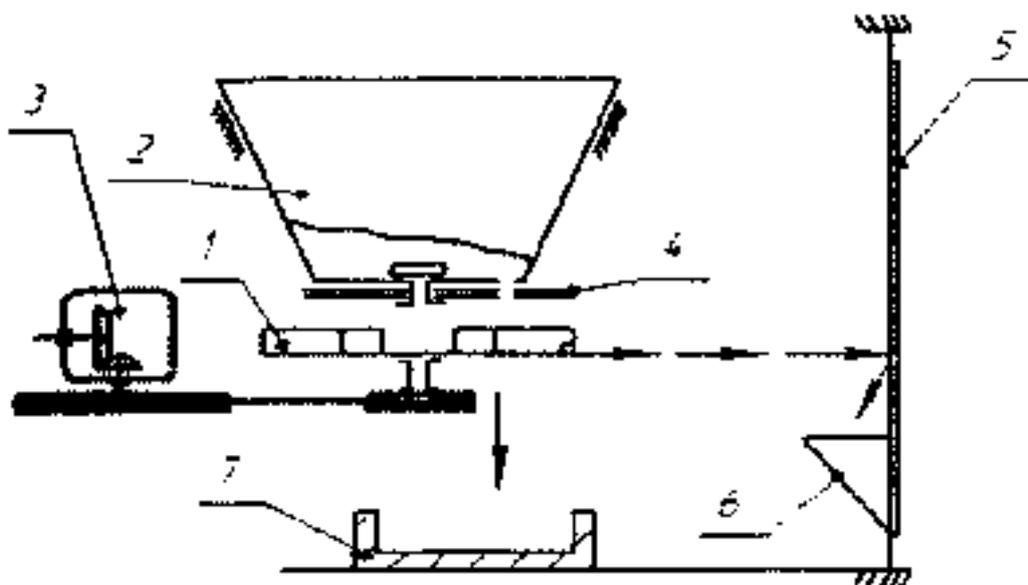


Рисунок 3.1 - Схема до визначення допустимої швидкості удару гранули добрива по металевій поверхні:

1 – лопатевий диск; 2 – бункер; 3 – механізм приводу; 4 – дозатор; 5 – світлопоглинаючий екран; 6 – карман; 7 – лоток.

Лабораторна установка складається з лопатевого диска 1 з вертикальною віссю обертання, бункера 2, механізму приводу 3 з встановленим тахометром, дозатора 4, світлопоглинаючого екрана 5, збірника відпрацьованого матеріалу – кармана 6 та з лотка 7.

Критичну швидкість визначали на парусному класифікаторі дещо зміненої конструкції (рис. 3.2), в якому швидкість потоку заміряли безпосередньо анемометром 3. У пристрої повітряний потік утворюється вентилятором 5, який живиться від трансформатора 7. Швидкість потоку регулюється заслінкою 6.







## Висновки до третього розділу

1. У програму польових випробувань було закладено:
  - виготовлення дослідного зразка диска, конструктивні і кінематичні характеристики якого визначались результатами лабораторних та польових досліджень;
  - визначення якості поверхневого внесення добрив за різних норм внесення;
  - проведення порівняльного аналізу якості внесення серійним та розробленим відцентровим робочим органом машини.
2. У ході експерименту визначали основні механіко-технологічні властивості добрив, що використовувалися для досліджень.
3. Для визначення вологості, питомої ваги, коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя, коефіцієнта відновлення при ударі використовували стандартні методики. Оригінальними можна вважати методики визначення допустимої швидкості удару гранул по металевій поверхні та визначення їх аеродинамічних властивостей.
4. Польові випробування виконувались з використанням серійних машин МВД-900 та МВУ-0,5, оснащених дисками запропонованої нами конструкції.
5. Для оцінки рівномірності поверхневого розподілу гранул на полі щільно один до одного були розташовані лотки, ідентичні тим, що використовувалися в лабораторних дослідках.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ОРГАНА РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

### 4.1. Результати лабораторних досліджень

Виконані аналітичні дослідження запропонованого дискового робочого органу розкидача показують, що найбільший вплив на якісні показники розподілу гранул по поверхні мають такі параметри: частота обертання диска  $n$ , рад/с; кути постановки напрямних потоку  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ , градусів; кути нахилу лопатей  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  відповідно довгої, середньої та найменшої, до площини обертання диска, град [6, 9, 10, 12, 17, 32].

Вплив кутів  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  на якість внесення мінеральних добрив значний, проте вони не будуть занадто відрізнятися один від одного. Таким чином, маємо 5 значущих параметрів, що надзвичайно ускладнює проведення багатофакторного експерименту. Тому було вирішено розбити експеримент на два етапи:

перший – прийняти кут  $\gamma$  однаковим для всіх трьох напрямних лопаток, що дає змогу експеримент зробити трифакторним і знайти оптимальні значення  $n, \alpha$ ;

другий етап – прийнявши оптимальні значення  $n$  та  $\alpha$ , визначити оптимальні значення кута  $\gamma$  для кожної напрямної.

Кількість найбільш значущих конструктивних параметрів дорівнює трьом. Тому для досліджень прийнятий симетричний трифакторний експеримент плану  $3*3*3$  (табл.4.1). Рівні варіювання факторів обрані на підставі аналізу попередньо проведених експериментів.

У результаті обробки експериментальних даних отримана математична модель

$$\begin{aligned} y = & 16,33 + 0,57x_1 + 0,54x_2 + 0,95x_3 + \\ & + 0,43x_1^2 + 0,58x_2^2 + 0,11x_3^2 - \\ & - 0,02x_1x_2 + 0,22x_1x_3 + 0,31x_2x_3, \end{aligned} \quad (4.1)$$

де  $y$  – нерівномірність розподілу гранул.

Модель включає всі можливі варіанти конструктивного виконання диска.

Таблиця 4.1. Рівні варіювання факторів першого етапу досліджень

Фактор	Код	Рівні факторів		
		-1	0	+1
Частота обертання диска $n$ , рад/с	$x_1$	51,31	56,55	61,78
Кут нахилу лопатей до площини обертання диска $\alpha$ , градусів	$x_2$	11	13	15
Кут постановки ребер, що направляють потік добрив $\gamma$ , градусів	$x_3$	90	100	110

Дослідимо поведінку отриманої залежності за відсутності впливу одного з факторів:

$$x_1 = 0$$

$$y = 16,33 + 0,54x_2 + 0,95x_3 + 0,58x_2^2 + 0,11x_3^2 + 0,31x_2x_3$$

$$y_{min} = 15,84 \quad y_{max} = 18,82 \quad (4.2)$$

$$x_2 = 0;$$

$$y = 16,33 + 0,57x_1 + 0,95x_3 + 0,45x_1^2 + 0,11x_3^2 + 0,22x_1x_3$$

$$y_{min} = 15,57 \quad y_{max} = 18,61 \quad (4.3)$$

$$x_3 = 0;$$

$$y = 16,33 + 0,57x_1 + 0,54x_2 + 0,43x_1^2 + 0,58x_2^2 - 0,02x_1x_2$$

$$y_{min} = 16,21 \quad y_{max} = 18,43 \quad (4.4)$$

#### 4.2. Аналіз результатів лабораторних досліджень

Аналіз рівняння регресії показує, що абсолютний мінімум відповідає значенням:  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 0$ ;  $x_3 = -1$ , що відповідає значенням:

- частота обертання диска  $n$  – 56,55 рад/с;
- кут  $\alpha$  нахилу лопаток до площини обертання диска – 13°;
- кут  $\gamma$  постановки ребер, направляючих потік – 90°.

У другому етапі досліджували вплив на якісні показники розподілу кута постановки ребер, направляючих потік  $\gamma$  (табл. 4.2).



негативно впливає на рівномірність. Напрямок потоку теж є вагомим фактором, який визначає рівномірність.

Так, найменший вплив спостерігається при напрямку вітру, перпендикулярному до руху агрегату, що можна пояснити отриманням найменших доз крайніми лотками. Найбільший вплив виявився при дії двох кутів: 45 та 135°. Проте значення нерівномірності за наявності повітряного потоку в цілому знаходилися в межах агротехнічних вимог.

### 4.3. Результати польових досліджень

Польові дослідження проводили на полях господарства товариства з обмеженою відповідальністю „.....” Кам'янець-Подільського району Хмельницької області. Під час польових досліджень використовували машини МВД-900 та МВУ-0,5 із використанням як дослідних, так і серійних дисків (рис. 4.2).

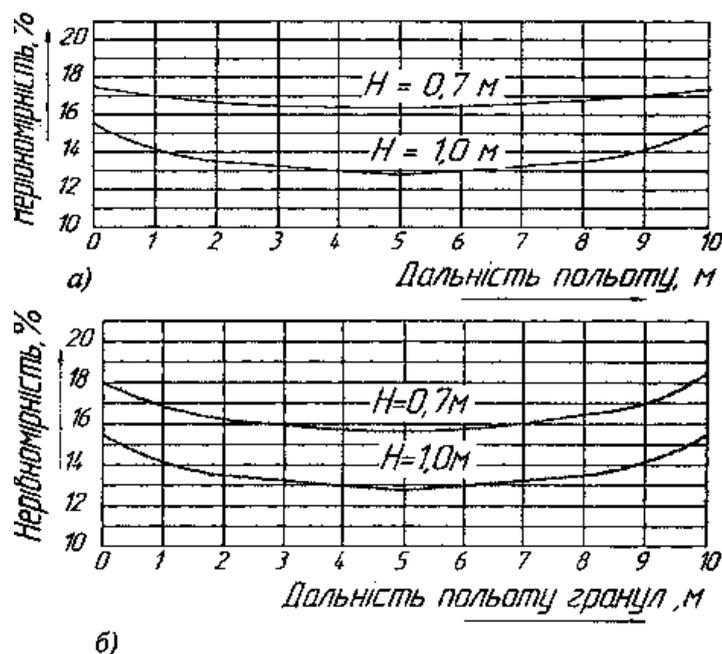


Рисунок 4.2 - Розподіл гранул залежно від висоти розташування експериментального диска над рівнем ґрунту:  
а) машиною МВД-900; б) машиною МВУ-0,5.

### 4.4. Аналіз результатів польових досліджень

Аналіз отриманих залежностей підтверджує, що рівномірність розподілу гранул в цілому задовільна. Характерним є те, що зі збільшенням висоти вста-







Встановлені розміри елементів конструкції багатопотокового відцентрового робочого органа, за яких забезпечується рівномірне внесення мінеральних добрив на ділянку шириною 20 м:

- діаметр диска – 600 мм;
- діапазон частоти обертання диска – 54,45-58,64 рад/с;
- висота встановлення диска над рівнем ґрунту – 1,0 м;
- кількість лопатей (секторів) – 4;
- кількість напрямних ребер на лопаті (секторі) – 3;
- кількість дисків – 2 (нижній та верхній з різними діаметрами);
- кути нахилу напрямних для трьох потоків до площини обертання диска – 54,45...58,64°;
- кути нахилу ребер до площини обертання дисків – 90°;
- відстань між верхнім та нижнім диском – 60 мм;
- діаметр нижнього диска – 120 мм;
- висота лопатей, які закріплені на нижньому диску – 45 мм;
- висота живильника – 60 мм;
- діаметр живильника біля основи – 240 мм, на вершині – 196 мм.

Пропонується розробка та застосування запропонованого відцентрового робочого органа на серійних машинах для внесення добрив і вапна, сівби насіння трав (сидератів), який підвищує якісні показники їх роботи за високої продуктивності.

## Висновки до четвертого розділу

1. Виконані аналітичні дослідження запропонованого дискового робочого органу розкидача показують, що найбільший вплив на якісні показники розподілу гранул по поверхні мають такі параметри: частота обертання диска  $n$ , рад/с; кути постановки напрямних потоку  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ , градусів; кути нахилу лопатей  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  відповідно довгої, середньої та найменшої, до площини обертання диска з відцентровим розподіленням мінеральних добрив, град.

2. Кількість найбільш значущих конструктивних параметрів дорівнює трьом. Тому для досліджень прийнятий симетричний трифакторний експеримент плану  $3 \times 3 \times 3$ . Рівні варіювання факторів обрані на підставі аналізу попередньо проведених експериментів.

3. Дослідження з впливу повітряного потоку на розподіл гранул проводили на швидкостях повітряного потоку до 3,0 м/с. На більших швидкостях нерівномірність різко зростає і виходить за межі агротехнічно допустимої. Отримані дані свідчать про те, що повітряний потік негативно впливає на рівномірність. Напрямок потоку теж є вагомим фактором, який визначає рівномірність розподілення мінеральних добрив.

4. З аналізу отриманих залежностей слідує, що рівномірність розподілу гранул в цілому задовільна. Характерним є те, що зі збільшенням висоти встановлення диска над рівнем ґрунту нерівномірність внесення добрив зменшується. Машина зі серійними дисками допускає нерівномірність на рівні 23-27 %, що суттєво перевищує показник як модернізованої машини, так і розкидачів серійного виробництва. Нерівномірність розкидання запропованою конструкцією менша за розкидачі серійного виробництва в середньому на 7-10 %. Однак, цей показник в останньої більш стабільний за значенням по ширині захвату машини для внесення мінеральних добрив яка обладнання диском з відцентровим розподіленням мінеральних добрив.

5. Встановлено, що зміна напрямку повітряного потоку має різницю в результатах лабораторних і польових досліджень 3 %, а відхилення між частотою

обертання відцентрового робочого органа склало менше 3,8 %, що повністю відповідає агротехнічним вимогам.

6. Аналіз результатів визначення впливу розташування робочого органа над рівнем ґрунту показав (рис. 4.6), що нерівномірність розподілу гранул досягає найменшого значення при висоті 1 м і за польовими дослідженнями на 2,8 % перевищує значення, одержані в лабораторних умовах під час випробування диска з відцентровим розподіленням мінеральних добрив.

7. Відхилення дальності траєкторії руху частинок, які не перетинаються у просторі, отримані теоретичним шляхом, склало 3,9 %. Максимальна дальність польоту гранул за експериментальними дослідженнями становить 9,56 м, а за теоретичними - 9,94 м. Отже, експериментальні дослідження підтвердили теоретичні розрахункові дослідження.

8. За результатами лабораторних і польових досліджень розкидача мінеральних добрив відцентрового типу пропонується розробка та застосування запропонованого відцентрового робочого органу на серійних машинах для внесення добрив і вапна, сівби насіння трав (сидератів), який підвищує якісні показники їх роботи за високої продуктивності.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

### 5.1. Загальні відомості

Проведено апробацію запропонованої нами методики масштабування, що дозволяє зробити прогнозовану оцінку рівномірності висіву туків у реальних польових умовах. Так, за порівняльними результатами якості розподілення туків на більш ніж двадцятиметровій довжині рядка туковисівними апаратами, що досліджувалися, при нормі висіву 75 кг/га та міжрядді 450 мм, розкидачем мінеральних добрив відцентрового типу запропонованої нами конструкції значно якісніше розподіляються туки.

### 5.2. Розрахунок економічної ефективності від впровадження у виробництво

Проведено розрахунок економічної ефективності від впровадження у виробництво, який проводився за загальноприйнятою методикою на основі даних заводу-виробника. Розрахунки показують, що очікуваний річний економічний ефект від впровадження нового розкидача мінеральних добрив відцентрового типу для виробника складає 24000 грн. на одну машину, а для споживача (станом на 2014 рік) наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Очікувані результати застосування розкидача мінеральних добрив відцентрового типу

Гранульовані добрива	Зменшення втрати врожаю, т/га	Ціна цукрових буряків, грн./т	
		4000	
		Очікуваний економічний ефект, грн.	
		1га	100га
Суперфосфат	1,72...2,02	6880...8080	688000...808000
Нітроамофоска	3,35	до 13400	до 1340000

Так, із використанням гранульованих добрив суперфосфату втрати коренеплодів зменшуються до двох тон на кожному гектарі, а при використанні гранульованих добрив нітроамофоски втрати коренеплодів зменшуються більше трьох тон на кожному гектарі.

### **Висновки до п'ятого розділу**

1. За порівняльними результатами якості розподілення мінеральних добрив на більш ніж двадцятиметровій довжині рядка туковисівними апаратами, що досліджувалися, при нормі висіву 75 кг/га та міжрядді 450 мм, новим розкидачем мінеральних добрив відцентрового типу туки роз приділяються значно якісніше ніж звичайними розкидачами мінеральних добрив.

2. У результаті використання розробленого нами розкидача мінеральних добрив відцентрового типу не лише суттєво зменшуються втрати урожаю солодких коренів, але й збільшилась їх врожайність.

3. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження нового розкидача мінеральних добрив відцентрового типу для виробника складає 24000 гривень на одну машину, що обладнана відцентровими розкидачами мінеральних добрив.

4. Річний економічний ефект від впровадження нового розкидача для споживача складає: гранульовані добрива суперфосфат до 8080 гривень з кожного гектара; гранульовані добрива нітроамофоска до 13400 гривень з кожного гектара вирощуваних солодких коренів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Систематизуючи теоретичні та практичні дослідження з обґрунтування технологічних параметрів розкидача мінеральних добрив, що обладнаний робочим органом відцентрового типу, можна зробити наступні висновки та зробити пропозиції виробникам:

1. Аналіз конструкцій туковисівних апаратів показав, що найбільш розповсюдженими є дисковий і шнековий туковисівні апарати, але вони поки що недостатньо досліджені, а тому в даній роботі ми ставимо саме таку дослідницьку задачу.

2. Проведений аналіз існуючих засобів механізації поверхневого внесення мінеральних добрив показав, що дискові відцентрові робочі органи є найбільш перспективними, проте рівномірність внесення ними добрив не повністю відповідає агротехнічним вимогам, що ставляться перед машинами для внесення мінеральних добрив.

3. До основних причин нерівномірності внесення добрив можна віднести неодноманітність фракційного складу гранул та недосконалість конструкції, яка проявляється в тому, що існуючі дискові розкидачі не забезпечують рівномірність розподілу добрив по краям смуги із-за чого рослини не отримують в достатній кількості поживних речовин по всій площі поля..

4. У результаті дослідження математичної моделі взаємодії гранули з лопаткою диска визначено швидкість і кути вильоту гранул з лопатки при різних кутах її нахилу відносно горизонтальної площини диска, на основі чого визначено, що для забезпечення руху добрив потоками, останні не повинні перехрещуватись бо за таких умов на окремих смугах буде подвійна норма внесення мінеральних добрив.

5. Конструкція відцентрового робочого органу повинна складатися з двох дисків, розташованих один під одним, при цьому верхній диск повинен складатися з чотирьох секторів, дозування добрив на які забезпечується живиль-

ником кінчної форми, що створює два незалежних потоки гранул на кожному секторі верхнього диска, а третій потік добрив сходитиме з допоміжного диска, який розташований нижче. При цьому, для забезпечення руху гранул потоками на передбачену для них частину смуги, лопатки сектора диска повинні мати такі параметри, форми та положення: лопатки довжиною 0,3 м та 0,25 м нахилені до горизонтальної площини верхнього диска під кутом  $13^\circ$  та  $8^\circ$  відповідно, а лопатка довжиною 0,12 м розташована на нижньому диску під кутом  $0^\circ$ , що забезпечить якісне і рівномірне внесення мінеральних добрив.

6. Лабораторними дослідженнями встановлено, що допустима швидкість удару гранули добрива по металевій поверхні для суперфосфату становить 12,3 м/с, аміачної селітри – 10,2 м/с та суміші NPK – 9,7 м/с за вологості 12 %, що відповідає агротехнічним вимогам.

7. Визначено, що опір повітря суттєво впливає на кінцевий розподіл гранул добрива по поверхні ґрунту, оскільки неоднорідність їх фракційного стану призводить до різної дальності польоту окремих гранул. Так, відхилення машини для внесення мінеральних добрив від напрямку вітру не бажане в діапазоні від  $45^\circ$  до  $135^\circ$  у напрямку руху агрегату за швидкості вітру, яка перевищує 3 м/с. Як виняток, можливе внесення мінеральних добрив у діапазоні  $80-100^\circ$ , тобто повітряний потік – бічний. За цих умов теж буде забезпечено якісне внесення мінеральних добрив.

8. На основі проведених експериментальних досліджень визначені конструктивно-технологічні параметри відцентрового робочого органу, які при прийнятих діаметрах верхнього та нижніх дисків відповідно 600 мм і 120 мм, забезпечують нерівномірність внесення мінеральних добрив до 16%, які забезпечать виконання агротехнічних умов.

9. За порівняльними результатами якості розподілення туків на більш ніж двадцятиметровій довжині рядка туковисівними апаратами, що досліджувалися, при нормі висіву 75 кг/га та міжрядді 450 мм, новим розкидачем мінеральних добрив відцентрового типу значно якісніше розподіляються туки, що і потрібно було обґрунтувати і даній кваліфікаційній роботі.

10. У результаті використання розробленого нами розкидача мінеральних добрив відцентрового типу не лише суттєво зменшуються втрати урожаю вирощуваних сільськогосподарських культур, але й вдалося суттєво збільшити вихід врожаю з кожного гектара.

11. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження нового розкидача мінеральних добрив відцентрового типу для виробника складає двадцять чотири тисячі гривень на кожну машину яка обладнання відцентровим розкидачем мінеральних добрив.

12. Річний економічний ефект від впровадження нового розкидача для споживача складає: гранульовані добрива суперфосфат до 8080 гривень з кожного гектара; гранульовані добрива нітроамоска до чотирнадцяти тисяч гривень на кожному гектарі вирощування сільськогосподарської культури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Земельний кодекс України. Сільський час. П'ятниця, 16 листопада 2001 року, № 66 (268) - ( м. Київ, 25 жовтня 2001 року. № 2768-III ).
2. Про освіту: Закон України. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 38-39. . 380 с.
3. Про вищу освіту: Закон України. Методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти. Відомості Верховної Ради України. 2016 № 600. Ст.13.
4. Про затвердження плану заходів з реалізації Національної стратегії розвитку освіти в Україні на період до 2021 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 686-р.
5. Про систему інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу України: Закон України. Відомості Верховної Ради України. 2006. № 47. 464 с.
6. Рудь А.В., Мошенко І.О. Методичні вказівки для підготовки вихідних даних на дипломне проектування. - Кам'янець-Подільський. Подільський державний аграрно-технічний університет. 2018. 14 с.
7. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 „Агроінженерія” / А.В. Рудь, В.І. Дуганець, Ю.І. Панцир, П.П. Федірко, Ю.Ф. Павельчук. За ред. А.В. Рудя. - Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2019. 51 с.
8. Адамчук В.В. Підсумки створення технологічних комплексів для застосування твердих мінеральних добрив і хіммеліорантів / В.В. Адамчук // Техніка АПК. – 2000. – №3. С. 10–12.
9. Вплив нерівномірності висіву мінеральних добрив на врожайність сільськогосподарських культур / В.І. Пастухов, В.С. Шерстюк, Г.В. Фесенко, Ю.В. Сівцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства ім. Петра Василенка. – Харків : ХНТУСГ. – 2008. С. 195–199.
10. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових

проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 „Процеси, машини та обладнання агропромислового аиробництва”. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. / За редакцією І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. – Кам’янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. 640 с.

11. Горлачук В.В. Проблеми збереження родючості ґрунтів фермерських господарств / В.В. Горлачук, А. Стрюченко // Економіка України. – 2007. – №3. С. 74–79.

12. Гуцаленко О.В. Обґрунтування параметрів дозованої видачі мінеральних добрив бункерами машин для їх поверхневого внесення : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / О.В. Гуцаленко. – Харків, 2001. 17 с.

13. Догановский М.Г. Механізація внесення добрив / М.Г. Догановський, Е.В. Козловський. – 2-е вид. –К: Колос, 2002. 320 с.

14. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин [в 3-х т.] / П.М. Заїка. – Харків: Око, 2001. – Т.1. Ч.3: Машини для приготування і внесення добрив. – 2002. 352 с.

15. Катеринич С.Є. Обґрунтування параметрів внутрішньорєбристих висівних апаратів для зернових сівалок : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / С.Є. Катеринич. – Кіровоград, 2004. 19 с.

16. Кириченко В.Є. Удосконалення технологічного процесу локального передпосівного внесення гранульованих мінеральних добрив дозуючою системою пневматичної дії : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Механізація сільськогосподарського виробництва" / В.Є. Кириченко. – Луганськ, 2000. – 20 с.

17. Лісовий М.В. Підвищення ефективності мінеральних добрив / Лісовий М.В. – К. : Урожай, 2011. – 120 с.

18. ДСТУ EN ISO 16231-1:2016 Сільськогосподарські самохідні машини. Оцінювання стійкості. Частина 1. Загальні вимоги (EN ISO 16231-1:2013, IDT; ISO 16231-1:2013, IDT)

19. Машини посівні. Випробування сільськогосподарської техніки. Методи випробувань : СОУ 74.3-37-129:2004. – [Чинний від 2004-12-24]. Київ: Мінагрополітики України, 2004. 86 с. (Стандарт Мінагрополітики України).

20. Методичні рекомендації з оплати праці робітників сільськогосподарських підприємств / І.М. Демчак, В.О. Завалевська, О.П. Савицька, М.Ф. Кисляченко та ін. Київ: науково-дослідний інститут „Украгропромпродуктивність”, 2014. 38 с.

21. Машини та обладнання в тваринництві: підручник / Іванишин В.В., Грушецький С.М., Рудь А.В. Кам'янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет: ТОВ «Друкарня «Рута», 2021. 468 с.

22. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти 208 – „Агроінженерія” / Рудь А. В., Дуганець В. І., Михайлова Л. М. та ін.; за ред. Рудя А. В. Кам'янець-Подільський, 2019. 52 с.

23. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. У 2 т: Т. 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. Київ: Агроосвіта, 2012.– 584 с.

24. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. У 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. Київ: Агроосвіта, 2012. 434 с.

25. Основи механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. Посібник. // І.І. Ріпка, Я.В. Семен, О.М. Крунич, І.М. Бендера, А.В. Рудь Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с.

26. Осипов І.М. Нове в методиці визначення якості висіву туковисівними апаратами / І.М. Осипов, І.П. Сисоліна // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2007. Вип. 31, 1. С. 122–125.

27. Осипов І.М. Результати попередніх досліджень шнекового туковисівного апарата АТП-2 / І.М. Осипов, О.М. Рева, І.П. Сисоліна // Збірник наукових праць

Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / – Вип. 20. Кіровоград : КНТУ, 2008. С. 226–229.

28. Осипов І. Удосконалення шнекового туковисівного апарата / І. Осипов, І. Сисоліна // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць / УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого; Редкол.: В.І. Кравчук (гол. ред.) та ін. Дослідницьке, 2008. Вип. 12(26). С. 385–389.

29. Довідник з машиновикористання в землеробстві / В. І. Пастухов, А. Г. Чигрин, П. А. Джолос та ін. За ред. В. І. Пастухова. Харків: «Веста», 2001, 347 с.

30. Пат. 34019 Україна МПК А01С7/00. Спосіб визначення якості розподілу сипких матеріалів вздовжрядка / Сисолін П.В., Осипов І.М., Сисоліна І.П.; заяв. і патентоволод. Кіровоградський нац. техн. ун-т. – № u200802025 ; заявл. 18.02.2008 ; опубл. 25.07.2008, Бюл. № 14.

31. Пат. 19412 Україна МПК А01С15/00. Туковисівний апарат / Сисолін П.В., Осипов І.М., Сисоліна І.П., Серета Л.І.; заяв. і патентоволод. Кіровоградський нац. техн. ун-т. – № u200606816 ; заявл. 19.06.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

32. Затхей Б. І., Нагірний Ю. П., Шолудько П. В. Принципи проектування технологічних систем рільництва. // Вісник аграрної науки. 2001. - №9. С. 8-12.

33. Попов Н.А. Організація сільськогосподарського виробництва: Курс лекцій / Асоціація авторів і видавців "ТАНДЕМ". Вид "ЕКМОС", 2000. 352 с.

34. Перспективні пневматичні та механічні зернові сівалки John Deere. Київ: Райз, 2009. 35 с.

35. Технічне обслуговування машин і обладнання: підручник / Іванишин В.В., Рудь А.В., Грушецький С.М. Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», ТОВ «Друкарня «Рута», 2023. 360 с.

36. Пастухов В. І. Особливості математичного моделювання функціонування МТА з урахуванням критеріїв часу, біопотенціалу, енергоресурсів і екологічної безпеки // Вісник ХДТУСГ, вип. 7 «Механізація сільськогосподарського виробництва». Харків, 2001. С.341-347.

37. Романюк Г.С. Розробка засобів та обґрунтування параметрів процесу локального внесення в ґрунт сипучих мінеральних добрив : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / Г.С. Романюк. – Харків, 2004. 20 с.

38. А.В. Рудь, Ю.Ф. Павельчук, І.О. Мошенко, В.В. Нікітін Теоретичні дослідження площі живлення зернових культур // Збірник наукових праць / За редакцією доктора с.-г. наук, професора, академіка АН ВО України, Заслуженого діяча науки і техніки України, ректора університету (голова) М.І. Бахмата – Кам'янець-Подільський, 2010. – С. 435-442.

39. А.В. Рудь, Ю.Ф. Павельчук, І.О. Мошенко Теоретичні дослідження технологічних параметрів висівних апаратів для сівби сої // Збірник наукових праць / За редакцією доктора с.-г. наук, професора, академіка АН ВО України, Заслуженого діяча науки і техніки України, ректора університету (голова) М.І. Бахмата – Кам'янець-Подільський, 2010. – С. 427-431.

40. Сільськогосподарські машини: [у 2-х т.]: Ч.2. Машини для внесення добрив / М.В. Бакум, І.С. Бобрусь, А.Д. Михайлов та ін. ; за ред. М.В. Бакума. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Т.1. – 285 с.

41. Сільськогосподарські машини: Ч.3. Посівні машини / М.В. Бакум, І.С. Бобрусь, А.Д. Михайлов та ін. ; за ред. М.В. Бакума. – Харків : 2005. – 332 с.

42. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1. Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний ; за ред. Черновола М.І. – К. : Урожай, 2001. – 384 с.

43. Ковтун Ю. І., Мазоренко Д. І., Пастухов В. І., Джолос П. А. Агрокваліметрія / За ред. Д. І. Мазоренка, Ю. І. Ковтуна. – Харків: РВП «Оригінал», 2000. – 312с.

44. Сисоліна І.П. Порівняльні дослідження шнекових туковисівних апаратів / І.П. Сисоліна // Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей. – Вип.18. – Луцьк : Ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. – С.447–450.

45. Сисоліна І.П. Про причини нерівномірності висіву шнековими туковисівними апаратами / І.П. Сисоліна // Загальнодержавний міжвідомчий

науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Вип. 39. Кіровоград : КНТУ, 2009. С. 308–313.

46. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалюка. Київ: Аграрна наука, 2004. 396 с.

47. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.

48. Експлуатація машин і обладнання: підруч. / Іванишин В.В., Лабазюк П.П., Рудь А.В., Грушецький С.М. Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 576 с.

49. Скобл Ю.С., Тіщенко Л.М., Цапко В.Г. Безпека життєдіяльності. Вінниця, Нова книга, 2000. 368 с.

50. Типові задачі машиновикористання в землеробстві / Нагірний Ю. П., Затхей Б. І., Хом'як В. В. та ін. За ред. Ю. П. Нагірного. Львів: ВЦ НАУ, 2001. 180 с.

51. Цизь І.Є. Обґрунтування параметрів дозуючого пристрою компонентів органо-мінеральних добрив: автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / І.Є. Цизь. Львів, 2003. 20 с.

52. Шерстюк В.С. Обґрунтування параметрів процесу висіву мінеральних добрив розподільчо-дозуючим пристроєм : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / В.С. Шерстюк. Харків, 2005. 20 с.

53. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур / За ред. П. Т. Саблука, Д. І. Мазаренка, Г. Є. Мазнева – К.: ННЦІАЕ, 2005. 402 с.

54. Шмата М.В. Результати і аналіз досліджень робочого органу розкидача мінеральних добрив. Всеукраїнська науково-практична конференція «Перші наукові кроки – 2025. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет» Кам'янець-Подільський», 2025.

# ДОДАТКИ

# РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ОРГАНА РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

Шмата М.В., здобувач вищої освіти

освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія»

Керівник: професор, заслужений працівник освіти України Рудь А.В.

Виконані аналітичні дослідження запропонованого дискового робочого органу розкидача показують, що найбільший вплив на якісні показники розподілу гранул по поверхні мають такі параметри: частота обертання диска  $n$ , рад/с; кути постановки напрямних потоку  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ , градусів; кути нахилу лопатей  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  відповідно довгої, середньої та найменшої, до площини обертання диска, град.

Вплив кутів  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  на якість внесення мінеральних добрив значний, проте вони не будуть занадто відрізнятися один від одного. Таким чином, маємо 5 значущих параметрів, що надзвичайно ускладнює проведення багатофакторного експерименту. Тому було вирішено розбити експеримент на два етапи: перший – прийняти кут у однаковим для всіх трьох напрямних лопаток, що дає змогу експеримент зробити трифакторним і знайти оптимальні значення  $n, \alpha$ ; другий етап – прийнявши оптимальні значення  $n$  та  $\alpha$ , визначити оптимальні значення кута  $\gamma$  для кожної напрямної.

Кількість найбільш значущих конструктивних параметрів дорівнює трьом. Тому для досліджень прийнятий симетричний трифакторний експеримент плану  $3 \times 3 \times 3$  (табл. 1). Рівні варіювання факторів обрані на підставі аналізу попередньо проведених експериментів.

У результаті обробки експериментальних даних отримана математична модель

$$y = 16,33 + 0,57x_1 + 0,54x_2 + 0,95x_3 + 0,43x_1^2 + 0,58x_2^2 + 0,11x_3^2 - 0,02x_1x_2 + 0,22x_1x_3 + 0,31x_2x_3$$

де  $y$  – нерівномірність розподілу гранул.

Модель включає всі можливі варіанти конструктивного виконання диска.

Таблиця 1. Рівні варіювання факторів першого етапу досліджень

Фактор	Код	Рівні факторів		
		-1	0	+1
Частота обертання диска $n$ , рад/с	$x_1$	51,31	56,55	61,78
Кут нахилу лопатей до площини обертання диска $\alpha$ , градусів	$x_2$	11	13	15
Кут постановки ребер, що направляють потік добрив $\gamma$ , градусів	$x_3$	90	100	110

Аналіз отриманих залежностей підтверджує, що рівномірність розподілу гранул в цілому задовільна. Характерним є те, що зі збільшенням висоти встановлення диска над рівнем ґрунту нерівномірність внесення добрив зменшується. Машина зі серійними дисками допускає нерівномірність на рівні 23-27 %, що суттєво перевищує показник як модернізованої машини, так і розкидачів серійного виробництва. Нерівномірність розкидання запропованою конструкцією менша за розкидачі серійного виробництва в середньому на 7-10 %. Однак, цей показник у останньої більш стабільний за значенням по ширині захвату (рис. 1).

Для підтвердження отриманих математичних моделей та лабораторних досліджень, виконано розрахунки для умов, що відповідають польовим дослідженням:

- напрямок вітру, град;
- частота обертання багатопотокового відцентрового розкидача, рад/с;
- висота розташування робочого органу над рівнем ґрунту, м;
- кут нахилу лопаток відносно площі обертання диска, град.

Отже, з аналізу графіка нерівномірності розподілу гранул розкидачами мінеральних добрив слідує, що найменша нерівномірність розподілу гранул виявилася при їх дальності польоту в межах чотирьох-шести метрів.

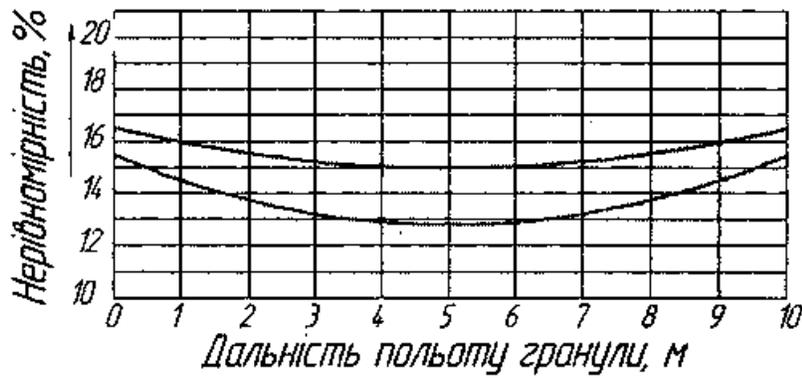


Рисунок 1 - Нерівномірність розподілу гранул розкидачами мінеральних добрив:

1 – модернізованим; 2 – серійного виробництва.