

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу внесення мінеральних добрив з модернізацією відцентрового робочого органу розкидача»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм- 21 спеціальності 208 Агроінженерія за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»

Кокалюк Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Забродоцька Л.Ю.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дударєв І.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2024



## 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

к-сть листів

- |   |        |
|---|--------|
| 1. Вихідні дані .....   | 1 лист |
| 2. Теоретичні положення .....   | 1 лист |
| 3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень                                 | 1 лист |
| 4. Результати експериментальних досліджень  | 1 лист |
| 5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування    | 1 лист |
| 6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова) | 1 лист |
| 7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла                              | 1 лист |

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання 30 грудня 2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	17.06. – 01.07.2024 р.	6
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2024 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2024 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2024 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2024 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2024 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2024 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2024 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2024 р.	

Студент

Кокалюк Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Забродоцька Л.Ю.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кокалюк Ю.В. Дослідження процесу внесення мінеральних добрив з модернізацією відцентрового робочого органу розкидача. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

У кваліфікаційній роботі з метою виявлення найбільш раціональних параметрів та режимів розподільника твердих мінеральних добрив, що впливають на траєкторію польоту гранул та рівномірність розподілу добрив по полю, проведено теоретичні та експериментальні дослідження відцентрового диска розподільника твердих мінеральних добрив, оснащеного поворотною розгінною камерою та набором змінних П-подібних лопаток.

Ключові слова: розподільник твердих мінеральних добрив, відцентрові робочі органи, диференційоване внесення, рівномірність розподілу, тверде мінеральне добрива, внесення добрив, розгінна камера.

## ABSTRACT

Yu.V. Kokalyuk. Study of the process of applying mineral fertilizers with the modernization of the centrifugal working body of the spreader.

Master's Degree Qualifying Research Paper in Programme Subject Area 0888 Inter-disciplinary programs and qualifications involving agriculture, forestry, fisheries, and veterinary under Agricultural Engineering Educational Program. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The master's qualification work includes an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, and appendices.

In the qualification work to identify the most rational parameters and modes of the solid mineral fertilizer distributor, which affect the trajectory of the pellets and the uniformity of the distribution of fertilizers over the field, theoretical and experimental studies of the centrifugal disk of the distributor of solid mineral fertilizers, equipped with a rotary acceleration chamber and a set of replaceable U-shaped blades, were carried out.

Keywords: distributor of solid mineral fertilizers, centrifugal working bodies, differentiated application, uniformity of distribution, solid mineral fertilizer, application of fertilizers, acceleration chamber.

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	9
1.1 Класифікація робочих органів машин для внесення добрив.....	9
1.2 Розподільні системи.....	12
Висновки до розділу.....	19
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ.....	20
2.1 Дослідження подачі добрив на апарат.....	20
2.2 Дослідження руху добрив радіальними лопатками апарату.....	21
Висновки до розділу.....	25
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..	26
Висновки до розділу.....	31
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
Висновки до розділу.....	36
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	37
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	38
ДОДАТКИ.....	40

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасне сільськогосподарське виробництво має на увазі не тільки використання енергоємних багатоопераційних машин з автоматичним керуванням та контролем виконуваної операції, а й ефективне використання агрономічних ресурсів та сучасних агротехнологій, – зокрема, прийомів підвищення врожайності за рахунок раціонального застосування добрив [1, 2].

В даний час більшу частину добрив, що вносяться, складають тверді (гранульовані та порошкоподібні) мінеральні добрива (ТМД). Від якості, кількості і своєчасності їх внесення залежить розкриття сортового потенціалу культури у вигляді врожайності та якості кінцевого продукту [3-5].

Основні способи внесення ТМД поділяються за термінами внесення (основне, припосівне, підживлення), за характером розподілу (внутрішньогрунтовий і поверхневий) і за точністю внесення (рівномірний і диференційований). Однак більша частина добрив, що вносяться, припадає на поверхнєве основне рівномірне. внесення (до 70%) [4, 6].

Для основного внесення ТМУ найчастіше використовуються навісні або причіпні розподільники твердих мінеральних добрив з відцентровими робочими органами. Суцільне внесення ТМУ по всій площі поля відбувається згідно з заданою дозою (кг/га), розрахованою агрономом виходячи з поточних агрохімічних умов (попередників, винесення елементів, складу ґрунту, виду добрив, кількості діючої речовини тощо) [7].

Останнім часом широкого поширення набула технологія диференційованого внесення ТМУ машинами, оснащеними інтелектуальними системами виконавчих механізмів та датчиків, у тому числі GPS або ГЛОНАСС, які на підставі хімічного аналізу ґрунту і згідно з картою завдань в автоматичному режимі виставляють дозу ТМУ, необхідну на даній ділянці поля [1, 8].

Перевагами даної технології є економія добрив та їх ефективніше використання в порівнянні з суцільним внесенням, підвищення врожайності та

якості кінцевої продукції, а також зниження антропогенного навантаження на поля. Недоліками цієї системи є складність конструкції, висока вартість обладнання та компонентів для її застосування та недолік аналогів вітчизняному ринку.

**Наукове та практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано конструкцію відцентрового диска розподільника твердих мінеральних добрив.

**Мета досліджень:** проведення теоретичних та лабораторних робіт, виявлення найбільш раціональних параметрів та режимів розподільника ТМУ, що впливають на траєкторію польоту гранул та рівномірність розподілу добрив по полю.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести теоретичні дослідження відцентрового диска розподільника твердих мінеральних добрив,
- експериментальним шляхом підтвердити основні результати теоретичних досліджень;
- з використанням результатів досліджень обґрунтувати раціональні параметри та режими розподільника.

**Об'єкт дослідження** – технологічна операція внесення твердих мінеральних добрив.

**Предмет дослідження** закономірності впливу конструктивних параметрів та режимів роботи відцентрового диска розподільника твердих мінеральних добрив, оснащеного поворотною розгінною камерою та набором змінних П-подібних лопаток.

**Методи дослідження.** При виконанні теоретичних досліджень використовували структурний аналіз та синтез, математичного моделювання та класичної механіки, чисельні методи розв'язання систем диференціальних та алгебраїчних рівнянь, методи постановки та обробки результатів досліджень.

Експериментальні дослідження проводились за галузевими та розробленими методиками на стандартному обладнанні і приладах у лабораторних умовах. При проведенні експериментальних досліджень застосовувалися математичні методи

планування експерименту та їх обробка з використанням комп'ютерних технологій.

Розрахунки виконували із застосуванням наступних програмного забезпечення: “MATLAB 6.5”, “Microsoft Office Excel 2007”, Statistica 8.0, Mathcad.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

- запропонована нова конструкція розкидача твердих мінеральних добрив;
- обґрунтовано раціональні параметри та режими розподільника твердих мінеральних добрив.

**Апробація результатів роботи.** Кокалюк Ю. Проблеми диференційованого внесення добрив: тези IV студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, ЛНТУ. – 2024. С. 104–106.

**Структура й обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 13 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 40 сторінках, містить 23 рисунки.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

## 1.1 Класифікація робочих органів машин для внесення добрив

Класифікація робочих органів машин для внесення добрив виконується за принципами: розсіву, розташування віяла розподілу у просторі (спосіб надання швидкості частинкам добрива та тип руху робочого органу) та за принципами управління якістю розсівання

Гравітаційний спосіб розсівання реалізується в тукових і комбінованих сівалках з широкими ящиками (рис. 1.1). Виніс добрив з ємності відбувається тарілчастим, гусеничним, ланцюговим, зірчастим, шнековими або лопатевими висівальними апаратами. Далі добрива під дією сили тяжіння подають униз на поверхню поля або в борозни. на шляхи падіння частинок можуть встановлюватися дошки голки або інші розподільники.

Для розподілу використовується струменевий принцип просіювання дрібнодисперсних добрив та вапна. На виході з апарату формується щільний струмінь, спрямований перпендикулярно до лінії руху машини. Рух струменя в повітряному середовищі призводить до поступового її розпаду. Частки, що відірвалися від струменя, швидко втрачають швидкість і падають на поле. У результаті засівається смуга, ширина якої залежить від швидкості струменя, її щільності та парусності частинок. Контролювати рівномірність просіювання важко і можливо лише за допомогою перекриття смуг від окремих струменів або від суміжних проходів машини. Струм можна створювати механічними апаратами у вигляді транспортної стрічки, ротором з круговим щитком або пневматичними металіками у вигляді ексгаустерів і ежекторів. Струменевий принцип використовують у землерийних машинах при очищенні або нарізування зрошувальних каналів, у навантажувальних машинах при заповненні складів та барж, що транспортують сипучі матеріали.

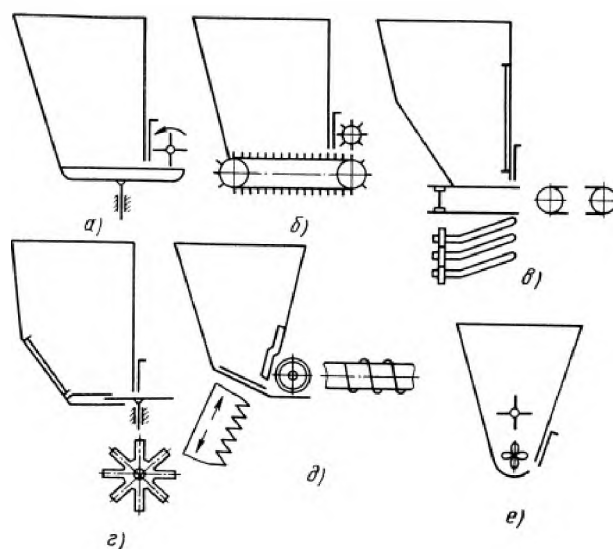


Рисунок 1.1 – Типи висівних апаратів тукових сівалок гравітаційного розсіву мінеральних добрив: а – тарілчастий; б – гусеничний; в – ланцюговий; г – зірковий; д-шнековий; е-лопатевий

Віяловий принцип розсіву (рис. 1.2) з розташуванням віяла в горизонтальній площині застосовують для розподілу гранульованих добрив. Віяло створюється шляхом скидання гранул з лопаток відцентрового диска на дузі кола до  $180^\circ$  з початковою швидкістю, що сягає 40 м/с. Щільність потоку частинок у цьому напрямку можна регулювати та задавати під час конструювання шляхом зміни параметрів зони подачі, тобто форми туконапрячника та його положення, форми та виду руху диска та лопаток.

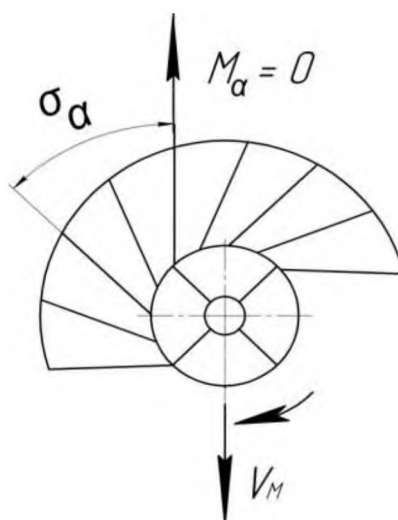


Рисунок 1.2 – Схема віялового розподілу мінеральних добрив однодисковим апаратом

Принцип реалізується однодисковими та дводисковими апаратами.

Однодисковий апарат повинен створювати віяло з центральним кутом менше  $180^\circ$ . При зосередженій подачі добрив на диск щільність ймовірності кута кидання близька до закону нормального розподілу. Кутом сектора розсіву прийнято вважати кут, що дорівнює чотирьом середнім квадратичним відхиленням. У межах цього кута сходять з диска понад 95% від усіх добрив, що подаються на диск.

Дводискові апарати складніші за однодискові, але мають більшу стабільність розподілу за зміни властивостей добрив. У проміжку між дисками лопатки можуть рухатися від трактора (рис. 1.3), або до трактора (рис. 1.4). Традиційно застосовується схема від трактора, однак вона має істотний недолік. Розподіл добрив по ширині смуги розсіву досить рівномірний. Правильним перекриттям можна здобути нерівномірність 2...3%.

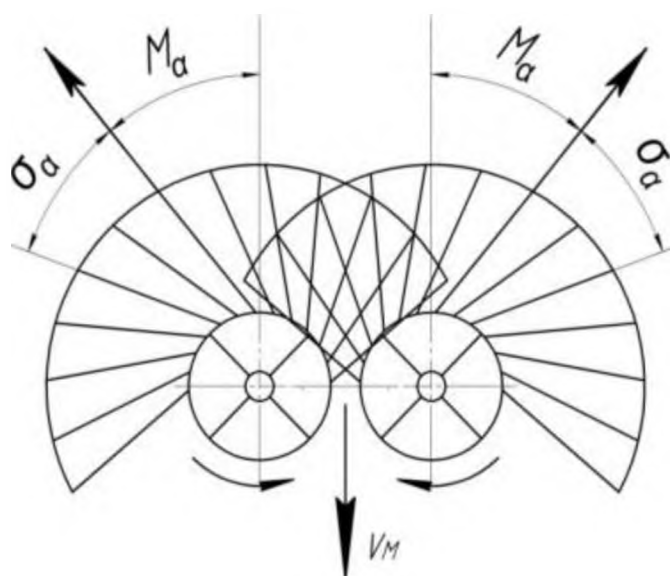


Рисунок 1.3 – Схема розташування віял розсіву у дводискового апарата під час руху лопаток від трактора

Однак, чутливість до зміни фрикційних властивостей добрив, хоча і менше, ніж у однодискового апарату, але все ж досить висока. Це походить від того, що перекриття секторів розсіву мало. Зробити його великим не можна через те, що диски заважають один одному, частинки добрив з одного диска потрапляють на

лопатки іншого і починається неупорядкований сход добрив. В результаті такої роботи дисків по лінії проходу машини виходить пік дози, який неможливо вирівняти перекриттям проходів, або велике перекриття зменшує робочу ширину розсіву.

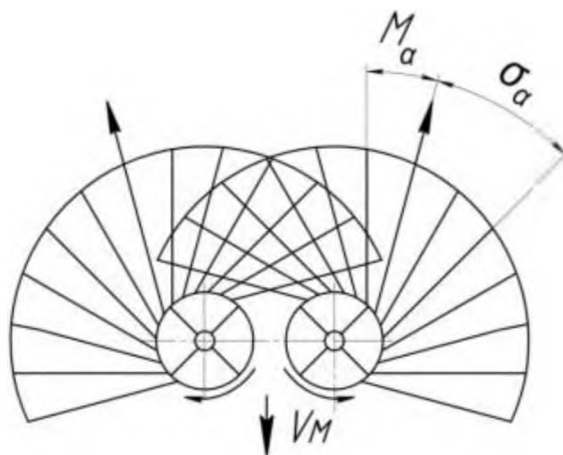


Рисунок 1.4 – Схема розташування віял розсіву у дводискового апарату під час руху лопаток до трактора

Зниження взаємних перешкод іноді досягається встановленням дисків на різній висоті, або нахилом осі обертання одного з дисків у поперечно вертикальній площині на кут  $5...10^\circ$ . У такому разі сектор розсівання похилого диска в зоні перекриття розташований нижче горизонтального диска і перешкоди зменшуються. Більш раціональним є застосування схеми руху лопаток до трактору. У цьому варіанті створюється можливість збільшення секторів посіву до значень близьких до  $0,8$  рад, як у однодискового апарату. У цьому випадку досягається максимально можлива нечутливість розподілу до зміни фрикційних властивостей добрив.

## 1.2 Розподільні системи

Найпростіша розподільча система складається з одного або двох дисків з лопатками та туконапрямниками з дільником потоку (рис. 1.5).

Диски обертаються за схемою «від трактора», забезпечені жолобчастими

лопатками (вид А). Туконапрячник складається з плоских листів, що утворюють два скатні жолоби. Тукодільник складається з двох пластин, з'єднаних зверху шарніром. Нижні кінці пластин можна розсувати або зрушувати.

У першому випадку добрива подаються ближче до центрів дисків, кути сходу частинок добрив збільшуються, і перекриття секторів розсіву зменшується. Доза внесення добрив у центрі смуги розсіву зменшується. Розсуванням пластин збільшують перекриття секторів і дозу внесення добрив на лінії проходу. Переміщення туконапрячник вперед збільшує концентрацію добрив на лінії проходу машини.

Розподільна система такого типу призначена для внесення добрив та меліорантів з дозами до 6000 кг/га. Відмінність доз у 60 разів створює труднощі у забезпеченні якісного розсіву добрив і вапна.

Зарубіжні фірми зазвичай застосовують у таких випадках змінні диски. Для добрив диски мають менше лопаток, а туконапрячники наближені до дисків і одночасно виконують роль регуляторів висіву. Загострена жолобчаста лопатка, на думку розробників, забезпечує захоплення добрив, що відсікаються від струменя, без відбиття і пересипань через верхню кромку.

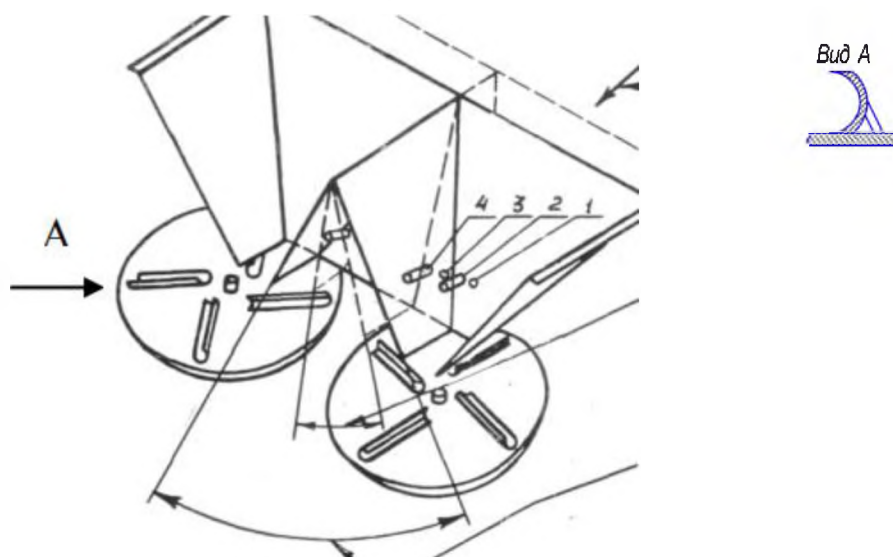


Рисунок 1.5 – Схема регулювання туконаправлювача: 1,,2,3,4 – отвори для регулювання положення дільника потоку

Розподільна система такого типу призначена для внесення добрив та меліорантів з дозами до 6000 кг/га. Відмінність доз у 60 разів створює труднощі у забезпеченні якісного розсіву добрив та вапна.

Зарубіжні фірми зазвичай застосовують у таких випадках змінні диски. Для добрив диски мають менше лопаток, а туконаправляючі наближені до дисків і одночасно виконують роль регуляторів висіву.

Загострена жолобчаста лопатка, на думку розробників, забезпечує захоплення добрив, що відсікаються від струменя, без відбиття і пересипань через верхню кромку.

Основним завданням диска та направляючих є створення на виході з апарата вирівняного за швидкостями частинок потоку добрив. Розподіл на виході з апарата має бути керованим. У ньому не повинно бути хаотично рухомих з малою швидкістю частинок.

Швидкісна зйомка показує, що плоска лопатка в кінці перетину струменя створює більярдний ефект. Сила удару лопатки по струменю передається не тільки тим часткам, які розташовані нижче за лопатку, а й тим, які розташовані вище за неї. Як у більярді при ударі по одному з передніх куль, розташованих трикутником на початку гри, задні кулі рухаються у різні боки. Сила удару передається в точках контакту куль, тобто під кутом укладання. З цієї причини на виході з апарату спостерігається два види частинок. Одні з них сходять з кінця лопатки, інші – поверх лопатки. Частинки, що сходять із диска поверх лопаток, мають швидкість рівну швидкості лопатки в місці подачі, тому дальність їх польоту мала. Ці частки падають на поверхню поля поблизу апарату.

Експериментально встановлено, що за нецентральної зосередженою подачі добрив на диск, щільність ймовірності кута кидання близька до функції нормального розподілу.

Однак, на кривій емпіричного розподілу добрив по куту  $\lambda$  є подвійні перегини, що свідчать про наявність двох сукупностей частинок на сході з диска. Установка конічного розтрубу над лопатками (рис. 1.6) виключає сход частинок від первинного удару. Розподіл по розі стає симетричним (рис. 1.7). Усі частинки

сходять з кінців лопаток із великою швидкістю. Майданчик  $S_1$  пропорційна кількості частинок, що сходять від первинного удару, і становить близько 20% від усієї подачі.

Розкидач 1-РМГ-4 у першій половині зони розсіву дає дальність 1,8...3 м, а у другій – 5...6 м. Це означає, що жолобчаста лопатка не усуває сходження частинок від первинного удару.

Можна думати, що мала дальність польоту частинок у першій частині сектора розсіву не є недоліком апарату. Ці частки летять у напрямках мало відхиляються від лінії руху і немає істотної різниці в дальності їх польоту. Однак з цим можна було б погодитися, якщо б сход цих частинок був керованим. Тоді поворотом сектора розсівання можна було б отримати рівномірний розподіл у центрі смуги посіву, а на краях вирівняти його перекриттям проходів. Насправді сход цих частинок некерований і поворот секторів розсіву дає зменшення піку дози на лінії проходу. З цієї причини робочу ширину доводиться сильно зменшувати, нерівномірність 5...10% отримати неможливо щільності кута кидання біля відкритого дискового апарату (1) і в апарата з конічним розтрубом (2)

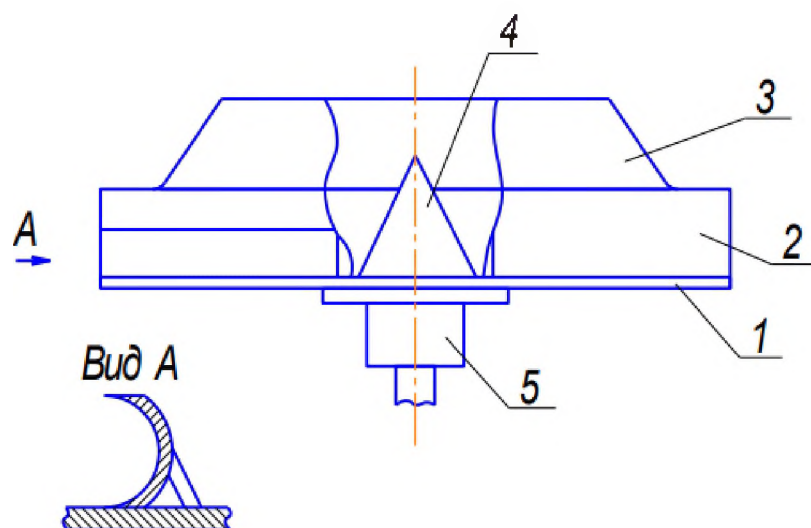


Рисунок 1.6 – Диск розподільний з жолобчастими лопатками та конічним розтрубом : 1-диск; 2-лопатка жолобчаста; 3-розруб конусний; 4-конус центральний; 5-ступиця

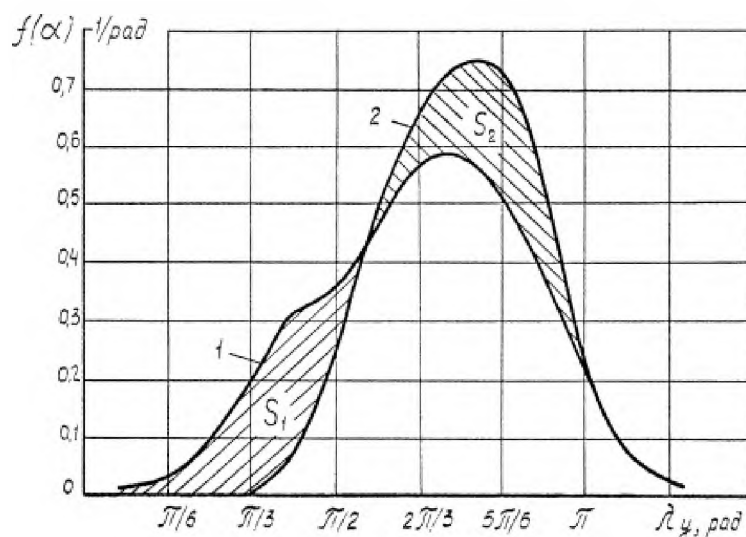


Рисунок 1.7 – Графіки функції

Провідні компанії Німеччини, Франції та інших країн ЄС виробляють агрегати з розподільчими системами, що забезпечують внесення гранульованих добрив на ширині до 44 метрів. Нерівномірність при оптимальному перекритті менше 10%. Розподіл азотних добрив вважається відмінним при нерівномірності 5%.

**Розподільна система DPX.** Система DPX magnum фірми «Sulky Burel» включає розподільчий диск, дозуючу систему та туконапрямок (рис. 1.8). Дві лопатки різної довжини зовнішні кінці відхилені проти обертання диска. Кінці лопаток ступінчасті. Цим забезпечується накладення чотирьох секторів розсіву від кожного диска. У центрі диска є конус, що запобігає круговому сходу добрив з диска.

Регульований жолоб дозволяє переміщати точку подачі добрив у поздовжньому напрямку. Цим регулюється ширина розсіву та перекриття секторів від двох дисків. Дозуюча заслінка розташована в похилій стінці вирви, що виключає вплив на норму висіву ступеня заповнення бункера та коливань машини на нерівностях поля. Управління заслінками, що перекривають подачу добрив на диск, на замовлення може бути тросовим або гідравлічним з кабіни трактора. Кожна заслінка керується незалежно від іншої.

Запатентовані компанією вібруючі мішалки забезпечують рівномірний

висів добрив незалежно від кількості добрив у бункері. Плоскі лопатки і відсутність огороження поверх лопаток можна вважати недоліком системи, оскільки цим допускається нерегульований хаотичний сход добрив з малою швидкістю.

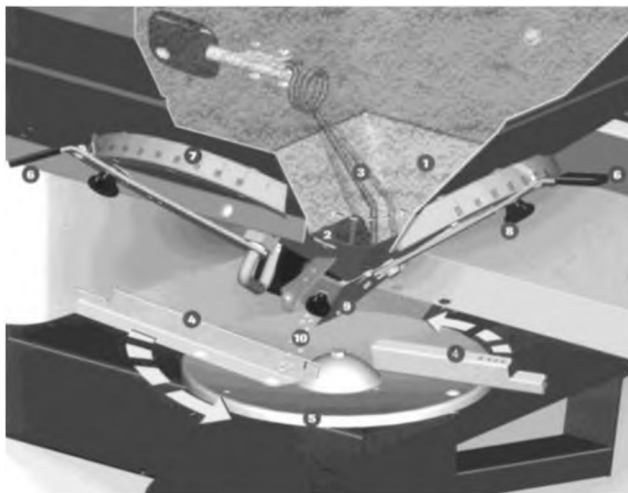


Рисунок 1.8 – Розподільча система DPX: 1 – основа бункера; 2 – дозуюча заслінка; 3 – вібратор; 4 – лопатки; 5 – диск; 6 – важелі регулятора дози та ширини розсіву; 7 – шкала; 8 – фіксатор; 9 - жолоб туконапрямник; 10 – потік добрив



Рисунок 1.9 – Диск OMNIA-SET

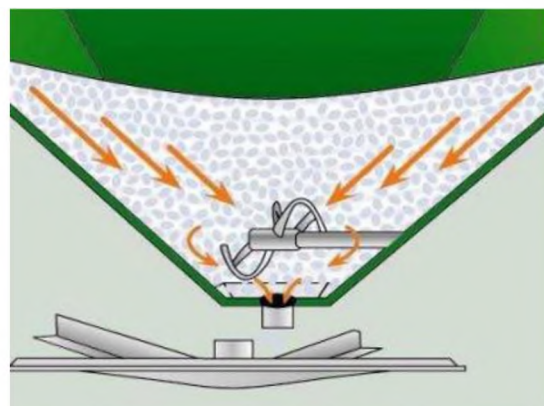


Рисунок 1.10 – Система дбайливого внесення добрив SBS «Amazone»

**Розподільна система RAUCH** (рис. 1.11 і 1.12) складається з дозуючих заслінок і розподільчих дисків. У приводі дисків є реверс, що дозволяє включати роботу дисків за схемою «до трактора» (рис. 1.11) та за схемою «від трактора»

(рис. 1.12).



Рисунок 1.11 – Схема роботи системи  
«до трактора»



Рисунок 1.12 – Схема роботи  
системи «від трактора»

Лопатки (рис 1.12) з боку, зверненого до центру, мають два ступені за висотою. У зоні перетину струменя добрив лопатка низька, має швелероподібну форму. Далі висота лопатки збільшена для уловлювання часток, що отримали в зоні подачі швидкість з вертикальною складовою. Зовнішній кінець лопатки має регульовану пластину, що дозволяє повідомити частинкам швидкість під кутом до горизонту, та збільшити дальність метання. Поворот пластини виконується щодо зовнішнього кінця. Якщо пластина опущена не до низу лопатки, вона поділяє сипуче тіло добрив на дві частини. Нижня частина сходить з лопатки у горизонтальній площині, а верхня – кутом до горизонту. Таким чином лопатка дає два сектора.

**Розподільна система Rotaflow Vicon.** Система складається з розподільчого диска, камери прискорення, злодії шилки та регульовальних пристроїв (рис. 1.1). Диск має вісім нерегульованих лопаток і верхню кільцеву накладку. Лопатки віддалені від центр диска так, що вони охоплюють камеру прискорення. Камера прискорення встановлена над диском із невеликим зазором. При роботі корпус камери прискорення нерухомий. Камера складається з двох циліндричних об'єктивів з прямокутними отворами у бокових поверхнях. Всередині камери (рис. 1.16) розташовані конус і циліндр з лопатками



Рисунок 1.153 – Розподільна система прискорення Rotaflow Vicon

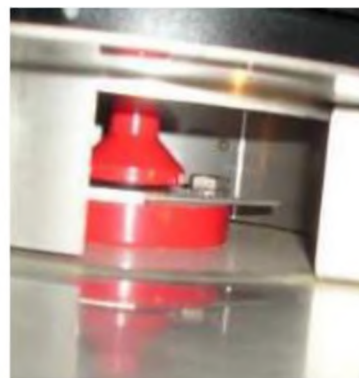


Рисунок 1.14 – Камера системи Rotaflow Vicon

### Висновки до розділу

Виконаний огляд та аналіз літературних джерел дозволяє сформулювати гіпотезу: якісний розподіл мінеральних добрив відцентровим розкидачем може бути досягнуто вибором оптимальних параметрів розподільного пристрою.

## 2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.2 Дослідження подачі добрив на апарат

Подача добрив на розподільний апарат у навісних машин відбувається через дозуючі отвори, розташовані на невеликій відстані над диском. Швидкості закінчення добрив зазвичай такі, що рух добрив до диска можна розглядати як вільне падіння у середовищі без опору.

Подача добрив на робочі органи причіпних машин, особливо при внесення великих норм, часто виконується туконапрямляючими у вигляді похилого лотка. Розглянемо рух частинки добрив по нерухомому лотку при куті його нахилу  $\alpha$  більшому куту тертя  $\varphi$ . На частинку масою  $m$  діють: сила тяжіння  $mg$ , сила тертя  $F$  і сила нормального тиску  $N$ .

Диференціальне рівняння руху частинки після простих перетворень наводиться до виду

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = g \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (2.1)$$

де  $S$  - шлях, пройдений часткою;

$\varphi$  – кут тертя частинки за матеріалом туконапрямника;

$\alpha$  – кут нахилу туконапрямника до горизонту;

$g$  – прискорення вільного падіння у порожнечі.

При нульових початкових умовах швидкість  $V_1$  сходу частинки з туконапрямника довжиною  $L$  визначається рівнянням

$$V_1 = \sqrt{\frac{2gL \sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}}, \quad (2.2)$$

Швидкість  $V_1$  є швидкістю надходження частинок на орган, що розкидає. Від неї залежить місце подачі та напрямок сходу частинки з диску.

Найважливішою вихідною характеристикою першого етапу процесу є щільність потоку добрив по ширині лотка. Масова витрата добрив  $Q$ , кг/с вважаємо розподіленим по ширині лотка  $x$  так, що виконується співвідношення

$$q_x = \frac{dQ}{dx}, \quad (2.3)$$

де  $q_x$  - щільність потоку по ширині  $x$ , кг/(с м).

Вважаючи ширину  $x$  випадковою величиною із заданою функцією щільності ймовірностей  $f(x)$ , можна записати

$$q_x = Qf(x) \quad (2.4)$$

При рівномірному заповненні лотка туконепрямника шириною  $b$  отримаємо  $q_x = Q/b$ .

## 2.2 Дослідження руху добрив радіальними лопатками апарату

Робочими органами машин для внесення добрив є розподільні диски, туконепрямники, пристрої для регулювання дози поза несення, транспортери, пристрої для прикордонного внесення, вітрозахисні розподільні пристрої, пристрої для внесення зручностей на схилах. Усі робочі органи відіграють важливу роль у формуванні розподілу добрив по полю. Аналіз робочих органів у цій роботі виконаний з позицій керування якістю розсіву.

Траєкторія польоту гранул твердих мінеральних добрив залежить більшою мірою від двох показників:

– коефіцієнта парусності

$$k_v = \frac{2g \cdot \gamma_r \cdot d}{3\gamma \cdot V_{кр}^2}, \quad (2.5)$$

де  $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

$\gamma_r$  – щільність гранули,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\gamma$  – щільність повітря,  $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;

$V_{кр}$  – критична швидкість гранул (швидкість витання),  $\text{м/с}$ ;

$d$  – діаметр гранул,  $\text{мм}$ ;

– критичної швидкості

$$V_{кр.} = \sqrt{\frac{G}{k_v \cdot \gamma \cdot F}}, \quad (2.6)$$

де  $G$  – сила тяжкості,  $\text{Н}$ ;

$F$  – міделевий перетин гранули, тобто площа її проекції на площину, перпендикулярну до її повітряного потоку,  $\text{м}$ .

Завдання – визначити час руху частинок добрив по диску, кут сходу та кут кидання, початкову швидкість метання. Вибрати координати місця подачі, що забезпечують отримання заданих характеристик кута кидання. Частина цих завдань вирішено П.М. Василенком [10].

Розглянемо рух частинки добрив по лопатці горизонтального диска, що обертається (рис. 2.1) з метою знаходження швидкості та напрямку політ частки після сходу з лопатки. На частинку масою  $m$ , захоплену лопаткою, в горизонтальній площині діють: відцентрова сила інерції  $P_y = m r \omega^2$ , нормальна реакція  $N$ , сили тертя  $fmg$  та  $fN$ , Коріолісова сила інерції  $P_x = 2 m \omega \xi$ ,

де  $f$  - коефіцієнт тертя добрив про лопатку та диск;

$\xi$  - вісь координат, спрямована вздовж лопатки;

$r$  – радіус-вектор частки;

$r_0$  – радіус подачі частинки на лопатку.

Диференціальне рівняння руху частинки має вигляд

$$\xi'' = r \omega^2 - fg - 2f \omega \xi, \quad (2.7)$$

оскільки  $r = r_0 + \xi$ , то рівняння (2.7) запишемо у вигляді

$$\xi'' + 2f\omega\xi' - \omega^2\xi = r_0\omega^2 - fg. \quad (2.8)$$

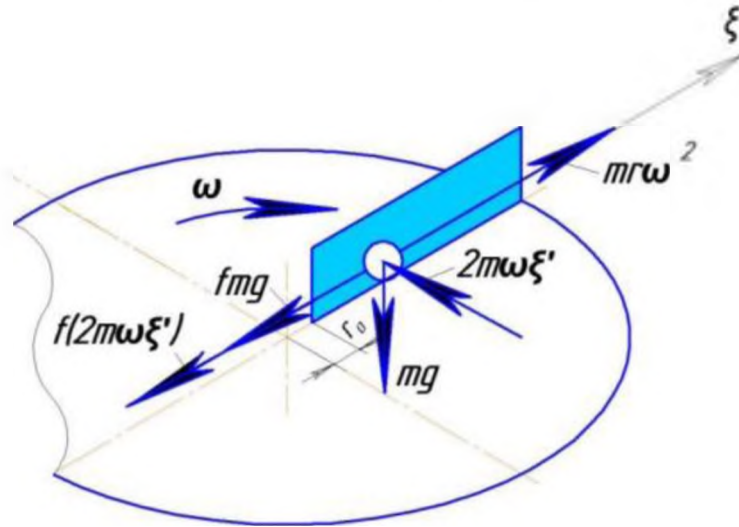


Рисунок 2.1 – Сили, що діють на частину добрив

$$\xi'' + 2f\omega\xi' - \omega^2\xi = r_0\omega^2 - fg. \quad (2.9)$$

Характеристичне рівняння  $\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2 = 0$  лівої частини рівняння (2.7) має два рішення

$$\lambda_1 = \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \omega; \quad \lambda_2 = -\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \omega. \quad (2.10)$$

Рівняння 2.9 при  $\xi' = 0$  и  $\xi'' = 0$  має вигляд  $\bar{\xi} = -r_0 + \frac{fg}{\omega^2}$ .

Позначимо  $A = \frac{fg}{\omega^2}$ ;  $B = r_0$ , тоді  $\bar{\xi} = A - B$ .

Загальне рішення  $\xi = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} - B + A$ .

Постійні інтегрування знайдемо при  $t = 0$ ;  $\xi' = 0$ ;  $\xi = 0$ .

$$C_1 = \frac{(B - A)\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}; \quad C_2 = -\frac{(B - A)\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}.$$

Тоді загальне рішення має вигляд або

$$\xi = (B - A) \left( \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t}) - 1 \right). \quad (2.11)$$

Час  $t_1$  руху частинки по лопатці знайдемо з рівняння (2.11), підставивши в нього повний шлях руху частинки лопаткою, тобто  $\xi = R - r_0$ , де  $R$  – зовнішній радіус диска. Оскільки час входить у показники двох експонентів, то рівняння є трансцендентним щодо  $t$ . Рішення його виконано в системі *Mathcad*.

Відносну швидкість руху частинки по лопатці визначимо за рівнянням

$$\xi' = V_r = (B-A) \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}). \quad (2.12)$$

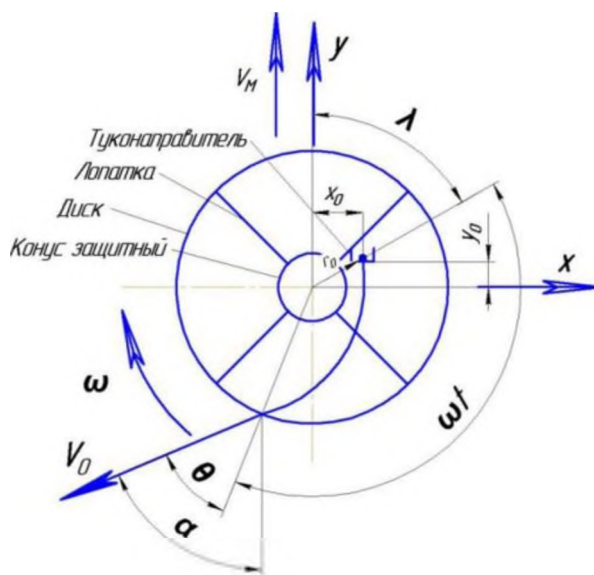


Рисунок 2.2 – Визначення кінематичних параметрів частки при сході з лопатки

Абсолютна швидкість частинки в момент сходу з диска знаходиться сумуванням векторів швидкостей відносної  $V_r$  і переносної  $V_e$ . Так як кут між ними прямий, то

$$V_0 = \sqrt{V_r^2 + V_e^2}$$

Кут сходу частки, тобто кутове переміщення частки в абсолютному руху до моменту сходу з лопатки, знаходиться за формулою

$$\alpha = \lambda + \omega \cdot t_1 + \theta - \pi, \quad (2.12)$$

де  $\lambda$  – кутова координата точки подання частки (рис. 2.2);  
 $\theta$  – кут між абсолютною швидкістю та радіус-вектором частинки.

### Висновки до розділу

У даному розділі кваліфікаційної роботи магістра:

- 1) розроблена математична модель руху добрив радіальними лопатками апарату;
- 2) отримано теоретичні залежності, які дають змогу визначати кінематичні характеристики частинок, що сходять з диска розкидача мінеральних добрив.

### 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Лабораторне обладнання, прилади і апаратура для проведення експериментальних досліджень

Для визначення траєкторії польоту гранул твердих мінеральних добрив проведено лабораторний експеримент із визначення аеродинамічних властивостей ТМД – зокрема, нітроамофоски (60:60:60). Відбиралася і зважувалася проба добрив масою 500 г з точністю до першого десятичного знака. Отримана проба просівалася вручну через набір сит з розміром осередків 1...6 мм і частотою зворотно-поступального переміщення 120 разів на 1 хв при амплітуді рухів 70мм. Після просіву залишки з кожного сита відбиралися і зважувалися з точністю до першого десяткового знаку. В результаті у відсотковому співвідношенні вийшов наступний гранулометричний склад добрива: фракція 6 мм і більше – 0,1%; 5...6 мм – 5%; 4...5 мм – 30,3%; 3...4 мм – 54,5%; менше 3 мм – 10,1%.

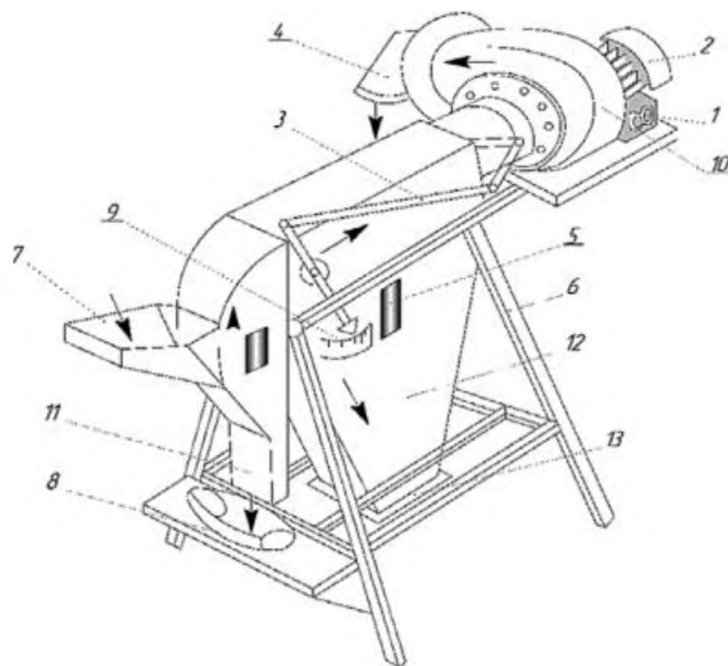
Для визначення аеродинамічних показників використовувалась лабораторна установка (рис. 3.1).

Для проведення експерименту у п'ятиразовій повторності було відсортовано по 500 г кожної із фракцій добрив. Після здійснення пуску установки навішування гранул мінеральних добрив масою 100 г поступово засипали в завантажувальний бункер. Поворотом заслінки 3 встановлювалася мінімальна та максимальна швидкість повітряного потоку. Швидкість, при якій починалося виділення легкої фракції навішування у відстійник 12, приймалася за мінімальну, а при «піднятті» всієї навішення швидкість вважалася максимальною. Діапазон між максимальною та мінімальною швидкістю підрозділяли на 10 інтервалів, користуючись показаннями шкали регулювання заслінки. Через кожні 5 хв роботи заміряли швидкість повітряного потоку, для чого використовувався термоанемометр моделі DT-8880. На підставі отриманих даних для кожної з мінеральних фракцій добрив діапазон значень критичної швидкості  $V_{кр}$  становив 3,7 ... 11 м / с. Після цього розрахунковим шляхом

визначався коефіцієнт парусності гранул твердих мінеральних добрив  $k_v$ , який становив 0,07.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Загальний вид лабораторної установки щодо визначення аеродинамічних властивостей гранул ТМД: 1 – пускач; 2 – електродвигун; 3 – механізм регулювання повітряної заслінки; 4 – вихідний патрубков; 5 – оглядове вікно; 6 – підставка під очисник; 7 – завантажувальний бункер; 8 – ківш; 9 – шкала положення заслінки; 10 – вентилятор; 11 – вертикальний канал; 12 – відстійник; 13 – трубопровід

Для проведення експерименту у п'ятиразовій повторності було відсортовано по 500 г кожної із фракцій добрив. Після здійснення пуску установки навішування гранул мінеральних добрив масою 100 г поступово засипали в завантажувальний бункер. Поворотом заслінки 3 встановлювалася мінімальна та максимальна швидкість повітряного потоку. Швидкість, при якій починалося виділення легкої фракції навішування у відстійник 12, приймалася за мінімальну, а при «піднятті» всієї навішення швидкість вважалася максимальною. Діапазон між максимальною та мінімальною швидкістю підрозділяли на 10 інтервалів, користуючись показаннями шкали регулювання заслінки. Через кожні 5 хв роботи заміряли швидкість повітряного потоку, для чого використовувався термоанемометр моделі DT-8880. На підставі отриманих даних для кожної з мінеральних фракцій добрив діапазон значень критичної швидкості  $V_{кр}$  становив 3,7 ... 11 м / с. Після цього розрахунковим шляхом визначався коефіцієнт парусності гранул твердих мінеральних добрив  $k_v$ , який становив 0,07.

Лабораторний експеримент проведено на розробленому компактному лабораторному стенді, який за допомогою датчиків та широкого діапазону регулювань технологічного процесу має можливість збирати дані про роботу досліджуваного вузла [14]. Даний стенд включає в свій склад всі елементи серійного розподільника ТМД: розподільний диск, дозуючий пристрій, воружники та ін [15, 16] (рис. 3.2).

Роботу з розподілу ТМД з полю здійснює відцентровий розподільний диск з лопатками, а кількість добрив та доставка їх на розподільний диск визначається та здійснюється системою дозування. Аналіз конструкцій розподільного диска показав перспективність систем, оснащених камерами розгону, що мають більше двох лопаток різної довжини [8]. У таких системах відбувається дозоване надходження гранул на диск розподільника, їх сход з лопаток різної довжини дозволяє вносити добрива «пошарово», контролювати і регулювати цей процес.

На лабораторний стенд розподільника ТМД спроектовано та змонтовано диск з розгінною камерою, змінними лопатками та системою дозування (рис. 3.3) [17].



Рисунок 3.2 – Розроблений лабораторний стенд розподільника твердих мінеральних добрив

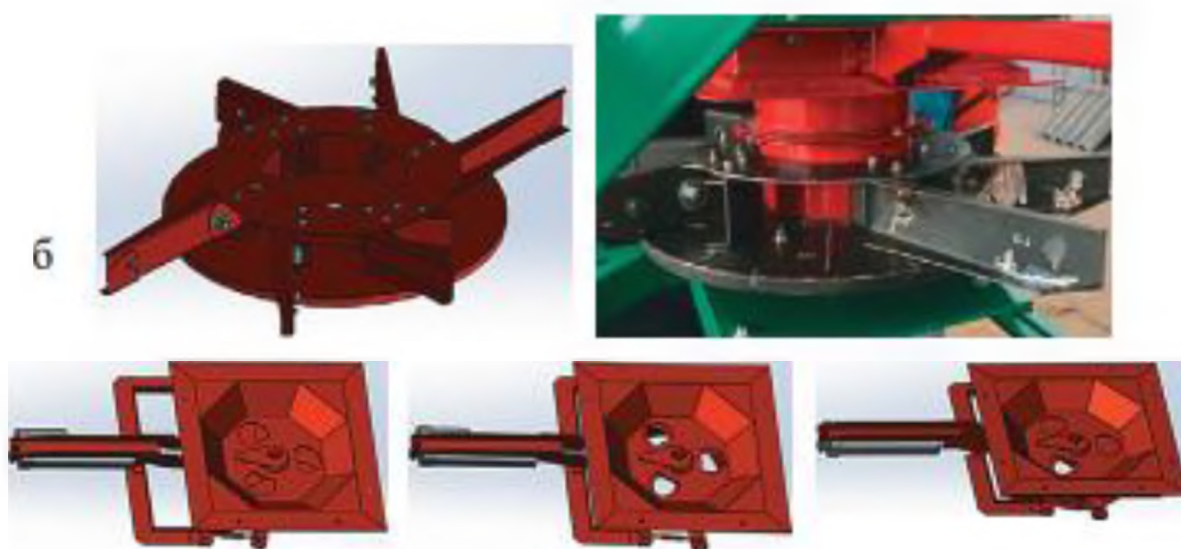


Рисунок 3.3 – Система дозування та розподільний диск розробленого лабораторного стенда

Після визначення гранулометричного складу та аеродинамічних властивостей гранул, враховуючи площу відведеної дослідної ділянки 150 м<sup>2</sup> та середньостатистичну дозу добрив, що вносяться 400 кг/га (N60P60K60), мінеральне удобрення нітроамофоски розфасували на порції по 6 кг. Для визначення рівномірності розподілу мінеральних добрив були використані лотки розміром 500x500 мм. Виготовлені лотки розставлялися на площі 150 м<sup>2</sup> в ангарі згідно зі схемою, представленою на рисунку 3.4.

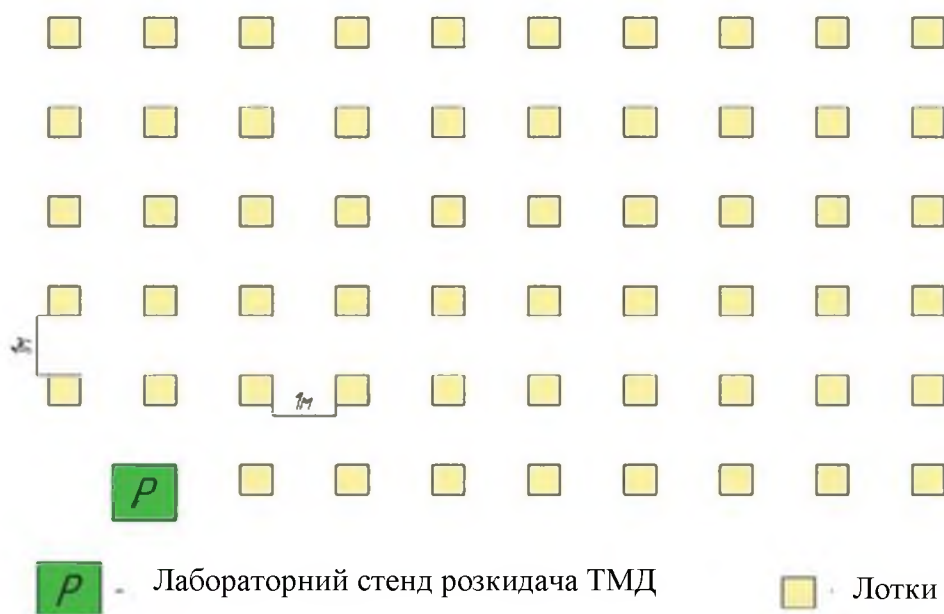


Рисунок 3.4 – Схема розташування лотків

Після розміщення лотків лабораторний стенд підключався до джерела живлення та персонального комп'ютера з встановленою на ньому інтелектуальною системою управління технологічними процесами внесення твердих мінеральних добрив. Потім на ньому монтувався експериментальний диск розкидача відцентрового типу з вибраними числом, довжиною та формою лопаток.

У процесі дослідження використовувалися прямі лопатки «П-подібної» форми завдовжки від 100 до 300 мм. Висота установки розподільного диска від землі складала 0,7 м, кут нахилу щодо горизонту – 0°, частота обертання – 550

об/хв. У бункер лабораторного стенду завантажувалася порція мінеральних добрив. При виході двигуна на задану частоту обертання проводився вибір необхідної відстані висування штифта активатора для відкриття шибєрних заслінок на потрібну величину і починався процес розподілу добрив. Після завершення кожної повторності відбувався збір та проводилося зважування зразків із кожного лотка.

### Висновки до розділу

1. Для можливості регулювання рівномірності розподілу твердих мінеральних добрив розкидачами відцентрового типу необхідно зону з найбільшою дозою внесення добрив розміщувати по центру ширини захвату.

2. Зміщення вихідного вікна розгінної камери, що впливає на зону розсіву гранул ТМД, може використовуватися для коригування внесення мінеральних добрив.

3. Найбільша рівномірність розподілу твердих мінеральних добрив досягається при використанні диска із комбінацією 8 лопаток різної довжини: 2 шт. - 300 мм; 2 шт. - 250 мм; 2 шт. - 200 мм; 2 шт. - 100 мм (при попарному співвісєне розташування лопаток однієї довжини).

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним з факторів, що найбільше впливають на рівномірність внесення твердих мінеральних добрив, є траєкторія їх польоту після сходу з лопаток відцентрового диска, що розкидає. На траєкторію польоту гранул мінеральних добрив впливають не лише технічні та технологічні параметри лабораторного стенда розкидача відцентрового типу, але й абсолютна швидкість сходу частинки з диска, висота розташування диска над поверхнею землі та аеродинамічні властивості самих гранул твердих мінеральних добрив. Проведені теоретичні дослідження дозволили визначити відносну швидкість руху частинок по лопатці розподільного диска (4.1) і дальність польоту гранул (4.2):

$$V_R = \frac{R_0 \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi_0 - \sin \varphi_0) + S_{\text{л}} \cdot \omega^2 - f \cdot g}{f \cdot \omega} + (V_0 - \frac{R_0 \cdot \omega^2 (\cos \varphi_0 - f \sin \varphi_0) + S_{\text{л}} \cdot \omega^2 - f \cdot g}{f \cdot \omega}) \cdot e^{-f \omega t}, \quad (4.1)$$

де  $V_R$  – відносна швидкість руху частинки лопаткою, м/с;

$R_0$  – відстань початку лопатки від центру диска, м;

$\varphi_0$  – початкове значення кута  $\varphi$ , рад/с;

$S_{\text{л}}$  – шлях, пройдений часткою по лопатці, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання диска, рад/с;

$f$  – коефіцієнт тертя добрива за металом;

$V_0$  – швидкість частки на виході з розгінної камери, м/с;

$$l_x = \frac{\ln(k_B V_{\text{нач}} t + 1)}{k_B}, \quad (4.2)$$

де  $V_{\text{нач}}$  – швидкість гранули в останній момент сходу її з лопатки, м/с;

$t$  – час польоту гранули, с;

$l_x$  – дальність польоту гранули, м.

Отриманий коефіцієнт парусності дозволив розрахувати траєкторію польоту гранул добрив залежно від довжини встановлених на розподільному диску лопаток та кута розташування вікна розгінної камери лабораторного стенда розподільника ТМУ (рис. 4.1).

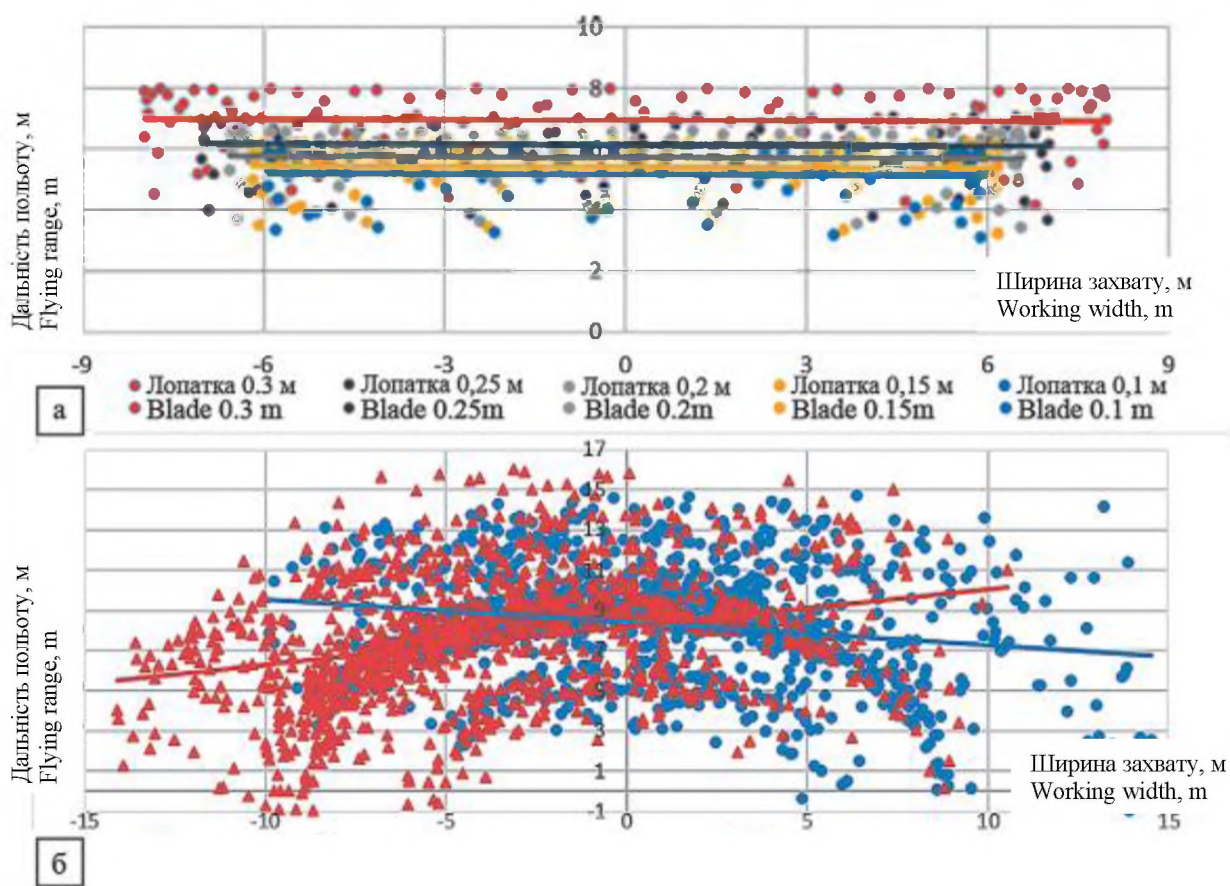


Рисунок 4.1 – Розподіл гранул добрива диском з різною довжиною лопаток (а) та поворотом розгінної камери на  $30^\circ$  (б)

Зазначимо, що зміна положення розгінної камери дозволяє змінювати напрямок факела розподілу ТМД в напрямку, що відповідає напрямку повороту. При довжині лопаток 0,3 м ширина зони розподілу становить приблизно 16 м, а дальність зони розподілу – 8 м (рис. 4.1, а). Водночас час при довжині лопаток 0,1 м ширина зони розподілу знижується приблизно до 12 м, а дальність – до 6 м (рис. 4.1, б).

Можна припустити, що для максимального збільшення зони покриття та збереження високої рівномірності на всьому віддаленні від розподільчого диска раціональним є використання диска, що розкидає, з комплектом лопаток різної довжини.

Для підтвердження теоретичних залежностей на лабораторному стенді за представленою у розділі 3 методикою проведено лабораторні дослідження з визначення раціонального кута випередження вихідного вікна розгінної камери.

Проекції розподілу гранул ТМУ диском з чотирма парами лопаток різної довжини в залежності від кута випередження вихідного вікна розгінної камери розподільчого диска представлені на рисунку 4.2.

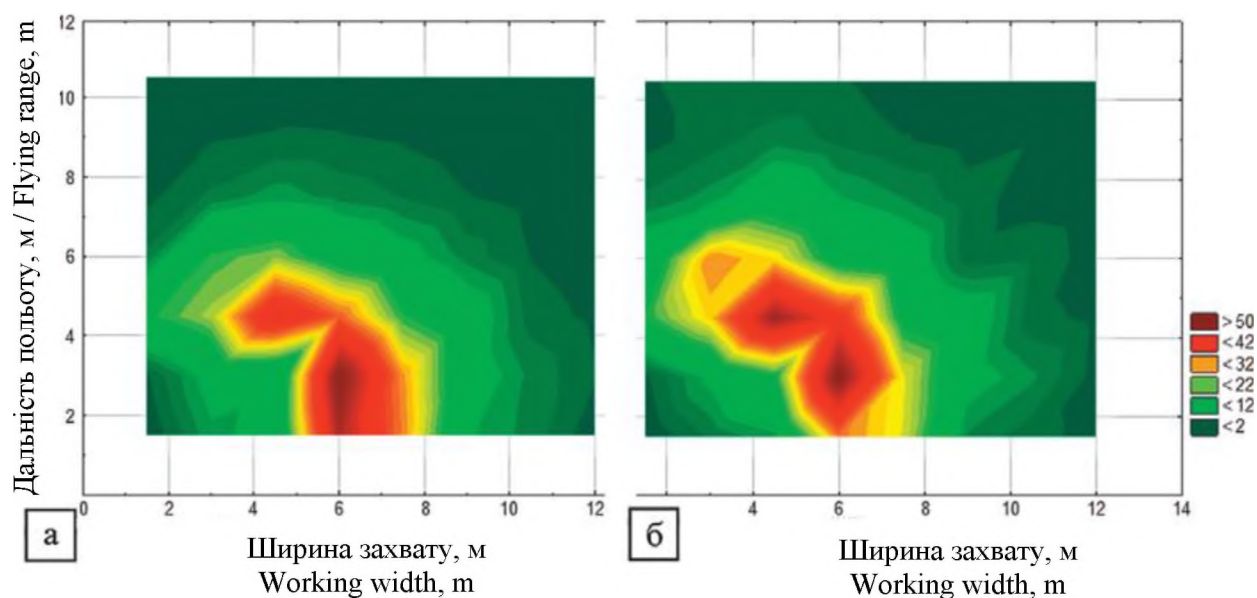


Рисунок 4.2 – Проекція розподілу гранул мінеральних добрив при куті випередження вихідного вікна розгінної камери  $+30^\circ$  (а) та  $0^\circ$  (б)

Встановлено, що усунення вихідного вікна розгінної камери розподільчого диска веде до переміщення зони інтенсивного покриття у напрямку повороту вихідного вікна розгінної камери, що дозволяє регулювати інтенсивність розсіву гранул ТМУ.

Теоретичні дослідження показали вплив довжини лопаток на швидкість і дальність польоту гранул добрив. Для перевірки теоретичних даних проведено серію експериментів, в якій варіювалися довжина лопаток, частота обертання

диска, положення вихідного вікна розгінної камери. У ході проведення експериментальних досліджень підтверджено вплив на дальність польоту гранул та їх розподіл за площею розсівання довжини лопаток (рис. 4.3, 4.4).

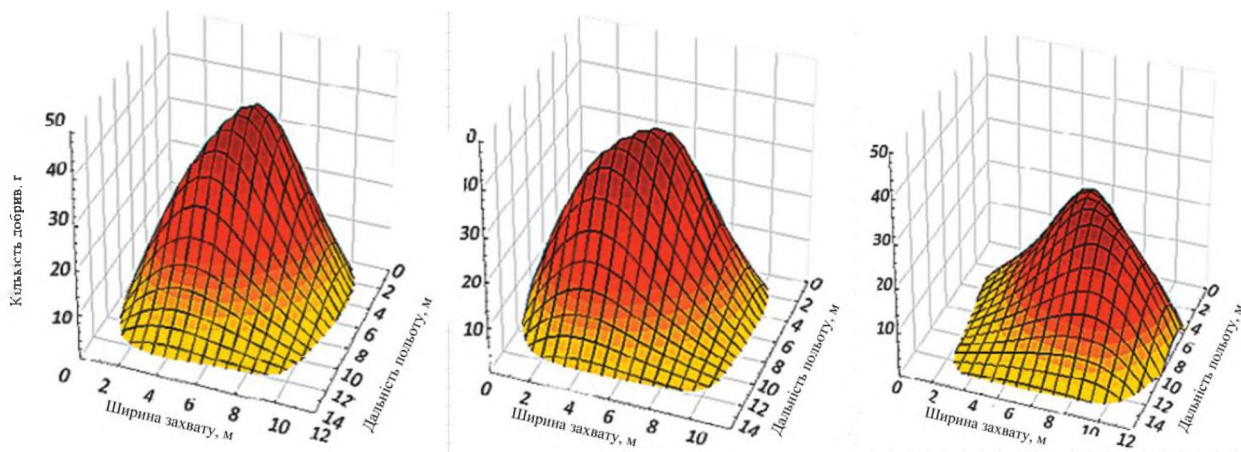


Рисунок 4.3 – Графік поверхні розподілу ТМД по площі розсівання диском із 6 однаковими лопатками довжиною 200 мм (а), 250 мм (б) та 300 мм (в)

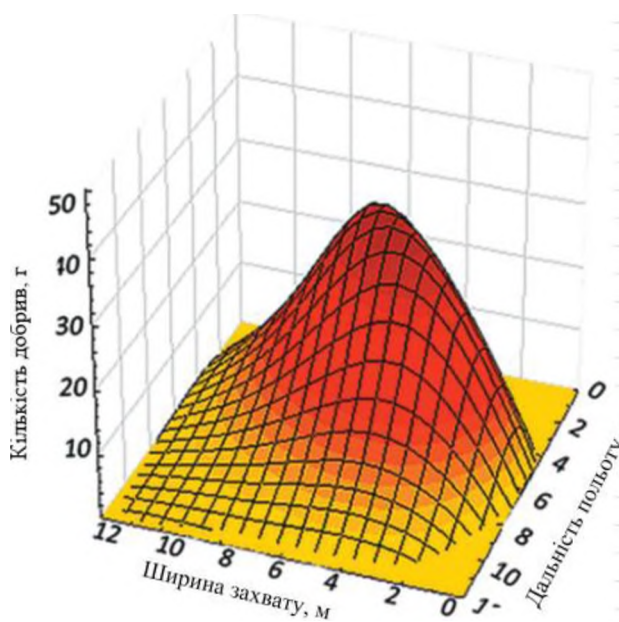


Рисунок 4.4 – Графік поверхні розподілу ТМД за площею розсівання диском з 8 співвісно розташованими лопатками: 1 пара – 100 мм; 2 пари – 200 мм; 3 пари – 250 мм; 4 пари – 300 мм

## Висновки до розділу

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що довжина лопаток істотно впливає на дальність польоту гранул і їх розподіл за площею розсіву. Так, із збільшенням довжини лопаток зростають ширина захвату та дальність польоту гранул. При порівнянні результатів встановлено, що максимальна кількість добрив на одиницю площі знижується з 35 г при довжині лопатки 200 мм до значення менше 20 г при довжині лопатки 300 мм. При цьому спостерігається перерозподіл ТМД за площею розсіву, а також збільшується ширина захвату з 10 м до 12 м відповідно. Спостерігаються перерозподіл частинок за площею та усунення зони розсівання щодо центру по ходу обертання диска.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При диференційованому внесенні твердих мінеральних добрив (ТМД) точно регулювати дозування та рівномірно розподіляти гранули по полю дозволяють робочі органи відцентрових розподільників добрив.

З метою виявлення найбільш раціональних параметрів та режимів розподільника ТМД, що впливають на траєкторію польоту гранул та рівномірність розподілу добрив по полю, проведено теоретичні та експериментальні дослідження відцентрового диска розподільника твердих мінеральних добрив, оснащеного поворотною розгінною камерою та набором змінних П-подібних лопаток.

Описано вплив довжини лопаток на траєкторію та дальність польоту гранул добрив, а також вплив повороту вихідного вікна розгінної камери на смолоскип розподілу добрив.

На розробленому лабораторному стенді розподільника твердих мінеральних добрив проведено експеримент з визначення аеродинамічних властивостей гранул нітроаммофоски (60:60:60), який дозволив визначити фізичні параметри, що впливають на дальність і траєкторію їхнього польоту – коефіцієнт парусності та критичну швидкість.

Встановлено, що усунення вихідного вікна розгінної камери розподільного диска веде до переміщення зони інтенсивного покриття у напрямку поворот вихідного вікна розгінної камери. Це дозволяє регулювати інтенсивність та надає безпосереднє вплив на зону розсівання гранул твердих мінеральних добрив.

Дано обґрунтування найбільш раціональної конструкції розподільного диска. Встановлено, що найбільша рівномірність розподілу твердих мінеральних добрив досягається при використанні диска з 8 попарно співвісно розташованими лопатками довжиною 300, 250, 200, 100 мм.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Methods of fertilization in precision farming. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018; 12(4): 4-9. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9>
2. Teterina O.A., Kostenko N.A. Improving machines for applying mineral fertilizers. *Yunost' i znaniya – garantiya uspekha – 2017: sb. nauch. tr. 4-y Mezhdunar. molodezhnoy nauch. konf. In two vol.* 2017: 202-205.
3. Li ZX., Chi FQ., Zhang JM., Kuang EJ., Su QR. Effects of Long-Term Localized Fertilization on Nutrient Balance and Dynamic Change of Humic Acid Molecular Structure in Black Soil. *Spectroscopy and spectral analysis*. 2018; 38(12): 3875-3882.
4. Romanenkov V., Belichenko M., Petrova A., Raskatova T., Jahn G., Krasilnikov P. Soil organic carbon dynamics in long-term experiments with mineral and organic fertilizers. *Geoderma Regional*. 2019; 17: e00221. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00221>
5. Dorokhov A.S., Novikov N.N., Mitrofanov S.V. Intelligent technology for establishing a fertilizer system. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020; 7 (277): 2-5.
6. Zhang X., Dong W., Dai X., Schaeffer S., Yang F., Radosevich M., Xu L., Liu X., Sun X. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer. *Science of The Total Environment*. 2015; 536: 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.043>
7. Ковтун, Ю.В. Статистичні аспекти показників якості при механізованому внесенні добрив / Ю.В. Ковтун, Л.Г. Нетецький // Механізація та електрифікація сільського господарства: Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. – Полтава: РВВ ПДАА, 2007. – Т. 6 (25). – С. 65-68..
8. Машины для подготовки та внесения добрив. Студопедія: веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/1863006/page:9/>

9. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник. За ред. Войтюка Д. Г. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

10. Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. Сільськогосподарські і меліоративні машини: навчальний посібник. К.: ППТО НАПН України, 2015. 291 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/32309941.pdf>

11. Теорія коливань і стійкості руху Підручник для студентів вузів М. В. Василенко, О. М. Алексейчук. – Режим доступу: <https://opac.library.pl.ua/bib/1726355>

12. Розрахунок технологічних параметрів відцентрового робочого органу машини для внесення мінеральних добрив. Методичні вказівки до дипломного проектування. ТДАТУ, каф. СГМ. – Мелітополь, 2019. – 19 с.

13. Динамічне моделювання процесу розкидання добрив відцентровим дисковим апаратом. Методичні вказівки до лабораторної роботи. ТДАТУ, каф. СГМ. – Мелітополь, 2012.

# Звіт подібності

## метадані

Заголовок

Кокалюк\_208\_2024

Автор

Кокалюк Ю.В. Науковий керівник / Експерт

підрозділ

Lutsk National Technical University

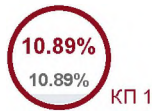
## Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	Ⓡ	11
Інтервали	A→	0
Мікропробіли		2
Білі знаки	Ⓡ	0
Парафрази (SmartMarks)	a	42

## Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

4874

Кількість слів

36869

Кількість символів

## Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

### 10 найдовших фраз

Копір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	Копір тексту
1	<a href="https://repo.btu.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/2584/1/materialy-MNPK_SIAHV_2021-322-324.pdf">https://repo.btu.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/2584/1/materialy-MNPK_SIAHV_2021-322-324.pdf</a>	62	1.27 %
2	<a href="http://176.101.220.8:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/62/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%9B%D0%9D%D0%90%D0%A3%202018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://176.101.220.8:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/62/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%9B%D0%9D%D0%90%D0%A3%202018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>	54	1.11 %

3	<a href="#">Войчак 208_2024</a> 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	44	0.90 %
4	<a href="https://repo.btu.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/2584/1/materialy-MNPK_SIAHV_2021-322-324.pdf">https://repo.btu.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/2584/1/materialy-MNPK_SIAHV_2021-322-324.pdf</a>	38	0.78 %
5	<a href="https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/39216/1/Molod_i_tekhn_prohres_v_APV_T2_20_79.pdf">https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/39216/1/Molod_i_tekhn_prohres_v_APV_T2_20_79.pdf</a>	30	0.62 %
6	Підвищення посівних властивостей насіння ріпаку з удосконаленням та обґрунтуванням параметрів машин для очищення та калібрування.docx 12/4/2023 Sumy National Agrarian University (SNAU)	28	0.57 %
7	<a href="#">Войчак 208_2024</a> 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	27	0.55 %
8	<a href="#">Войчак 208_2024</a> 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	21	0.43 %
9	Підвищення посівних властивостей насіння ріпаку з удосконаленням та обґрунтуванням параметрів машин для очищення та калібрування.docx 12/4/2023 Sumy National Agrarian University (SNAU)	17	0.35 %
10	<a href="http://176.101.220.8:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/62/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%9B%D0%9D%D0%90%D0%A3%202018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://176.101.220.8:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/62/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%9B%D0%9D%D0%90%D0%A3%202018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>	16	0.33 %

### з домашньої бази даних (2.34 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	<a href="#">Войчак 208_2024</a> 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	114 (5)	2.34 %

### з програми обміну базами даних (3.06 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	Підвищення посівних властивостей насіння ріпаку з удосконаленням та обґрунтуванням параметрів машин для очищення та калібрування.docx 12/4/2023 Sumy National Agrarian University (SNAU)	149 (13)	3.06 %

### з Інтернету (5.50 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	<a href="https://repo.btu.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/2584/1/materialy-MNPK_SIAHV_2021-322-324.pdf">https://repo.btu.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/2584/1/materialy-MNPK_SIAHV_2021-322-324.pdf</a>	143 (6)	2.93 %

2	<a href="http://176.101.220.8:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/62/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%9B%D0%9D%D0%90%D0%A3%202018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://176.101.220.8:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/62/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%9B%D0%9D%D0%90%D0%A3%202018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>	70 (2)	1.44 %
3	<a href="https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/39216/1/Molod_i_tekhn_prohres_v_APV_T2_2020_79.pdf">https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/39216/1/Molod_i_tekhn_prohres_v_APV_T2_2020_79.pdf</a>	43 (2)	0.88 %
4	<a href="https://infopedia.su/8x3a40.html">https://infopedia.su/8x3a40.html</a>	12 (2)	0.25 %

### Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

---

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СПІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-------	---------------------------------------