

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра агроінжинірингу**

**До захисту**  
**Допускається**  
**Завідувач кафедри**

**Михайло ШУЛЯК**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за магістерським рівнем вищої освіти

на тему: «Дослідження технологічного процесу внесення добрив з обґрунтуванням удосконалення робочого розкидального пристрою машини»

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ростислав СЕМІТКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Група:

СТЗ 2401-2М

Науковий керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Фаріда ХАРЧЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Рецензент:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Михайло ДУМАНЧУК

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерно-технологічний  
Кафедра агроінжинірингу  
Ступінь вищої освіти «Магістр»  
Спеціальність **208 Агроінженерія**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
агроінжинірингу

**Михайло ШУЛЯК**

“ \_\_\_ ” вересня 2024 року

---

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Ростислава СЕМІТКА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження технологічного процесу внесення добрив з обґрунтуванням удосконалення робочого розкидального пристрою машини».
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Фаріда ХАРЧЕНКО, к.т.н., доцент.
3. Строк подання здобувачем роботи: “ 1 ” листопада 2025 року.
4. Вихідні дані до роботи: довідникова література; посібники; наукові журнали з даної тематики; статті з наукових збірників; монографії, тощо за темою наукового дослідження; Інтернет джерела; методичні рекомендації для виконання проєкту (роботи).
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Стан питання внесення добрив та робочих органів машин для виконання технологічної операції. Розділ 2. Методика та обладнання для визначення властивостей добрив. Розділ 3. Результат дослідження механіко-технологічних властивостей сипких матеріалів. Розділ 4. Охорона праці при використанні добрив. Загальні висновки. Список використаних джерел. Додатки.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація у Microsoft Office Power Point (слайд-презентація).

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Фаріда ХАРЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ростислав СЕМІТКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання « \_\_\_ » вересня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1. Стан питання внесення добрив та робочих органів машин для виконання технологічної операції»	до 30.08.2025 р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2. Методика та обладнання для визначення властивостей добрив»	до 14.10.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3. Результат дослідження механіко-технологічних властивостей сипких матеріалів»	до 3.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4. Охорона праці при використанні добрив»	до 15.10.2025 р.	
9.	Написання висновків	до 25.10.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
12.	Подання роботи до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Фаріда ХАРЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ростислав СЕМІТКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

**Семітко Ростислав Олексійович** «Дослідження технологічного процесу внесення добрив з обґрунтуванням удосконалення робочого розкидального пристрою машини».

Кваліфікаційна (магістерська) робота на здобуття ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Сумський національний аграрний університет. Суми. 2025, 56 с. Кваліфікаційна (магістерська) робота складається з чотирьох розділів, вступу, загальних висновків, списку використаних джерел із 26 найменувань, додатків та ілюстрованого матеріалу в вигляді презентації Microsoft Office Power Point.

В кваліфікаційній роботі проаналізовано вплив добрив на врожайність сільськогосподарських культур, їх значення під час живлення; показники, які впливають на ефективність засвоєння добрив та їх способи внесення (стартові, підживлюючі та позакореневі добрива). Наведено огляд машин, які використовуються для внесення добрив (різких, твердих та гранульованих властивостей), як вітчизняних так і зарубіжних фірм з наведеними рисунками робочих розкидальних механізмів. Описано та проілюстровано робочі органи машин для внесення добрив та зроблений короткий патентний огляд машин для внесення мінеральних добрив, а саме їх робочих органів. Для більш якісного та рівномірного розподілу мінеральних добрив запропоновано удосконалення існуючої серійної машини для внесення мінеральних добрив, а саме встановлення модернізованого диска. Описані етапи технологічного процесу розподілу мінеральних добрив по диску. Наведена методика визначення технологічних властивостей сипких матеріалів; таблиці для занесення результатів вимірювань та формули для розрахунку відповідних показників. Для визначення описаних властивостей було запропоновано використання приладі, які є в наявності на кафедрі, а саме приладі для визначення статичного та динамічного коефіцієнтів тертя. Наведені рисунки досліджувальних матеріалів та описано їх характеристики. Наведені результати дослідження, які проводились в трьох кратній послідовності, трьох видів добрива, які мають різні гранулометричні властивості та парусність. Описані питання охорони праці під час роботи з отрутохімікатами та наведені знаки і їх роз'яснення, які розміщені на причіпній машині для внесення мінеральних добрив. Зроблені висновки по роботі.

**Ключові слова:** врожайність, ефективність, механіко-технологічні властивості, способи внесення, аналіз ґрунту, робочі органи, машини для внесення добрив, диск, барабан, розсіюваність, лопать, методика, результат, статичний та динамічний коефіцієнт тертя, прилад, охорона праці, знаки безпечної експлуатації.

## ABSTRACT

**Semitko Rostyslav Oleksiyovych** “Study of the technological process of fertilizer application with justification of the improvement of the working spreading device of the machine”.

Qualification (master's) thesis for the degree of master in specialty 208 Agricultural Engineering. – Sumy National Agrarian University. Sumy. 2025, 56 p. Qualification (master's) thesis consists of four sections, introduction, general conclusions, a list of sources used from 26 names, appendices and illustrated material in the form of a Microsoft Office Power Point presentation.

The qualification work analyzes the impact of fertilizers on crop yields, their importance during nutrition; indicators that affect the efficiency of fertilizer absorption and their methods of application (starting, top dressing and foliar fertilizers). An overview of machines used for applying fertilizers (sharp, solid and granular properties), both domestic and foreign companies, with drawings of working spreading mechanisms, is provided. The working bodies of fertilizer application machines are described and illustrated, and a brief patent review of machines for applying mineral fertilizers, namely their working bodies, is made. For a better and more uniform distribution of mineral fertilizers, an improvement of the existing serial machine for applying mineral fertilizers is proposed, namely the installation of a modernized disk. The stages of the technological process of distributing mineral fertilizers on a disk are described. A methodology for determining the technological properties of bulk materials is provided; tables for entering measurement results and formulas for calculating the corresponding indicators. To determine the described properties, it was proposed to use the device available at the department, namely the device for determining the static and dynamic coefficients of friction. Drawings of the test materials are given and their characteristics are described. The results of the study, which were conducted in a three-fold sequence, three types of fertilizer, which have different granulometric properties and friability, are given. Occupational safety issues when working with pesticides are described and signs and their explanations are given, which are placed on a trailed machine for applying mineral fertilizers. Conclusions are drawn on the work.

**Keywords:** yield, efficiency, mechanical and technological properties, application methods, soil analysis, working parts, fertilizer application machines, disk, drum, dispersion, blade, methodology, result, coefficient, device, labor protection, signs of safe operation.

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>7</b>
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Добрива, як елемент для підвищення врожайності. ....	9
1.2. Машини для внесення добрив .....	12
1.3. Огляд робочих розкидальних пристроїв машин для внесення добрив.....	18
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДОБРИВ.....</b>	<b>24</b>
2.1. Методика визначення властивостей. ....	30
2.2. Обладнання для визначення властивостей добрив.....	32
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ .....</b>	<b>37</b>
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДОБРИВ. ....</b>	<b>46</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>51</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>52</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>58</b>

## ВСТУП

Оптимальна система застосування добрив дуже важлива для отримання запланованої врожайності та необхідної якості врожаю. Щоб використання добрив було максимально ефективним, важливо вибрати правильне джерело, правильний метод, правильний час і правильну норму внесення (система 4-х правил внесення добрив). Дуже високі ціни на мінеральні добрива призвели до того, що сьогодні, як ніколи, стало вкрай важливим правильне й ефективне використання елементів живлення, щоб віддача від них була максимальною [1].

Ефективність мінеральних добрив значною мірою залежить від способів і строків їх внесення у ґрунт. Система удобрення соняшнику складається із чотирьох ланок: основне, допосівне, припосівне удобрення та підживлення. Конкретні рішення щодо внесення добрив приймають у господарстві з огляду на результати агрохімічного обстеження і фітосанітарний стан полів, їх забрудненість, потенціал продуктивності гібрида і посівні якості насіння, вологозабезпеченість та інші чинники формування врожайності. За технології no-till реакція соняшнику на азотні добрива виражена чіткіше, особливо у перші роки її застосування. Найбільший ефект на важких і середніх ґрунтах дає внесення восени під зяблеву оранку. Весняне внесення під культивуацію не забезпечує належного ефекту, оскільки верхній шар швидко пересихає, і добрива стають не доступними для рослин [2].

Для ефективного використання мінеральних добрив важливе значення має спосіб унесення. Розкидним способом їх доцільніше вносити восени під основний обробіток ґрунту, аніж навесні під культивуацію [2].

Внесення органічних добрив проводиться як восени, так і навесні, залежно від типу добрива та культури, забезпечуючи тривале живлення рослин. Восени вносять фосфорні та калійні добрива, а навесні – азотні, що особливо важливо для швидкого росту. Також існують сидерати (зелені

добрива), компост та інші органічні речовини, які поліпшують структуру ґрунту та його родючість.

Основою побудови раціональної системи удобрення є врахування особливостей росту і живлення сільськогосподарських культур на різних стадіях їх розвитку. Інтенсивність засвоєння окремих елементів живлення змінюється залежно від фази вегетації. При цьому кожна рослина має свої особливості та потреби у кількості та необхідності елементів живлення. Тому ефективність застосування добрив буде залежати від способу та строку внесення. Залежно від умов внесення їх поділяють на: допосівне (основне), припосівне (посадкове) і післяпосівне (підживлення) удобрення [3].

Основне удобрення відбувається після збору врожаю, коли настає етап підготовки ґрунту до посіву наступної культури. Він полягає у проведенні основного обробітку ґрунту, який створить оптимальні ґрунтові умови для подальшого росту та розвитку сільськогосподарських культур. Внесення добрив під оранку відбувається шляхом розкидання мінеральних добрив по поверхні з подальшим загортанням їх в ґрунт плугом [3].

При внесенні добрив під оранку основну їх кількість закладають у ґрунт на глибину 10-20 см, щоб добрива були доступні рослинам у другій половині вегетації. Так як на цій глибині зосереджена найбільша кількість кореневих волосків культурних рослин [3].

## РОЗДІЛ 1.

# СТАН ПИТАННЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

### 1.1. Добрива, як елемент для підвищення врожайності.

Для отримання високих та якісних врожаїв добрива відіграють важливе значення. Тому для максимального їх ефекту необхідно враховувати необхідну норму внесення, час коли необхідно вносити та метод внесення. Максимальна віддача відбудеться тільки тоді, коли вносяться елементи, які необхідні для живлення, а саме для запланованої врожайності необхідно вносити тільки ті елементи, які необхідні для живлення рослини.

Як приклад – для отримання врожаю однієї тони пшениці необхідно внести до 30 кілограм азоту (а саме діючої речовини). Даний показник зумовлений засвоєнням кореневої системи рослини. Якщо внесення добрив відбувається поверхневим, а саме розкидати по поверхні ґрунту, то необхідно враховувати такий фактор як – змив. Тому немало важливий фактор добрив є використання сучасних машин та методів внесення в ґрунт.

На рисунку 1.1. описані показники (чинники), які впливають на ефективність засвоєння добрив.

Для ефективного застосування добрив необхідно щоб вони знаходились, як можна ближче до кореневої системи, щоб рослина мала можливість доставати корінням до них для розвитку та росту.

В багатьох господарствах використовують сухі добрива, але якщо брати в порівнянні з рідкими добривами, то останні краще проникають в ґрунт і краще діють на рослину. Нажаль для внесення таких добрив господарство повинно бути забезпечено спеціальним обладнанням та приміщенням для зберігання, також для внесення господарство повинно мати спеціальне обладнання.

Сухі добрива не потребують спеціального обкладання, як попередні, їх вносять при допомозі розкидачів (причіпних, начіпних або самохідних). При

внесенні під час посіву використовують спеціальні сівалки; при виконанні культивації, або глибокого рихлення використовують спеціальне обладнання.

- відсутність вологи або сильне зволоження;
- змивання дощем;
- передчасне внесення;
- якщо рослини хворі або перебувають у стані стресу;
- висока кислотність ґрунту;
- засолення ґрунту;
- ущільнення ґрунту;
- наявність бур'янів (конкуренція за добрива);
- наявність рослинних решток на поверхні ґрунту (при поверхневому внесенні);
- внесення по мерзлоталому ґрунту;
- інші причини.

Рис. 1.1. Показники, які впливають на ефективність засвоєння добрив [1].

В загалі для внесення добрив (мінеральних) використовують наступні способи (рисунок 1.2)

- Популярні способи внесення добрив:
- внесення одночасно з чизелюванням /глибокорозпушенням;
  - стартове внесення (у рядок, смугами та розкидання із загортанням у ґрунт);
  - підживлення – розкидання/розливання по поверхні ґрунту;
  - підживлення – внесення у ґрунт (SideDressing);
  - позакореневе підживлення – обприскування;
  - внесення з поливною водою – фертигація.

Рис. 1.2. Способи внесення добрив

Також немало важливий фактор для покращення родючості ґрунтів має внесення органічних добрив. Внесення яких зберігає та навіть відтворює

родючість наших ґрунтів. Але як показує практика, та підтверджена Інтернет джерелами інформація за останній час внесення значно зменшилось, а для деяких господарств взагалі стало неможливим.

Для внесення добрив необхідно враховувати наступні елементи: аналіз ґрунту; аналіз добрива (якщо це органічне) та розуміти під яку культуру будемо вносити.

Наявність аналізу ґрунту не лише допоможе вам зрозуміти, які добрива та скільки їх потрібно давати, а й дозволить вам зекономити потім на цих добривах. Адже поле 100% буде не рівномірним і певні ділянки потребуватимуть меншої кількості живлення [4].

Аналізи ґрунту проводять спеціалізовані компанії, які за допомогою спеціальних пробовідбірників беруть зразки землі, формують їх у групи і далі передають до лабораторії. Після цього - надають вам результати і, як правило, базові рекомендації, що робити далі. Проводити такі аналізи варто не частіше ніж раз на 4-5 років [4].

Якщо у вас не велика земельна ділянка - відібрати проби для аналізу ґрунту можна самостійно, а потім їх передати для дослідження [4].

Так добрива можна вносити при різних технологічних операціях, а саме при основному обробітку, передпосівному та навіть робити підживлення.

При внесенні добрив при основних операціях (обробітку ґрунту) його розкидають по поверхні ґрунту, з наступною зарубкою плугами, культиваторами чи навіть боронами (з дисковими робочими органами). На даний час в нашій державі все більше набирає способу обробітку ґрунту стрічковий, так званий «Смуговий обробіток ґрунту» («Strip-till») при якому відбувається внесення добрив в смугу шириною до 4 сантиметрів і закладати добрива на глибину 8...16 см. Таке внесення добрив дозволяє рослині краще кореневою системою контактувати з добривом і швидше засвоювати. Але з не достатків такого внесення необхідно використовувати спеціальне обладнання для внесення в ґрунт. Отже основне добриво забезпечує рослинку необхідними елементами протягом всього періоду росту і розвитку.

Передпосівне внесення добрив важливе з дотриманням необхідної кількості його, адже воно вноситься безпосередньо на глибину висіву, але при умові що nebude контакта (дотику) насінини з добривом. Головна мета такого внесення добрива полягає в наданні рослині необхідних стартових макро- мікро- елементів під час вегетації; тим самим надаючи міцності кореневій системі і рослині в цілому. Таке внесення дає посівам захист від хвороб та шкідників.

Внесення добрив після посіву немало важливе за попередні внесення, його вносять під час активного росту стебел, коріння (в цілому рослини). Даний спосіб використовують за необхідністю, а саме при необхідності надати рослині поживних елементів (певних). На практиці при такому способі вносять рідкі добрива, це пов'язано з їх ефективністю в період вегетації, а саме, як приклад: весною для підживлення зернових (на прикладі озимої пшениці) вносять калій та азот. Під час бутонізації вносять фосфор.

Отже при кореновому підживленні вносять в близькості до коріння, листове підживлення – даний спосіб краще, тому що рослина поглинає діючу речовину через листя. Але в останнього підживлення є небезпека зробити опіки листку, тому необхідно робити необхідну концентрацію.

Весною добрива вносять під час культивування чи боронування. Також вносять такі добрива як: аміачну селитру, суперфосфат та інші по мерзлоталому ґрунту.

Азотні добрива на практиці вносять при проведенні передпосівного обробітку, або під час підживлення, як описувалось вище, по мерзлоталому полю (ґрунту). Для кращого стартового росту рослини аграрії вносять фосфорні добрива, які необхідно вносити на початку росту чи розвитку, тому не рекомендуємо вносити великі кількості. При основному обробітку вносять калійні добрива, які під час осінньо-зимового періоду промиваються в нижні шари та надає доступ рослині на весь період вегетації.

## **1.2. Машини для внесення добрив.**

Як відомо добрива за походженням є двох видів: органічні та мінеральні, відповідно і агрегати для внесення використовуються різні.

Для внесення органічних добрив використовуються причепи розкидачі, які обладнані різними розкидальними робочими органами про які нами буде описано в п.п. 1.3.

Машини для внесення добрив – це різновид сільськогосподарського обладнання, яке використовується для перевезення, підготовки (при необхідності відбувається змішування добрив) та безпосередньо внесення (під даним визначенням розуміють або розкидання по полю, або внесення в ґрунт).

В залежності від виду добрива відбувається розкидання по полю, дана технологічна операція повинна забезпечувати рівномірний розподіл чи то розпилювання по полю.

Машини для внесення добрив мають таку конструкцію, яка дозволяє робити дозування під час внесення. Якщо брати в цілому то такі машини мають: кузов, ходову систему, транспортер (різної конструкції), розсіюючий пристрій (або робочий орган), для привода останнього необхідно карданну передачу для приєднання до валу відбору потужності.

Робочим органом на деяких розкидачах виступають розкидальні диски, які мають лопаті, які можуть бути різної довжини та форми для збільшення дальності польоту частинки добрива.

Навісний розкидач добрив є відмінним рішенням, щоб механізувати процес обробітку ґрунту. Металева рама має навісний пристрій, бункер та кронштейни. До основних переваг такого обладнання можна віднести надійність та якість. Для побудови рами використовується сталь, яка забезпечує міцність і стійкість до навантажень. Навісні розкидачі можуть агрегатуватися із тракторами будь-якої потужності. Найчастіше це моделі, оснащені 80-сильним чи 100-сильним двигуном.

На ринку можна знайти агрегати обтічної форми, що дозволяє без особливих зусиль очищати машину від залишків ґрунту, забруднень та добрив. Разом з таким пристроєм можна використовувати систему навігації та інше обладнання.

Причипний агрегат є ефективним та зручним помічником. Розкидачі причіпного типу мають форму причепа. Вони обладнані гідрофікованим

приводом робочих органів. Кузовна частина такого агрегату може вмістити до 3,5 т добрив. Відмінною рисою такої техніки можна назвати можливість підлаштовувати її під різні добрива, чи це гранульований компост, вологі органічні маси, порошки чи інші суміші. Ця техніка оснащена регульованим підвісним зчепленням, також має окрему гідравлічну гальмівну систему. Завдяки цьому транспортувати агрегат дорогами загального призначення з повним навантаженням можна без жодних перешкод.

Дискові розкидачі мають лопатки, які виготовлені з нержавіючої сталі, а також карданний вал. Для контролю кількості сумішей, що розкидаються, призначені заслінки, роботою яких можна керувати з кабіни трактора. Положення дисків можна змінювати, тим самим визначаючи обсяг добрив, які потраплятимуть на ґрунт. Варто відзначити, що агрегат має мішалки та спеціальні сітки, які запобігають утворенню грудок із добавок.

Головна робота маятникових розкидачів виконується спеціальною трубкою, яка розгойдується, обертаючись при цьому, що забезпечує рівномірне надходження добрива у ґрунт. Ця деталь виготовляється з високоякісного пластику, який вирізняється міцністю та тривалим терміном експлуатації.

В аграріїв набув популярності розкидач органічних добрив UNIA TYTAN (Унія), який має валику вантажопідйомність (максимум 24 тони) та має можливість комплектуватись різними розкидальними барабанами (рис. 1.3) тим самим



Рис. 1.3. Розкидач UNIA TYTAN [6]

Ходова частина даного розкидача обладнана трьома осями, тим самим зменшуючи тиск на ґрунт. Має можливість комплектуватись трьома вертикальними подрібнювальними барабанами (вальцями, чи бітерами), які подрібнену масу подають на диск, який розташований знизу, і призначений для розкидання органічної фракції. Розташовані вертикально встановлені барабани (бітера) дають можливість рівномірніше розподіляти органічну фракцію на ширину від 6 до 12 метрів. Дані барабани мають в нижній своїй частині диски (тарілки), кожен окремо. Для переміщення маси по кузову розкидач обладнаний в нижній частині ланцюговим транспортером, дозування добрив відбувається при допомозі дозуючої заслінки.

Вітчизняний виробник сільськогосподарського обладнання, завод ТОВ "Завод Кобзаренка", що знаходиться в Сумській області, смт Липова Долина має для аграріїв України та світу розкидачі як мінеральних так і органічних добрив.



Рис. 1.4. Розкидачі мінеральних добрив

(джерело: <https://kobzarenko.com.ua/ua/produkcija/rozkidach-mneralnih-dobriv>)

Так лінійка розкидачів мінеральних добрив представлена машинами: РМД з вантажопідйомністю від 6 до 20 тон. Всі вони мають майже однаковий технологічний процес, а саме; розташований в нижній частині гумовий (прутковий) транспортер приводиться в рух від металевого колеса, яке при допомозі гідроциліндра опускається до колеса самого розкидача, і копіює його протектор; привід може відбуватись від ВВП трактора (енергетичного засобу що до його приєднано); має розкидні диски (тарілки) Rauch, які виготовлені з міцної нержавіючої сталі та компютор з ваговою системою від італійського виробника Dinamica generale.

Такий привід транспортера розкидача дає залежність, яка забезпечує відповідну подачу на диск відповідно на даної швидкості руху самої сільськогосподарської машини.

Так розкидач має шини з широким профілем, тим самим відбувається зменшення ущільнення ґрунту. Розкидач РМД-6 має можливість вносити відповідне добриво від 50 кілограм на гектар до 2000 кг/га. РМД-8 має таку саму конструкцію, як і РМД-6, але об'єм бункера становить 8 м.куб.

Даний Завод Кобзаренка випускає машини для внесення в ґрунт рідкої фракції органічних добрив – так званий Культиватор-інжектор (рис. 1.5). Даний агрегат має в своїй комплектації 2 ряди міцних пружинних лап, відстань між якими становить 40-45 сантиметрів.



Рис. 1.5. Агрегат для внесення органічних добрив в ґрунт

Така конструкція лап дозволяє заглиблювати на глибину до 14 сантиметрів органічну фракцію, яка потрапляє через спеціальні шланги (рукави) діаметром 5 сантиметрів. Для того щоб не було великих фракцій органічної продукції, які можуть застрягати в рукаві, в даній машині є подрібнювач, який встановлений в розподільнику. Даний подрібнювач (рис. 1.5. справа) має зрізні ножі, привід яких відбувається від гідромотору. В даній машині використовуються бочки ВНЦ-16; ВНЦ-20; ВНЦ-26, або ВНЦ-30.

Також для внесення органічних добрив на поверхню ґрунту даний виробник випускає розкидачі: РОД-12 та «Атлант». Дані машини мають об'єм причепа 12 метрів квадратних та робочу ширину 7...12 метрів. Дані розкидачі розроблені спеціально для господарств які займаються тваринництвом і вносять на поля гній.

Фірма Джон Дір випускає для аграріїв машини для внесення мінеральних добрив, як навісні так і причіпні серії DN (Рис. 1.6).



Рис. 1.6. Лінійка розкидачів мінеральних добрив від John Deere

Для внесення мінеральних добрив використовуються агрегати наступних виробників: BOGBALLE; Деметра; Литейный завод (РДМ-3 та РМД-2,1); Орхівсільмаш (РМД-3000 та РМД-1000); Технотайм (РМ-1000); ФОП Бартошук А.Г. (РД-500; РД-1000) та Хмільниксільмаш (модель МВД-4,3, для гранульованих добрив) рис. 1.7.



Рис. 1.7. Розкидачі мінеральних добрив

### 1.3. Огляд робочих розкидальних пристроїв машин для внесення добрив.

Згадана в попередній частині машина для внесення мінеральних добрив РМД-6 має диски діаметром 40 сантиметрів (та 600 мм, якщо міряти з

розкидальними лопатками) виробництва Rauch, що в Німеччині, які в змозі рівномірно розкидати по полю добрива на 24 метрову ширину.



Рис. 1.8. Розкидальні пристрої машин

Розкидальні механізми, (рис. 1.8) бітера розкидача органічних добрив РОД-12 мають вертикальне розташування, дана конструкція дозволяє більш рівномірно розподіляти по поверхні ґрунту частинки на ширину до 12 метрів. Дані бітера разом з лопатями мають можливість розкидати органічні добрива з мінімальною нормою внесення. Так для внесення курячого посліду дана машина має можливість працювати з закритими задніми бортами, тим самим подаючи частинки подрібненого добрива на диски, які розташовані в нижній частині бітерів. Така комбінація бітерів і дисків, з закритим бортом, дозволяє розкидати пташиний перегній на ширину до 24 метрів.

Нами було проведено патентний пошук робочих органів машин для внесення добрив (як мінеральних так і органічних).

Винахідниками Дніпропетровського ДАЕ університету Пономаренко та Тимчак [10] було запропоновано нову конструкцію робочого органу (рис. 1.9) розкидача мінеральних добрив, який може використовуватись як для розкидання мінеральних добрив, так і для розкидання інших сипких матеріалів по ґрунту (поверхні).

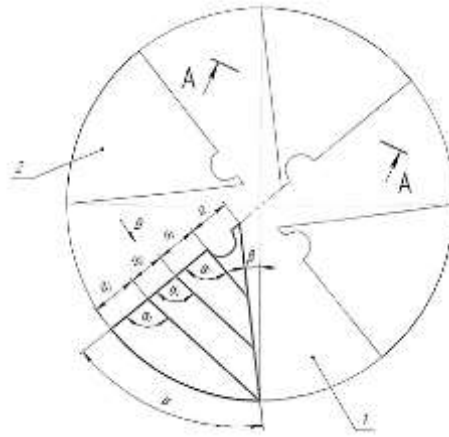


Рис. 1.9. Робочий орган машини [10]

Використання даного робочого органу машини дозволить підвищити продуктивність розкидача добрив при виконанні технологічної операції, а саме головне використання такого розкидального робочого органу дозволить підвищити рівномірність розкидання по поверхні поля, тим самим зменшить витрату сипких матеріалів (мінеральних добрив) тим самим підвищивши врожайність.

Винахідниками Дніпропетровського ДАУ було запропоновано конструкцію робочого органу відцентрового розкидача частинок (добрив) рисунок 1.10 патент № 58087 [11].

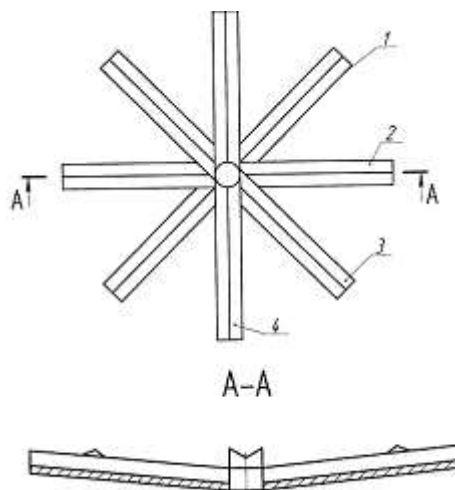


Рис. 1.10. Робочий орган відцентрової машини [11]

Даний робочий орган має такі елементи як лопатки (чотири промені, в два ряди, що перетинаються в центральній частині), на які подається добриво з дозуючого пристрою. Добрива потрапляючи на верхній розкидальні лопатки

летять на поверхню поля, а нижні, які через малу пропускну здатність перших, забирають іншу частину і також розподіляють по полю [11]. Як заявляють винахідники дана конструкція робочого органу розкидача (відцентрового) добрив дозволить за рахунок конусних жолобів променів підвищити продуктивність машини для внесення добрив, рівномірності їх розкидання по поверхні поля.

Для покращення розсіюваності добрив по полю винахідники з вищеописаного навчального закладу запропонували замість серійного розкидального робочого органу власний який описаний в патенті 84577 [12].

Даний робочий орган (рис. 1.11) відцентрового серійного розкидача приводиться в рух від стандартного привода, має промені (в кількості 4 штуки), які мають різну довжину. Промені виконані в вигляді жолобів (на конус), на які потрапляють добрива від дозуючого пристрою розкидача. Обертаючись лопатки (лопаті) захоплюють кожні свою порцію добрив і розподіляють по поверхні поля [12].

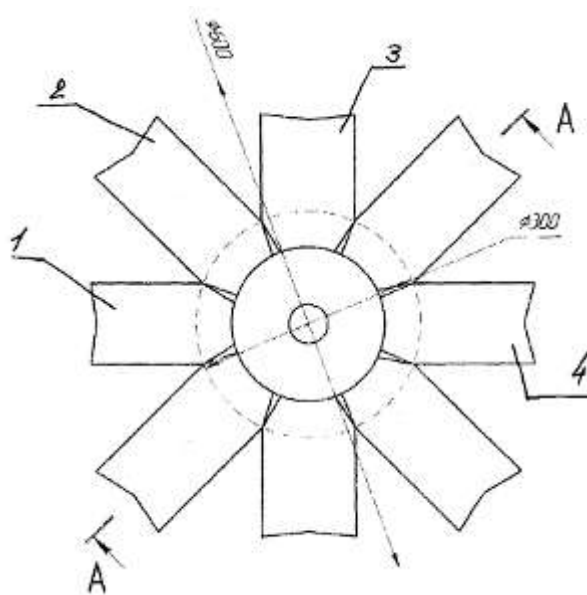


Рис. 1.11. Лопатковий робочий орган відцентрової машини [12]

Також нами було проаналізовано машини які використовуються для суцільного внесення мінеральних добрив, їх конструкції та характеристики – даний опис наведено в додатку пояснювальної записки.

Проведений огляд багатьох наукових праць, статей дисертацій показав що питанням удосконалення робочого органу машин для внесення добрив займались багато науковців. Так робочі органи є як з вертикальною так і з горизонтальною вісями обертання, з різними наконечниками. Також розкидальний робочий орган, диск, відрізняється за кількістю лопатей, їх довжиною, та сомою поверхнею диска. Даний аналіз описано в додатку 2, пояснювальної записки та розважений на рисунках 1-4.

Огляд машин та їх розкидальних пристроїв також було наведено в тезах, які знаходяться в додатках даної пояснювальної записки.

Для більш рівномірного розподілу добрив по поверхні поля багатьма вченими пропонується цілий ряд конструкцій відцентрових робочих органів, а також рекомендується розкидати їх компактними пульсуючими струменями зі змінними параметрами траєкторії польоту.

Більшість дослідників визначають рівномірність розподілу добрив залежно від конструкції робочого органу і його параметрів. Однак, можна одержувати бажаний розподіл добрив по ширині розкидання, впливаючи на параметри зони розподілу. Найбільше зручно це можна здійснити шляхом регулювання кута розкидання й розподілу добрив по ньому.

Отже дослідивши технологічну операцію: внесення добрив можна зі впевненістю сказати що добрива (незалежно мінеральні чи органічні) є хорошим джерелом підвищення врожайності сільськогосподарської культури та родючості ґрунту в цілому.

Проведений аналіз технологічної операції показав, що внесення добрив відбувається суцільним способом (розкиданням по поверхні ґрунту).

Головні агротехнічні вимоги до машин для внесення добрив це – рівномірний розподіл їх по полю, адже науковцями доведено що нерівномірне внесення добрив може призвести до втрати врожаю 10..13%, від запланованого. Проведений аналіз розкидальних апаратів машин для внесення добрив та патентний огляд показав що робочий розкидальний тип найбільше ефективніше для суцільного розкидання по поверхні поля добрив.

Найбільш ефективно показав себе на полі розкидальний робочий орган виконаний у вигляді диска, з вертикальною точкою обертання (вісь).

Для наступних досліджень нами було поставлено наступні завдання: описати методику проведення з визначення фізико (механіко) технологічних властивостей добрив, а саме описати прилади для визначення даних показників. Дослідження даних показників на пряму впливають на дальність вильоту та рівномірне розташування по поверхні поля.

## РОЗДІЛ 2.

# МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДОБРИВ

Проведений нами патентний пошук машин для внесення сипких матеріалів (мінеральних добрив) та їх робочих органів дозволив вибрати найефективніший для виконання технологічної операції по внесенню мінеральних добрив.

Запропонований науковцями робочий орган машини для внесення мінеральних добрив (рис. 2.1. та 2.2.) має активні відцентрові лопаті, які рухаються за допомогою важілей та роликів.

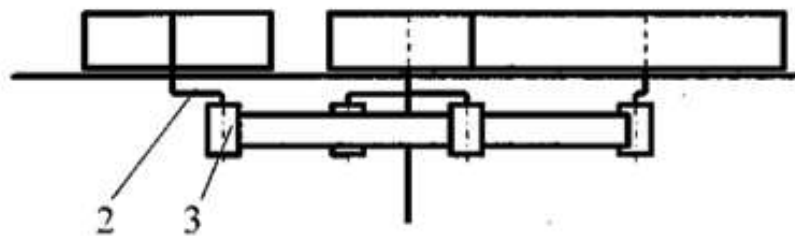


Рис. 2.1. Схема запропонованого розкидального диска

Диск, як і в серійних розкидачах обертається на осі. Лопаті мають важелі в кінці кожного такого важеля встановлено ролик, який має можливість притискатись до кулачка 4.

Даний диск працює наступним чином:

- подача добрив відбувається з кузова на диск та лопаті;
- відбувається обертання диска;
- ролики рухаються по боковій поверхні кулачків, тим самим відбувається переміщення навкожного вісі обертання диска.

Залежно від параметрів кулачка лопата повертається як по ходу обертання диска, так і проти нього. Таким чином, за один оберт диска лопать в першому випадку одержує додаткову окружну швидкість, а в іншому випадку - окружна швидкість зменшується. Повертаючи кулачок у горизонтальній площині можна його зафіксувати так, щоб добрива сходили з диска в той момент, коли лопать повертається по ходу обертання диска. Таким чином, лопать на диску є

метальником. Викинувши порцію добрив, лопать, повертаючись разом з диском, повертається назад. Абсолютна швидкість руху кінця лопаті при цьому зменшується. Бажано, щоб у цей момент добрива надходили на диск, тому що ймовірність відскоку добрив від лопаті, їхнє дроблення й налипання на лопаті зменшується. Лопать, входячи в зону її провертання по ходу обертання диска, робить кидок чергової порції добрив. Так процес розподілу добрив повторюється.

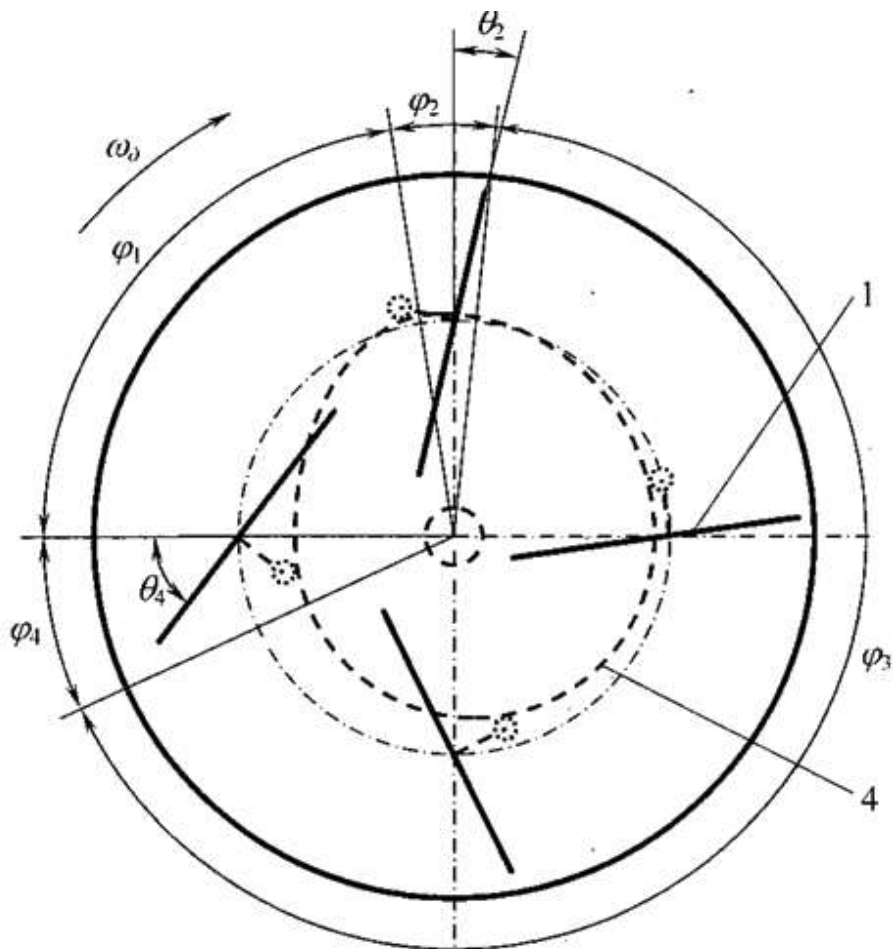


Рис. 2.2. Схема запропонованого розкидального диска (вид зверху)

Нерівномірність розкидання частинок добрив описаними вище робочими розкидними органами пов'язано з властивістю мінеральних добрив: налипання на лопаті та сам диск. Тому вивчення коефіцієнтів тертя частинки добрива по поверхні необхідне.

Розглядаючи технологічний процес внесення мінеральних добрив можемо сказати що він складається з ряду елементів (етапів).

Технологічний процес описано на рис. 2.3.

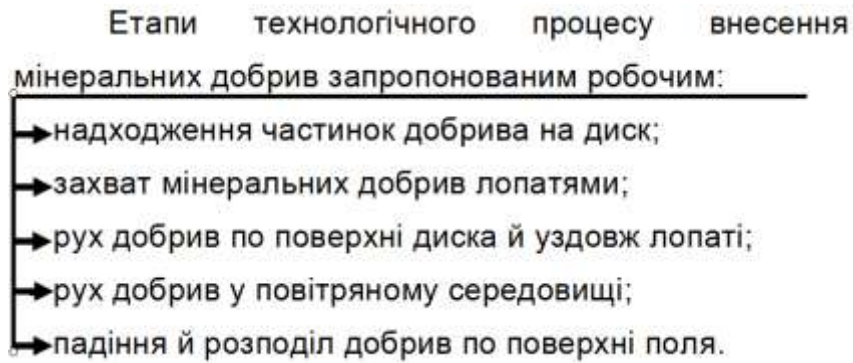


Рис. 2.3. Технологічні елементи (етапи) руху частинки добрива

Як бачимо на рисунку 2.2. рух частинки добрива по круглому диску складається з декількох (чотирьох) фаз, а саме від  $\varphi_1$  до  $\varphi_4$ . (рис. 2.4)



Рис. 2.4. Фази повороту диска розкидача

Як бачимо з вищенаведеного рисунка, головний кут роботи диска є  $\varphi_1$ , також немало важлива умова для якісної роботи диска є:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 = 2\pi. \quad (2.1)$$

Для визначення переміщення частинок по лопаті диска нами було використано рівняння:

$$S = h \left( \frac{\varphi}{\varphi_1} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{\varphi_1} \varphi \right); \quad (2.2)$$

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{h}{\varphi_1} \left( 1 - \cos \frac{2\pi}{\varphi_1} \varphi \right); \quad (2.3)$$

$$\frac{d^2S}{d\varphi^2} = \frac{2\pi h}{\varphi_1^2} \sin \frac{2\pi}{\varphi_1} \varphi, \quad (2.4)$$

Якщо змінити висоту  $h$  то ми отримаємо рівняння:

$$\theta_1 = \alpha_1 \left( \frac{\varphi}{\varphi_1} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{\varphi_1} \varphi \right);$$

Для визначення параметрів кутової швидкості як диска так і лопатей нами було зображено схему руху лопатей та важілю в одній із фаз (рис. 2.5 та 2.6).

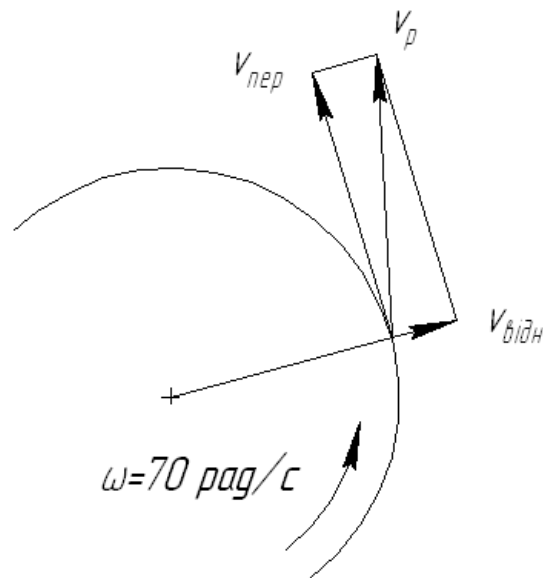


Рис. 2.5. Схема визначення кутової швидкості диска

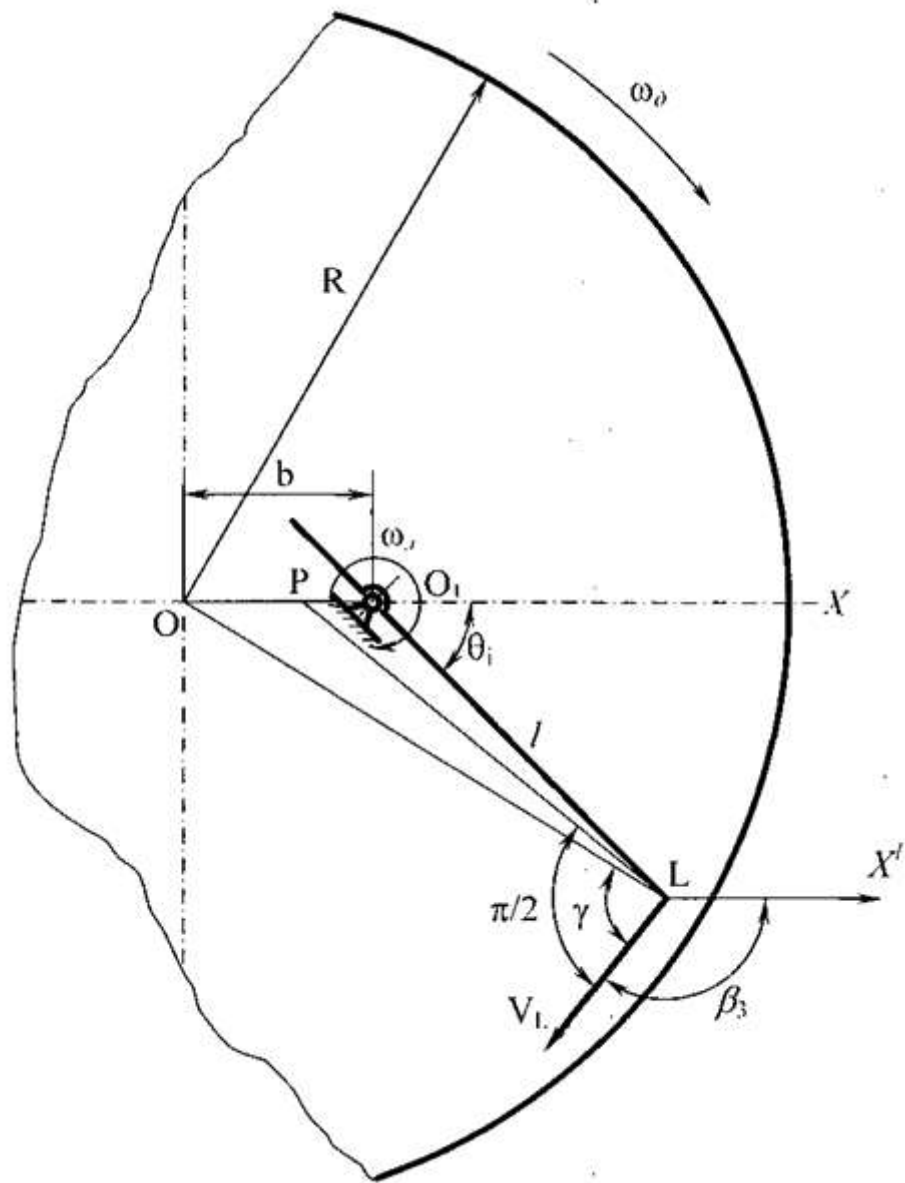


Рис. 2.5. Схема визначення параметрів лопаті

Як бачимо з вищенаведених рисунків що рух частинок добрив залежить не тільки від розміру обертів диска, а і від фізико-механічних показників (властивостей) матеріалу що потрапляє на нього.

Для визначення швидкості розкидання добрива, висоту диска (висота від диска до поверхні поля) та загального часу польоту частинки ми скористаємось формулами 2.5; 2.6 та 2.7.

$$v_p = v_a = \sqrt{v_{пер}^2 + v_{відн}^2}, \quad (2.5)$$

$$H = \frac{gt^2}{2} \quad (2.6)$$

$$t = t_1 + t_2 \quad (2.7)$$

Умовні позначення коефіцієнтів зображені на рис. 2.6.

<p><math>v_p</math> та <math>v_a</math> – швидкість розсіву частки та абсолютна швидкість;  <math>v_{пер}</math>, <math>v_{відн}</math> – складові абсолютної швидкості (переносна, відносна);  <math>\omega_d</math> та <math>\omega_l</math> – кутова швидкість диска та лопатки (щодо осі <math>O_1</math>), рад/с;  <math>h</math> – переміщення ролика в радіальному напрямку з одного крайнього положення в інше, м;  <math>t</math> – час польоту частки з висоти <math>H</math>;  <math>k_n</math> – коефіцієнт парусності, <math>m^{-1}</math>.</p>
--

Рис. 2.6. Позначення до формул

Для визначення показників польоту частинки скористаємось рисунком 2.7 та наступними формулами.

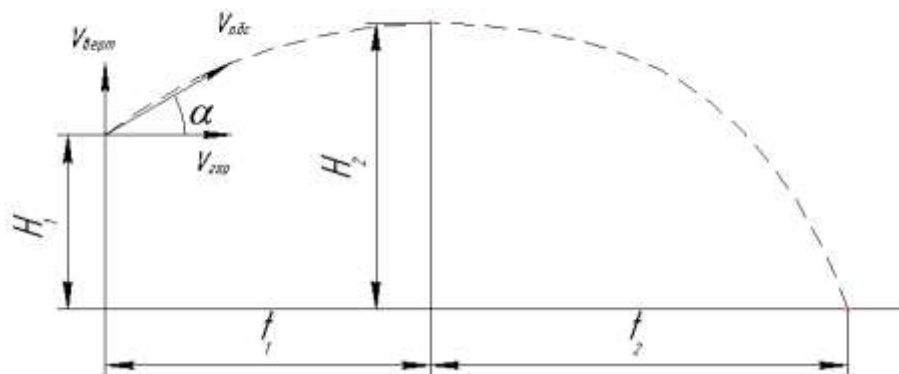


Рис. 2.7. Схема руху частинки добрива з початкової точки до кінцевої

Згідно закону вільного падіння висота яка буде визначати найвищу точку визначатиметься за формулою:

$$\Delta H = v_0 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} \quad (2.8)$$

Знаючи висоту ми можемо визначити час падіння за формулою:

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (2.9)$$

Маючи значення відстані між розкидальними дисками та ширину перекриття під час проходження ми визначаємо Ширину захвату нашого агрегату та серійного за формулою:

$$B = 2 \cdot x + b - \Delta x \quad (2.10)$$

$$B = 2 \cdot 5,12 + 0,75 - 1,5 = 9,48 \text{ м}$$

$$B = 2 \cdot 7,09 + 0,75 - 1,5 = 13,43 \text{ м}$$

Отже визначивши вищенаведені показники ми визначаємо продуктивність агрегатів (серійного та нашого запроєктованого) за формулою

$$W = 0,1 \cdot B \cdot v_{роб} \cdot \tau \quad (2.11)$$

$$W_c = 0,1 \cdot 9,48 \cdot 12 \cdot 0,65 = 7,4 \text{ га/год}$$

$$W_e = 0,1 \cdot 13,43 \cdot 12 \cdot 0,65 = 10,5 \text{ га/год}$$

## 2.1. Методика визначення властивостей.

Визначення технологічних властивостей сипких матеріалів (мінеральних добрив) нами було проведено за відомими методиками авторів підручника та практикуму джерело 14 та 15.

Першочергові дослідження проводились по визначенню вологості матеріалу (визначали абсолютну та відносну вологість); середньо-квадратичного та арифметичного відхилення, коефіцієнта варіації. Маючи значення показників досліджувального приладу (висота падіння та кут підйому) нами було визначено статичний та динамічний кути тертя сипкого матеріалу по різних поверхнях.

Для визначення вищеописаних показників нами було використано наступні формули:

$$W_A = \frac{m_B - m_C}{m_C} 100 \quad (2.12)$$

$$W_{A.СЕРЕДНЕ} = \frac{W_{A.1} + W_{A.2} + W_{A.3} + W_{A.4}}{n} \quad (2.13)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(W_{A.СЕРЕДНЕ} - W_{A.1})^2 + (W_{A.СЕРЕДНЕ} - W_{A.2})^2 + (W_{A.СЕРЕДНЕ} - W_{A.3})^2 + (W_{A.СЕРЕДНЕ} - W_{A.4})^2}{4}} \quad (2.14)$$

$$V = \frac{\sigma}{W_{A.СЕРЕДНЕ}} \cdot 100. \quad (2.15)$$

$$W_{B.1} = \frac{m_B - m_C}{m_B} \circ 100 = \%$$

$$W_{B.СЕРЕДНЕ} = \frac{W_{B.1} + W_{B.2} + W_{B.3} + W_{B.4}}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(W_{B.СЕРЕДНЕ} - W_{B.1})^2 + \dots + (W_{B.СЕРЕДНЕ} - W_{B.4})^2}{4}}$$

$$V = \frac{\sigma}{W_{B.СЕРЕДНЕ}} \cdot 100.$$

$$f_{Ci} = \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{H_i}{L} \quad (2.16)$$

$$\bar{\varphi}_C = \operatorname{arctg} \bar{f}_C \quad (2.17)$$

$$F_{D\max} = f_D \cdot N, \quad (2.18)$$

$$f_D = \operatorname{tg} \bar{\varphi}_D, \quad (2.19)$$

$$\beta < \frac{\pi}{2} - \varphi_D \quad (2.20)$$

$$\bar{\varphi}_D = \frac{\varphi_{D1} + \varphi_{D2} + \varphi_{D3} + \varphi_{D4}}{n} \quad (2.21)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\bar{\varphi}_D - \varphi_{D1})^2 + (\bar{\varphi}_D - \varphi_{D2})^2 + (\bar{\varphi}_D - \varphi_{D3})^2 + (\bar{\varphi}_D - \varphi_{D4})^2}{n}} \quad (2.22)$$

Дані вимірювань з приладів нами було записано в таблиці 2.1 та 2.2. Досліди повторювались в чотирьохкратній повторюваності.

Таблиця 2.1

Результати вимірювань і обчислень статичного коефіцієнта тертя

Пара тертя	Номер досліду	L, мм	H <sub>i</sub> , мм	f <sub>ci</sub>	$\bar{f}_c$	σ	V, %	$\bar{\varphi}_c$ , град.
	1							
	2							
	3							
	4							

Таблиця 2.2

Результати вимірювань і обчислень динамічного коефіцієнта тертя

Пара тертя	Номер досліду	β, град.	φ <sub>дi</sub> , град.	$\bar{\varphi}_d$ , град.	σ, град.	V, %	$\bar{f}_d$
	1						
	2						
	3						
	4						

Результати дослідження наведені в наступному розділі.

## 2.2. Обладнання для визначення властивостей добрив.

Визначення вищеописаних показників відбувалось на приладах що знаходяться на кафедрі Агроінжиніринку та використовуються в навчальному процесі під час вивчення дисциплін та виконання лабораторних робіт.

Для визначення статичного коефіцієнта тертя нами було використано прилад (рис. 2.9), який складається з опори (плити) 1, яка ставиться на стіл;

гвинта 2, при допомозі якого відбувається піднімання похилої планки 3, на якій розташовувались дослідні зразки (матеріал та пара тертя).

Динамічний коефіцієнт тертя нами визначався на приладі 2.8, який має рухому частину 1, до якого при допомозі гвинтового з'єднання кріпиться пластина 2 на яку в свою чергу кріпиться досліджувальний матеріал та матеріал тертя.

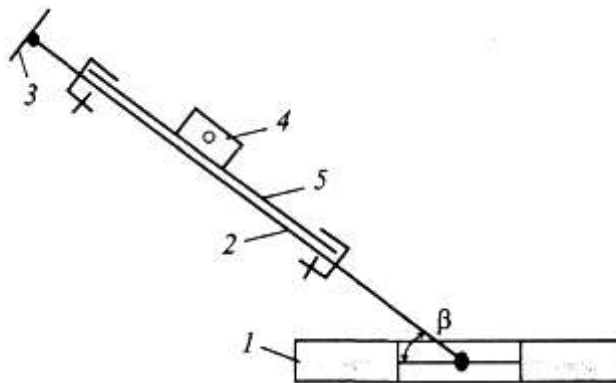


Рис. 2.8. Прилад для визначення коефіцієнта тертя (динамічного)

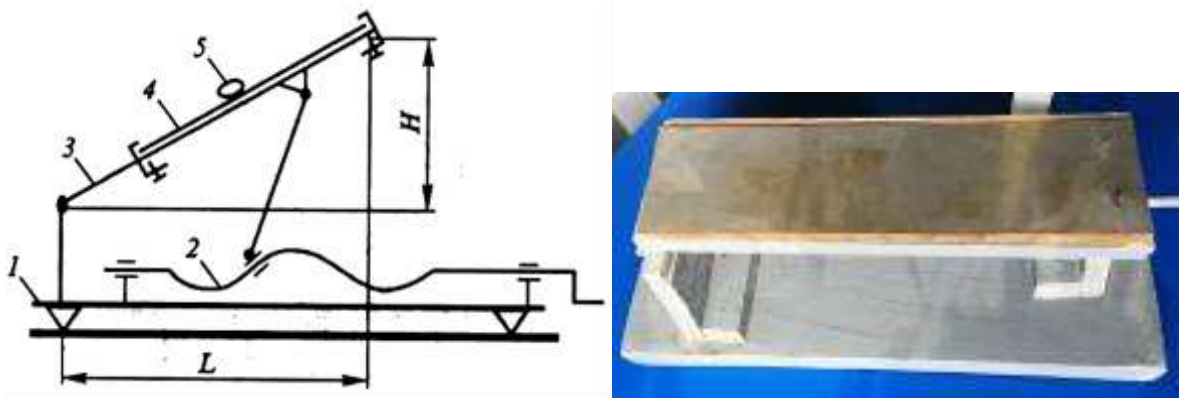


Рис. 2.9. Прилад для визначення коефіцієнта тертя (статичного)

Порядок проведення досліджень описано в літературних джерелах 14 та 15, а опис приладів наведено в тезах, які надруковані у збірнику праць та зображені в додатку пояснювальної записки.

Для зважування сипкого матеріалу використовувались електронні ваги моделі RADWAG WLC 0,2/C/1.

Дані ваги призначені для використання в лабораторних умовах та мають максимальне допустиме значення вимірювання 250 грам та інші показники (рис. 2.10).



**Технічні характеристики лабораторних ваг WLC 0,2/C/1 Radwag:**

Модель	WLC 0,2/C/1
Максимальна межа вимірювань, г	250
Мінімальна межа вимірювань, г	0.02
Дискретність, г	0.001
Робоча температура	від + 15 до + 30 °С
Матеріал платформи	нержавіюча сталь
Тип дисплея	рідкокристалічний
Градування	зовнішня
Розмір платформи, мм	128x128
Ступінь захисту	IP40
Інтерфейс	RS-232
Харчування	від мережі 220 В

Рис. 2.10. Електронні ваги RADWAG та їх характеристика

Для дослідження нами було використано наступні добрива: сечовина, суперфосфат та нітроамофоска.



*Сечовина, або карбамід*, – це найконцентрованіше азотне мінеральне добриво, що містить близько (46%) азоту. Його використовують для прискорення росту рослин, збільшення врожайності та покращення якості продукції. Сечовину вносять як у сухому гранульованому вигляді під час основного внесення або перед посівом, так і у вигляді водного розчину для позакореневого підживлення (обприскування).



*Суперфосфат* – це мінеральне добриво, що є джерелом фосфору для рослин, який сприяє розвитку кореневої системи, підвищує стійкість до стресів та покращує якість плодів. До його складу також входять сірка, а також додатково можуть бути азот та інші мікроелементи, такі як кальцій, магній, бор, цинк, мідь, марганець та залізо. Його використовують як основне добриво під час осіннього чи весняного обробітку ґрунту, при посадці, а також для підживлення.



*Нітроамофоска* — це комплексне азотно-фосфорно-калійне мінеральне добриво, що випускається у гранулах. Воно універсальне, підходить для всіх типів ґрунтів та культур, забезпечує рослини необхідними елементами, покращує врожайність та стійкість до несприятливих умов. Співвідношення основних елементів (азоту, фосфору, калію) може відрізнитись залежно від марки, наприклад, класична марка — 16:16:16.

### РОЗДІЛ 3.

## РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.

Використавши обладнання що описано в попередньому розділі та відповідної методики і формул по визначенню фізико (механіко)-технологічних властивостей нами було проведено дослідження які описали в нижченаведених таблицях.

Дослідження з описаних показників ми проводили в трьохкратній послідовності для отримання точних даних.

Зважування досліджувальних добрив відбувалось на лабораторних вагах моделі RADWAG WLC 0,2/C/1 (рис. 2.10), з класом точності ДСТУ 45501 – II, дискретністю 0,01 грам. Для розрахунку використовували формули 2.12 - 2.14, результат розрахунку вологості зображено в таблицях 3.1 – 3.3.

Таблиця 3.1

Результат досліджень маси добрив (суперфосфат гранульований)

Розмір частинки	Маса добрив, г		
	Повторність дослідження		
	1	2	3
0 – 1 мм	4,48	6,89	10,23
1,1 – 2 мм	63,19	60,99	82,33
2,1 – 3 мм	86,19	88,01	88,99
3,1 – 4 мм	105,28	80,01	69,02
4,1 – 5 мм	13,33	15,23	8,56
більше 5 мм	8,34	5,63	5,63
Загальна маса	280,81	256,76	264,76

Таблиця 3.2

## Результат досліджень маси добрив (сечовина)

Розмір частинки	Маса добрив, г		
	Повторність дослідження		
	1	2	3
0 – 1 мм	2,96	1,96	2,99
1,1 – 2 мм	43,99	48,63	46,25
2,1 – 3 мм	201,98	221,05	206,56
3,1 – 4 мм	8,95	6,52	7,03
Загальна маса	257,88	278,16	262,83

Таблиця 3.3

## Результат досліджень маси добрив (нітроамофоска)

Розмір частинки	Маса добрив, г		
	Повторність дослідження		
	1	2	3
0 – 1 мм	2,98	2,56	3,98
1,1 – 2 мм	36,56	35,36	33,02
2,1 – 3 мм	198,89	192,36	169,98
3,1 – 4 мм	45,63	46,36	47,63
4,1 – 5 мм	4,98	13,25	13,36
Загальна маса	289,04	289,89	267,97

Результат визначення гранулометричного складу досліджувальних добрив наведений в таблиці 3.4.

Проаналізувавши вищенаведені таблиці ми бачимо що найбільші частинки мають добрива: гранульований суперфосфат, потім нітроамофоска, має розмір частинок (так званих гранул) 5 міліметрів та найменші розміри у сечовини – 4 міліметра.

Гранулометричний склад досліджувальних добрив

Розмір частинок	суперфосфат гранульований						сечовина						нітроаммофоска					
	Зміст гранул, %						Зміст гранул, %						Зміст гранул, %					
	Повторності			Сума	Порівн.	Повторності			Сума	Порівн.	Повторності			Сума	Порівн.			
	1	2	3			1	2	3			1	2	3					
0...1	1,58	2,7	2,33	6,61	2,2	1,27	1,05	1,49	3,81	1,27	0,88	1,32	0,88	1,52	3,72	1,24		
1,1...2	22,61	24,9	27,91	75,42	25,14	17,2	16,98	17,96	52,14	17,38	13,04	12,64	12,04	37,72	12,57			
2,1...3	32,7	34,3	34,07	101,07	33,69	78,58	79,13	77,49	235,2	78,4	66,04	67,92	66,04	200	66,67			
3,1...4	29,43	27,09	26,05	82,57	27,52	2,95	2,84	3,06	8,85	2,95	16,04	16	16,84	48,88	16,29			
4,1...5	10,07	7,74	6,81	24,62	8,21	-	-	-	-	-	3,56	2,56	3,56	9,68	3,23			
більше 5	3,61	3,27	2,83	9,71	3,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Сума	100	100	100	300	100	100	100	100	300	100	100	100	100	300	100			

Як бачимо з вищенаведених таблиць часточки розміром від 2,1 до 3 міліметрів мають 78% добрив, а 4 мм найменше у сечовини – 2%.

Проведені дослідження показали що в сечовини є найбільш однакові по розмірам частинки, а от таке добриво як: суперфосфат має різні розміри від 2,83 до 34,07.

З наведених вище таблиць нами було побудовано графіки гранулометричного складу досліджувальних добрив (рис. 3.1 – 3.3)

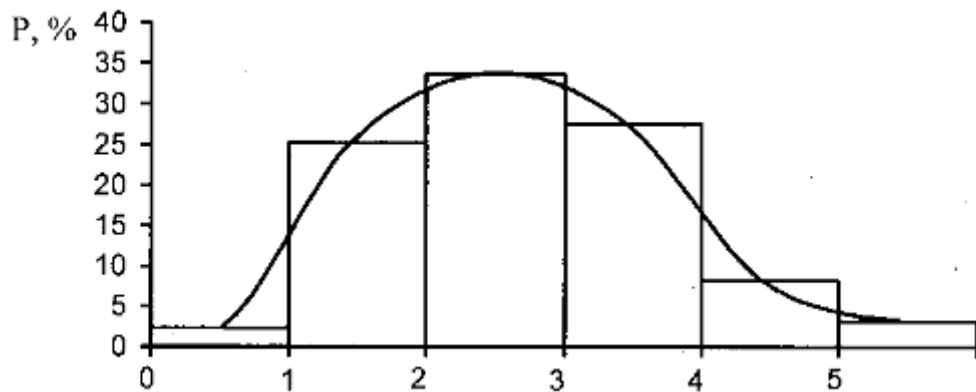


Рис. 3.1. Гранулометричні властивості (склад) добрива: суперфосфат гранульований

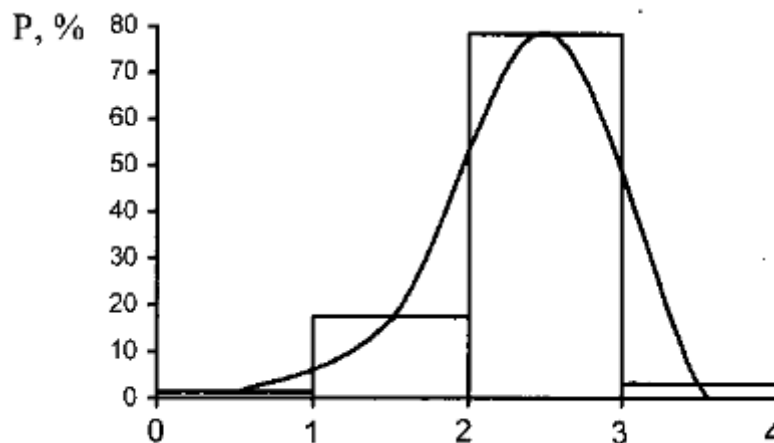


Рис. 3.2. Гранулометричні властивості (склад) добрива: сечовина

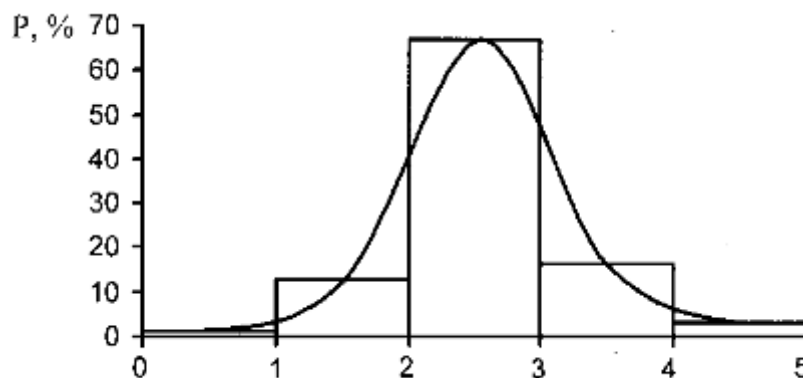


Рис. 3.3. Гранулометричні властивості (склад) добрива: нітроамофоска

Згідно описаних методик в літературі [14] та [15] нами було проведено дослідження по визначенню динамічних показників (коефіцієнта тертя). Дослідження проводились на приладі рисунок 2.8 (прилад академіка В. А. Желіговського) кут нахилу був  $30^{\circ}$  та  $40^{\circ}$  відповідно для сечовини та суперфосфату відповідно. Дослідження проводились в трьохкратній послідовності, середні значення коефіцієнта тертя визначались за формулами 2.21 та 2.22.

Результати розрахунку наведені в таблицях 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5

Показники динамічного коефіцієнта тертя сечовини

Розмір фракції (частинок)	Сечовина (карбамід) азоту 42%	
	$V_i$ , м/с	$f_i$
До 1 мм	1,491	0,348
Від 1,1 до 2 мм	1,697	0,259
Від 2,1 до 3 мм	1,679	0,290
Від 3,1 до 4 мм	0,948	0,398
Середньоарифметичне значення	$f = 0,323$	

## Показники динамічного коефіцієнта тертя суперфосфату

Розмір фракції (частинок)	Суперфосфат (фосфор, сірка)	
	$V_i$ , м/с	$f_i$
До 1 мм	1,690	0,519
Від 1,1 до 2 мм	1,898	0,491
Від 2,1 до 3 мм	1,769	0,399
Від 3,1 до 4 мм	1,586	0,628
Від 4,1 до 5 мм	1,519	0,488
більше 5 мм	1,51	0,499
Середнє	$f = 0,504$	

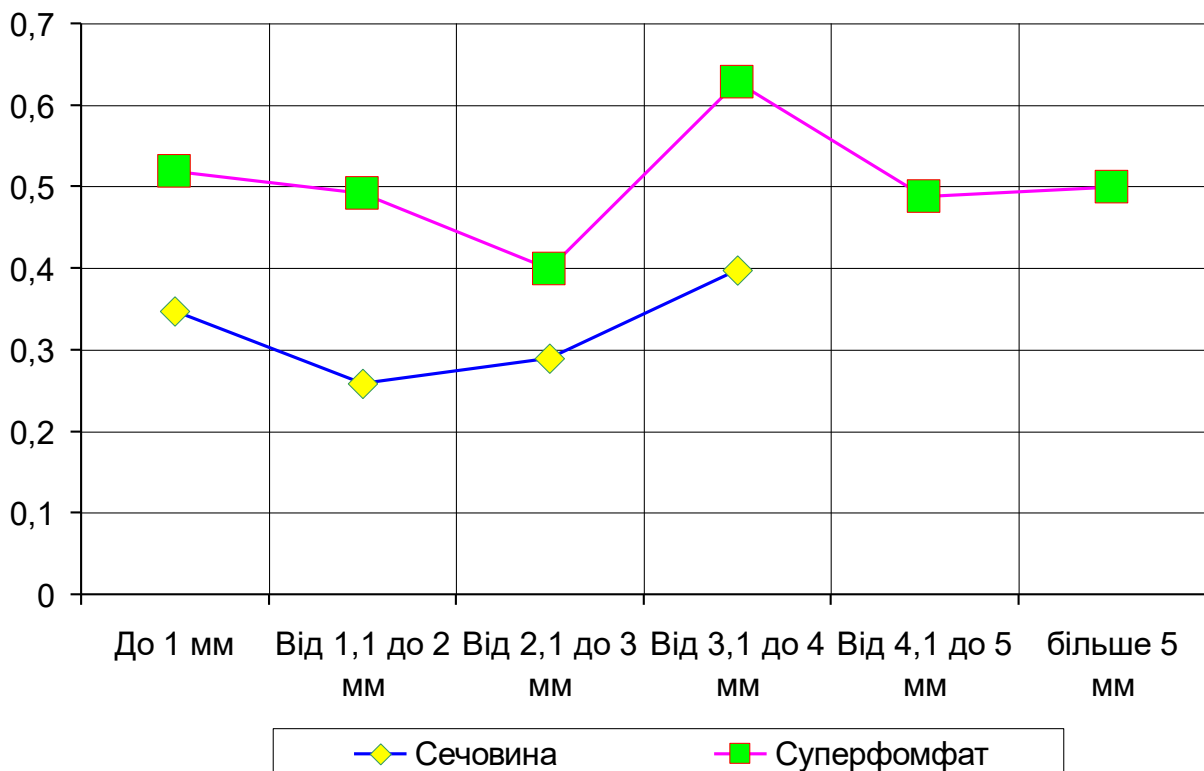


Рис. 3.4. Показники коефіцієнта тертя добрив

Як бачимо з графіків (рисунок 4.4) найменші значення коефіцієнтів тертя мають обидва добрива, розмір часточок яких складає від 1,1 до 2,1 мм. Середні

значення коефіцієнтів тертя для суперфосфату та сечовини становлять 0,504 та 0,323 відповідно. Дані значення необхідно приймати для подальших розрахунків при проведенні досліджень при розробці робочих розкидальних органів машин для внесення мінеральних добрив (з дисковим розкидальним пристроєм).

Немало важливим є під час розробки робочого органу є такий показник як парусність.

Парусність добрив (тобто, їхній розмір та легкість) впливає на спосіб внесення та рівномірність розподілу в ґрунті, а також на ризик знесення вітром. Добрива з великою парусністю, такі як дрібний пил або легкі гранули, легше розсіюються та втрачаються внаслідок вітрової ерозії, що знижує ефективність живлення рослин і може призвести до забруднення навколишнього середовища.

Результат проведених досліджень по таким показникам як: парусність та їх критична швидкість наведено в таблиці 3.6.

Проведені нами дослідження показали що наведені показники коефіцієнта парусності та критичної швидкості майже співпадають з багатьма проведеними дослідженнями багатьох науковців, про яких ми описували в попередніх розділах.

Як бачимо з результатів дослідження що наведені в таблиці 3.6 коефіцієнт парусності напряму залежить від фракцій. В залежності від добрива ми бачимо що на коефіцієнт парусності впливає об'ємна маса самого добрива, так у суперфосфату вона була більше в порівнянні з сечовиною (карбамідом).

Значення коефіцієнта парусності вищенаведених добрив описувалось наступними виразами:

## Результати розрахунку коефіцієнта парусності добрив

Розмір частинок	Суперфосфат						Сечовина (карбамід)					
	v <sub>SIK</sub> , м/с			v <sub>SI</sub> м/с	K <sub>копi</sub> м <sup>-1</sup>	P <sub>I</sub> · K <sub>копi</sub>	v <sub>SIK</sub> , м/с			v <sub>SI</sub> м/с	K <sub>копi</sub> м <sup>-1</sup>	P <sub>I</sub> · K <sub>копi</sub>
	1	2	3				1	2	3			
До 1 мм	3,87	3,8	3,67	3,78	0,68	6,93	1,9	1,9	1,9	1,9	2,71	3,45
Від 1,1 до 2 мм	6,37	6,63	6,7	6,57	0,22	3,53	5,9	6,1	6,4	6,13	0,26	4,53
Від 2,1 до 3 мм	8,82	9,27	9,76	9,28	0,11	3,01	8	7,7	7,6	7,77	0,16	12,7
Від 3,1 до 4 мм	9,43	9,78	10,15	9,79	0,10	2,70	8,6	8,9	8,5	8,67	0,13	0,38 Σ=21,07
Від 4,1 до 5 мм	9,71	11	11,08	10,6	0,08	1,37						
більше 5 мм	9,79	11	11,74	10,84	0,08	0,46 Σ=18,02						

$$k_n = \frac{0,345}{x};$$

суперфосфат -

$$k_n = \frac{0,416}{x}.$$

сечовина -

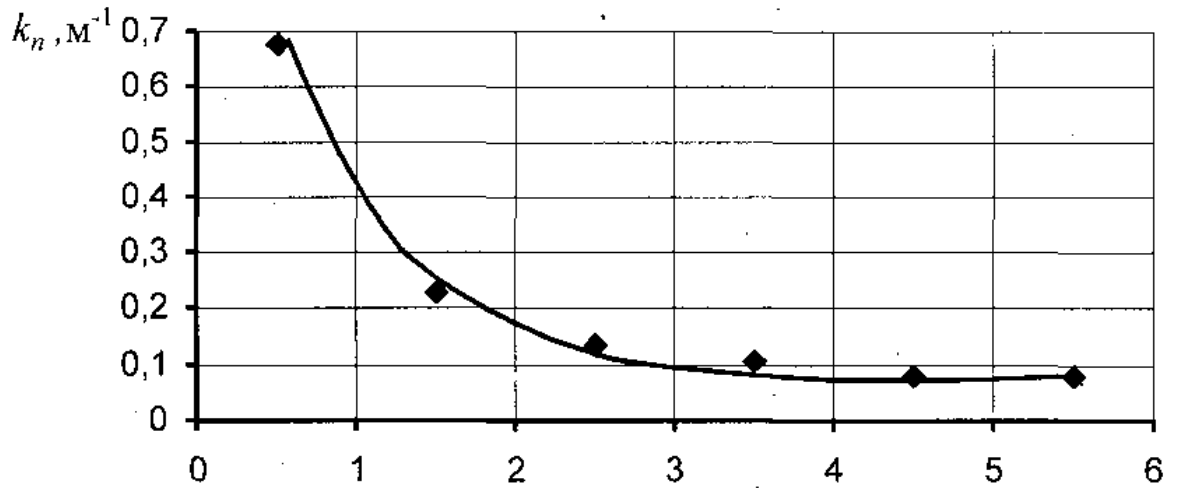


Рис. 3.5. Залежність коефіцієнту парусності суперфосфату від розміру частинок.

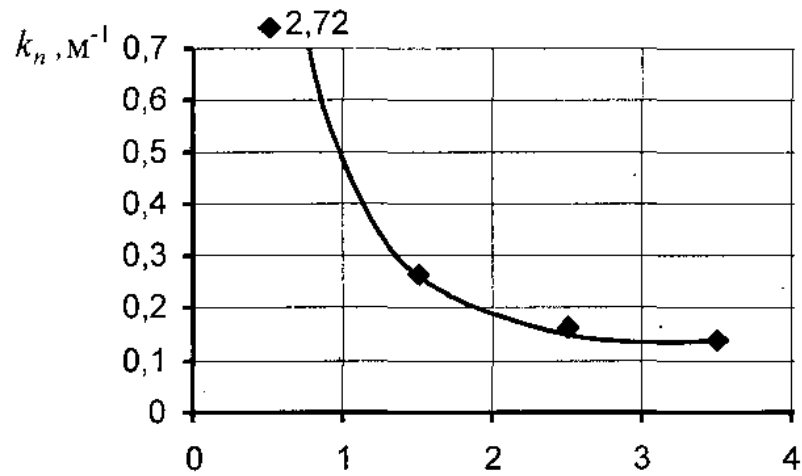


Рис. 3.6. Залежність коефіцієнту парусності сечовини (карбаміду) від розміру частинок.

## РОЗДІЛ 4.

### ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДОБРИВ.



Вирощування сільськогосподарської продукції, а саме продукції рослинництва неможливе без використання мінеральних добрив, засобів захисту рослин та інших хімічних речовин.

Використання даних речовин необхідне для отримання якісних високих врожаїв, з однієї сторони та вони є небезпечними для навколишнього середовища. Тому їх використання в надмірних дозах, з необґрунтованими нормами під час внесення, може завдати непоправної шкоди як працюючим так і рослинам в цілому.



Тому всі роботи які пов'язані з використанням агрохімікатів та пестицидів повинні проводитись згідно Закону України від 2 березня 1995 року з поправками та доповненнями 2025 року (рис. 4.1)

Рис. 4.1. Закон України № 86/95-ВР.

Під час роботи з отрутохімікатами необхідно дотримуватись наступних правил:

обов'язкове дотримання правил та інструкцій з питань охорони праці під час виконання конкретного завдання; обов'язкове використання засобів захисту, як індивідуального так і колективних; суворе дотримання необхідної кількості та

норм використання агрохімікатів та засобів захисту; під час обробітку вищеописаними речовинами дотримуватись достатньої відстані від господарських дворів, ферм чи водойм. Працювати тільки при дозволених (нормами) швидкостях вітру.

Так під час роботи оприскувачів (незалежно вентиляторний чи штанговий) швидкість вітру не повинна перевищувати 4 метри за секунду. Заправку таких машин обов'язково проводять закритим способом, а саме шланги повинні бути герметичні а кабана машини закрита.

Як правило під час роботи з агрохімікатами дозволяються особи, які пройшли відповідний інструктаж та мають відповідний допуск (посвідчення встановленого зразка) до роботи з ними. Категорично забороняється допускати до роботи з такими агрохімікатами, осіб, які молодші за 18 років, або старше: особливо якщо вони мають медичні протипоказання.

Під час роботи з такими агрохімікатами обмежується і час роботи з ними; в залежності від класу токсичності: 1, 2, 3 чи навіть 4 кількість годин коливається від 4 до 6. Робота з такими речовинами повинна бути максимально механізована: навантаження, розвантаження.

Для зберігання даних агрохімікатів забороняється використовувати будівлі, або склади в яких зберігаються продукти харчування людей, або тварин. Крім того такі агрохімікати повинні мати найменування, групу, відповідні знаки та рекомендації до застосування.

Так перед початком роботи необхідно зробити налагодження техніки, перевірити її справність (при наявних бункерах необхідно перевірити їх на тріщини та герметичність), регулювання на норму вилування рідини проводити тільки при залитій чистій воді. При використанні машини з отрутохімікатами вона повинна бути обладнана ємністю (невеликим бачком) для миття рук оператора.

Робота з мінеральними добривами, а особливо з аміачною водою, необхідно проводити з особливою обережністю, по перше машини повинні бути обладнані заземленням, а по другу – ємність повинна бути пофарбована в світлий колір (така вимога пов'язана малим нагрівом від сонячних променів).

Обов'язково в таких машинах перевіряють кожного разу, під час використання, герметичність та стан з'єднувальної апаратури.

Після закінчення роботи з такими агрохімікатами необхідно очищати та при необхідності промивати як баки і кузови так і їх робочі органи.

Для внесення мінеральних добрив використовуються багато різних машин, як вітчизняного так і закордонного виробництва. Кожна машина має на кузові попереджувальні знаки для безпечної експлуатації (рис. 4.2).

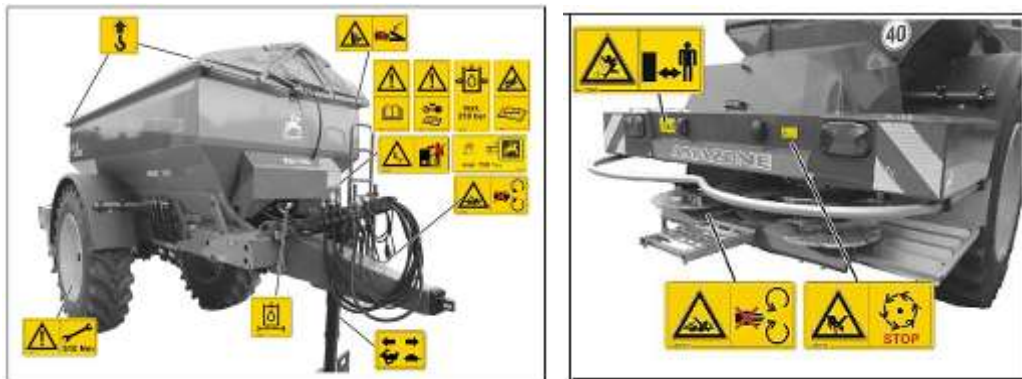


Рис. 4.2. Знаки для безпечної експлуатації машини.

В таблиці 4.1 нами було зображено умовні позначення попередження про небезпечні місця, які розташовані на кузові машини, та пояснення до них.

Таблиця 4.1

Позначення про небезпечні місця та пояснення до них

	<p>Перед початком роботи агрегату необхідно ознайомитись з інструкцією під час експлуатації, особливо питання техніки безпеки.</p>
	<p>Позначення указує на небезпечне місце, де заборонено знаходитись під час відвантаження, або початку роботи (наприклад розташування біля кардану).</p>
	<p>Місця на агрегаті де заборонено засувати руки. Розташовані робочі органи які обертаються. Торкатись дані елементи на машині дозволяється тільки при повній зупинці двигуна, ВВП.</p>

	<p>Позначення розташоване на підніжці агрегату та інформує про заборону знаходження в даній зоні під час руху. Перевозити осіб на даному місці заборонено, недотримання даних вимог призведе до важких травм, навіть зі смертельним наслідком.</p>
	<p>Позначення інформує оператора про небезпеку захвату та намотування на робочий орган, який обертається. Забороняється відкривати захисні огорожі при рухомих елементах. Небезпека: важкі травми навіть смертельний наслідок.</p>
	<p>Знаходження в зоні розлітання добрив заборонено. Необхідно знаходитись на безпечній відстані від небезпечної зони.</p>
	<p>Позначення інформує про небезпеку непередбаченого запуску, або відкочування агрегату під час виконання робіт з агрегатом (налагодження, очистка чи ремонт). Небезпека отримання важких травм, в тому числі смертельний наслідок.</p>
	<p>Небезпека пов'язана з самовільним відкочуванням агрегату. Небезпека: отримання важких травм та навіть смерть. Необхідно використовувати стояночні гальма, та упори під колеса для запобігання самовільного руху.</p>

Сільськогосподарську машину необхідно приєднувати до енергетичного засобу тільки з відповідними технічними характеристиками. При приєднанні на навіску трактора (передню або задню) необхідно враховувати загальну масу трактора, навантаження допустиме на опорні колеса.

Машини для внесення мінеральних добрив і пестицидів повинні мати попереджувальні написи про необхідність застосування операторами засобів індивідуального захисту, а оператори забезпечені інструкцією з охорони праці під час транспортування і застосування пестицидів у сільському господарстві.

Кузов транспортного засобу для перевезення твердих мінеральних добрив повинен бути чистим і без щілин. На кожному транспортному засобі має бути брезент для накривання вантажу. Для доставлення пилоподібних мінеральних добрив безпосередньо на поле з наступним їх внесенням у ґрунт необхідно виділяти транспорт, обладнаний устаткуванням для вивантажування. Кузов транспортного засобу має бути без щілин і накритий брезентом.

Заборонено у темний час доби проводити роботи, пов'язані з транспортуванням аміаковмісних мінеральних добрив, приготуванням розчинів, змішуванням їх та внесенням у ґрунт.

Після закінчення робіт з перевезення та внесення твердих мінеральних добрив усі робочі органи і вмістища розкидачів та кузовав автомашин потрібно очистити від залишків добрив і промити водою. Після закінчення робіт з перевезення та внесення рідких добрив цистерни, баки та робочі органи машин потрібно промити гарячою водою або парою. Чистити і мити машини та інвентар необхідно на спеціально відведених майданчиках.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Нами було проаналізовано ефективність використання добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур та показники ефективності їх засвоєння рослинами. Наведені способи внесення дозволять більш краще їх використовувати кореневій системі рослини. Проведений аналіз машин для внесення добрив як вітчизняного так і зарубіжного використання.

Наведена методика та обладнання для визначення механіко-технологічних властивостей добрив. Проведений патентний пошук дозволив науковцям запропонувати удосконалений диск, який дозволяє збільшити ширину розкидання з 9,48 метрів до 13,43 метрів та продуктивність збільшиться з 7,4 га/год до майже 11 га за годину. Запропонований розкидальний диск підвищить рівномірність розкидання частинок мінеральних добрив по поверхні поля.

Наведені схеми приладів для визначення статичного та динамічного коефіцієнтів тертя. Для визначення показника вологості використовувались ваги RADWAG WLC 0,2/C/1.

Дослідження проведені на такі показники як гранулометричний склад, які показали що найбільші частинки мають добрива: гранульований суперфосфат, потім нітроамофоска, має розмір частинок (так званих гранул) 5 міліметрів та найменші розміри у сечовини – 4 міліметра. Найменші значення коефіцієнтів тертя мають обидва добрива (сечовина та суперфосфат), розмір часточок яких складає від 1,1 до 2,1 мм. Середні значення коефіцієнтів тертя для суперфосфату та сечовини становлять 0,504 та 0,323 відповідно.

Запропоновані заходи з охорони праці дозволять зменшити кількість нещасних випадків при роботі з отрутохімікатами, а наведені знаки безпечної експлуатації машини для внесення мінеральних добрив дозволять безпечно її експлуатувати.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Орлов О. Ефективність різних добрив та особливості їх застосування. «Агроном» - журнал про сучасне вирощування сільськогосподарських культур. Сайт <https://www.agronom.com.ua/>. Головна / Публікації / Добрива. 09.01.2023. URL: <https://www.agronom.com.ua/efektyvnist-riznyh-dobryv-ta-osoblyvosti-yih-zastosuvannya/> (дата звернення: 09.09.2025).
2. Юник А., Трифонов І., Директор ФГ «агроінвест-Топилище». Рекомендації з унесення добрив на підставі практичного досвіду господарств. Журнал «Агробізнес Сьогодні». <https://agro-business.com.ua/>. Головна / Статті / Агрономія сьогодні. 16.12.2020. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/19860-rekomendatsii-z-unesennia-dobryv-na-pidstavi-praktychnoho-dosvidu-hospodarstv.html> (дата звернення: 01.09.2025).
3. Добрива під основний обробіток. Сайт: <https://makosh-group.com.ua>. Makosh — імпортер та дистриб'ютор мінеральних добрив та добрив для позакореневого живлення.. Блог / Поради фермеру /. URL: <https://makosh-group.com.ua/blog/dobryva-pid-osnovnyu-obrobitok/> (дата звернення: 01.10.2025).
4. Норми внесення органічних добрив. Сайт: <https://ag-bag.ua>. (Компанія АГ-БАГ-УКРАЇНА). Головна / Корисні поради. 22.07.2022. URL: <https://ag-bag.ua/advice/normy-vneseniya-organicheskikh-udobrenij> (дата звернення: 04.09.2025).
5. Бойко І. Розкидачі добрив: коротко про основне. Всеукраїнський аграрний журнал "АгроЕліта". Сайт <https://agroelita.info/>. Головна / Новини, Техніка / Розкидачі добрив: коротко про основне. 18.03.2023. URL: <https://agroelita.info/rozkydachi-dobryv-korotko-pro-osnovne/> (дата звернення: 03.09.2025).
6. Розкидач органічних добрив UNIA ТУТАН (Унія). Сайт Волинської фондової компанії. <https://vfc.com.ua/ua/>. Головна / Каталог товарів / Сільськогосподарська техніка / Розкидачі добрив / Розкидачі органічних добрив / UNIA. URL: [https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska\\_tehnika/rozkidachi/od/unia-159.html](https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tehnika/rozkidachi/od/unia-159.html) (дата звернення: 08.09.2025).

7. Огляд розкидачів добрив та їх експлуатація / Голіков Р.А., Горовий М.В., Калнагуз О.М./ Міжнар. наук.-практ. конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»: (Мелітополь, 01-24 листопада 2023 р.) / ТДАТУ: ред.кол. В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, [та ін.]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2023. - 354 с. (с.38-40).

8. Огляд робочих органів машин для внесення мінеральних добрив / Садовничий М.Б., Петренчук Д.Ю., Харченко Ф.М., Калнагуз О.М. // Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції (21-23 жовтня 2024 р.). Ч.1. – Суми: СНАУ, 2024 - 249 с. (с. 214–216). [https://itf.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2025/02/2024\\_%D0%86%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96-%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97\\_%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8\\_%D0%A71\\_compressed\\_2.pdf](https://itf.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2025/02/2024_%D0%86%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96-%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97_%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8_%D0%A71_compressed_2.pdf)

9. Несмачна М. ТОП причіпних розкидачів міндобрив на ринку України. Сайт <https://traktorist.ua/> Біржа сільгосптехніки. Головна / Статті /. 30.01.2020. URL: <https://traktorist.ua/articles/ТОП-prichpnih-rozkidachv-mndobriv-na-rinku-Ukrani> (дата звернення: 03.09.2025).

10. Робочий орган розкидача добрив : пат. 156379 Україна : А01С 17/00. № u202301161 ; заявл. 21.03.2023 ; опубл. 19.06.2024. <https://ipro-ua.com/inv/3riydhsn/>

11. Робочий орган відцентрового розкидача добрив : пат. 58087 Україна : А01С 17/00. № u201012299 ; заявл. 18.10.2010 ; опубл. 25.03.2011. <https://ipro-ua.com/inv/pdf/qepde3yy-pub-description.pdf>

12. Робочий орган відцентрового розкидача добрив : пат. 84577 Україна : А01С 17/00. № u 2013 05134 ; заявл. 22.04.2013 ; опубл. 25.10.2013, Бюл.№ 20. <https://ipro-ua.com/inv/zk04pdno/>

13. Робочий орган відцентрового розкидача добрив : пат. 85075 Україна : А01С 17/00. № u 2013 05767 ; заявл. 07.05.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл.№ 21. <https://ipro-ua.com/inv/pdf/94uwcmmmd-pub-description.pdf>

14. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум: Навч. посібник С.С. Яцун, М.Я. Довжик, Г.С. Головченко, О.М.Калнагуз, Ю.В. Сіренко; За редакцією С. С. Яцуна. – Суми.: СНАУ, 2011. – 143 с.

15. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін.; За ред. С. С. Яцуна. — К.: Мета, 2003. — 448 с.: іл. ISBN 966-7947-06-8 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://lib.dsau.dp.ua/pub/mexaniko\\_tehnologichni\\_vlastivosti\\_s\\_g\\_mat.pdf](https://lib.dsau.dp.ua/pub/mexaniko_tehnologichni_vlastivosti_s_g_mat.pdf)

16. Експлуатація машин і обладнання: навчально-методичний комплекс за ред. І.М. Бендери / [І.М. Бендера, В.П. Грубий, П.І. Роздорожнюк та ін.]. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2013. – 576 с.

17. Temirov, S. & Тухтабаев, Мирзохид & Turgunov, Z.. (2023). Studying the movement of fertilizers in the fertilizer spreader. E3S Web of Conferences. 386. 10.1051/e3sconf/202338603007.

18. Hassan, Affendy & Sulaiman, Mohd & Ibrahim, Muhammad Shuhaimi & Abd Rahman, Abu Bakar & Saliun, Charis. (2024). Investigating Fertilizer Spreader Blades for Improved Flow Behaviours and Material Resilience in Palm Plantation Settings. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. 114. 214-226. 10.37934/arfmts.114.2.214226.

19. Ou, Mingxiong & Wang, Guanqun & Lu, Ying & Zhang, Zhengji & Pan, Huijie & Jia, Weidong & Dong, Xiang. (2025). Structure Optimization and Performance Simulation of a Double-Disc Fertilizer Spreader Based on EDEM-CFD. Agronomy. 15. 1025. 10.3390/agronomy15051025. [https://www.researchgate.net/publication/391130641\\_Structure\\_Optimization\\_and\\_Performance\\_Simulation\\_of\\_a\\_Double-Disc\\_Fertilizer\\_Spreader\\_Based\\_on\\_EDEM-CFD](https://www.researchgate.net/publication/391130641_Structure_Optimization_and_Performance_Simulation_of_a_Double-Disc_Fertilizer_Spreader_Based_on_EDEM-CFD)

20. Kobets, A.S. & Ponomarenko, N.O. & Kharytonov, Mykola. (2017). Construction of centrifugal working device for mineral fertilizers spreading. INMATEH - Agricultural Engineering. 51. 5-14. <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/7888/1/%D0%A1onstruction.pdf>

21. Martínez-Rodríguez, Arturo & Victoria Gómez-Águila, MSc. María & Escobar, MC. Martín Soto. (2021). Model and Software for the Parameters Calculation in Centrifugal Disk of Fertilizer Spreaders. 30.

22. CEROVIĆ, V.B.; DRAGAN, V.P.; RADE, L.R.; SAŠA, R.B.; VUKOVIĆ, A.: "On the Fertilizer Particle Motion Along the Vane of a Centrifugal Spreader Disc Assuming Pure Sliding of the Particle", Journal of Agricultural Sciences, 63(1): 83-97, 2018, ISSN: 0021-8596, DOI: <https://dx.doi.org/10.2298/JAS1801083C>. UDC: 631.33.022.

23. Пашенько С. Охорона праці під час застосування мінеральних добрив. Сайт <https://tyvriv-miskrada.gov.ua/>. URL: <https://tyvriv-miskrada.gov.ua/news/1681300219/> (дата звернення: 30.09.2025).

24. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М.Сақун, В.Ф. Нагорнюк; Одеський державний аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності.- Одеса «Видавництво», 2009.- 184 с.

25. Семітко Р.О., Саржанов Б.О., Харченко Ф.М., Калнагуз О.М. Обладнання для дослідження властивостей сипких матеріалів // Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 31-ої міжнародної науково-практичної конференції (21-23 жовтня 2025 р.). Ч.1. – Суми: СНАУ, 2025 - с 81-83.

26. Семітко Р.О. Огляд робочих органів машин для внесення добрив // Матеріали ХХVІ Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–18 жовтня 2025 року) / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2025. с .....

## **ДОДАТКИ**