

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерно-технологічний  
Кафедра агроінжинірингу

До захисту допускається  
завідувач кафедри  
агроінжинірингу

Шуляк М. Л.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти  
на тему: «Обґрунтування конструктивних параметрів робочих органів  
розкидачів мінеральних та органічних добрив»

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ніколенко О. О.

(прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-2м ВН

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Воліна Т. М.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить:

- пояснювальну записку: 67 стор., 18 іл., 5 табл., 20 використаних джерел, додатки;
- мультимедійну презентацію.

Дослідження спрямовані на збільшення якості розподілу добрив при їх внесенні згори через удосконалення функціональної структури, оптимізацію конструктивних параметрів та алгоритмів функціонування розкидача – туковисівного агрегату. Об'єктом дослідження є робочий орган туковисівного апарату дискового типу, а предметом – вплив його конструктивних параметрів на якість розподілу добрив.

В роботі проведено огляд та проаналізовано дослідження, що стосуються процесу розсіювання добрив. Розглянуто основні конструкції машин для внесення добрив та їх робочих органів, показники ефективності цього процесу, фізико-механічні характеристики матеріалу. Виконано розрахунок параметрів розсіювання добрив та кута розсіювання добрив механічними пристроями. На основі теоретичних розрахунків складено програму і методику експериментальних досліджень, проведено стендові та польові випробування.

Наведені основні вимоги охорони праці на сільськогосподарських підприємствах, викладено відповідні рекомендації. Досліджено техніко-економічну оцінку пропонованого рішення.

За результатами досліджень викладено висновки та пропозиції.

**РОЗКИДАЧ, АНАЛІЗ, ОРГАНІЧНІ ТА МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА,  
ПОЛЬОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОБОЧИЙ ОРГАН.**

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	5
Вступ	6
1 Огляд та аналіз досліджень процесу розсіювання добрив	8
1.1 Машини для внесення добрив та принцип їх роботи	8
1.2 Показники ефективності розсіювання добрив	13
1.3 Фізико-механічні характеристики органо-мінеральних добрив	16
1.4 Дослідження робочих органів розкидачів добрив	17
Висновки до розділу 1	23
2 Конструктивно-геометрична параметризація робочого органу	24
2.1 Розрахунок параметрів розсіювання добрив	24
2.2 Дослідження кута викидання добрив механічними пристроями	28
Висновки до розділу 2	36
3 Експериментальні дослідження	37
3.1 Програма та методика експериментальних досліджень	37
3.2 Проведення експериментальних стендових випробувань	40
3.3 Проведення експериментальних польових випробувань	44
Висновки до розділу 3	47
4 Охорона праці	49
4.1 Охорона праці на сільськогосподарських підприємствах	49
4.2 Виробничий травматизм на сільськогосподарських підприємствах	51
Висновки до розділу 4	52
5 Техніко-економічне обґрунтування пропонованих рішень	55
Висновки до розділу 5	62
Загальні висновки	63
Список використаних джерел	65
Додатки	68

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

МД – мінеральні добрива;

МТА – машино-тракторні агрегати;

РО – робочі ограні;

ТВМ – туковисівний матеріал;

МДХ – мінеральні добрива та хімічні меліоранти.

## ВСТУП

Продуктивність агрокультур тісно пов'язана з якістю ґрунту та його родючістю, яка визначає здатність ґрунту стало та своєчасно надавати рослинам необхідні поживні елементи. В ході використання земельних ресурсів зменшення кількості поживних речовин у ґрунті призводить до падіння його родючості та урожайності.

Ключовим фактором для досягнення високих урожаїв оброблюваних культур є використання добрив, причому їх ефективність сильно залежить від однорідності їх розподілу на поверхні поля. Згідно з результатами польових досліджень, які проводять агрохімічні лабораторії, нерівномірне розподілення добрив у межах 40–60 % веде до зниження врожаю зернових та просапних культур на 4–6 %. При збільшенні нерівномірності до 70–80 %, втрати можуть досягати 10–15 %. Експерименти демонструють, що для максимального урожаю при певних умовах існує оптимальна доза внесення добрив. Перевищення цієї дози знижує приріст урожаю на одиницю добрив, а значне перевищення може зменшити урожайність. Дослідження також показують, що зі збільшенням дози добрив і концентрації активних речовин у них зростають і вимоги до точності їх розподілу: при помірних дозах допустима нерівномірність становить  $\pm 25\%$ , тоді як для оптимальної дози цей показник не повинен перевищувати  $\pm 15\%$ , інакше ефективність зменшується.

Основні методи аплікації добрив включають поверхневе внесення з подальшим впровадженням за допомогою землеробських інструментів та підґрунтове внесення. Агротехнічні дослідження виявили, що підґрунтовий метод сприяє значному підвищенню урожайності, оптимальному використанню добрив та зниженню рівня екологічного забруднення. Проте, незважаючи на його переваги, поверхневе внесення залишається домінуючим методом у землеробстві, становлячи понад 65 % від загального обсягу використовуваних добрив в країні.

У світовій практиці для поверхневого внесення добрив часто

використовуються машини, оснащені відцентровими механізмами з вертикальним або горизонтальним розташуванням осі обертання. Хоча ці машини відомі своєю високою продуктивністю та надійністю, вони не завжди здатні забезпечити потрібну дозу та однорідність розподілу добрив на великій площі. Багато дослідників вважають, що основною причиною низької якості розподілу добрив за допомогою розсіювальних машин є вплив різноманітних зовнішніх чинників, таких як рельєф поля, швидкість та напрямок вітру, вологість повітря, а також механічні, фрикційні, гігроскопічні та гранулометричні властивості добрив. Тому покращення процесу розсіювання добрив для досягнення більшої сталості їх розосередження на полі в умовах реальної експлуатації стає важливою науково-практичною задачею.

Дослідження спрямовані на збільшення якості розподілу добрив при їх внесенні згори через удосконалення функціональної структури, оптимізацію конструктивних параметрів та алгоритмів функціонування розкидача – туковисівного агрегату. Об'єктом дослідження є робочий орган туковисівного апарату дискового типу, а предметом – вплив його конструктивних параметрів на якість розподілу добрив.

Поставлена мета потребує розв'язання наступних задач:

1. Аналіз фізико-механічних характеристик органо-мінеральних добрив, що впливають на їх здатність до польоту та однорідність розсіювання;
2. Верифікація математичної моделі механізму розсіювача добрив через практичні експерименти;
3. Вивчення ефекту від різних конструкцій роторних робочих органів на ефективність розподілу добрив розкидачами;
4. Реалізація польових випробувань для оцінювання якості роботи відцентрових розкидачів;
5. Розробка та уточнення заходів щодо забезпечення безпеки під час використання органо-мінеральних добрив;
6. Техніко-економічний аналіз ефективності використання запропонованого рішення на практиці.

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОЗСИЮВАННЯ ДОБРІВ

## 1.1 Машини для внесення добрив та принцип їх роботи

Наразі та протягом наступного десятиліття основна кількість МДХ буде застосовуватись шляхом розсіювання як у рамках основного внесення у ґрунт, так і для додаткового підживлення агрокультур. У виробництві будуть використовуватись як прямоточні, так і перевантажувальні технологічні схеми. Для транспортування МДХ від місць зберігання до полів застосовуватимуться спеціалізовані машини, особливо у великих аграрних компаніях. Підживлення рослин МД у вигляді гранул із використанням причіпного устаткування відбуватиметься виключно з використанням перевантажувальної схеми.

Трактори стануть переважаючими енергетичними ресурсами для створення удобрювальних агрегатів, а в агроформуваннях з великими земельними площами будуть використовуватися також МТА. Машино-тракторний парк складатися з начіпних і напівпричіпних машин, що включатимуть технологічні контейнери, живильники, робочі органи та відповідне обладнання. У МТА будуть застосовуватися гравітаційні живильники, а інші машини оснащуватимуться переважно живильниками прутково-пластинчастого типу [16].

Зазвичай для внесення добрив використовуватимуться машини, здатні за один прохід агрегату одночасно вносити азотні, фосфорні та калійні добрива у диференційованих дозах без їх попереднього змішування.

У машинах для внесення добрив широко використовуються РО відцентрового типу, які утворюють до 96 % парку технічних засобів для внесення МДХ у провідних країнах світу, і ця тенденція збережеться у наступному десятилітті. РО відцентрового типу оснащені лопатками, зовнішні кінці яких виступають за межі робочого органу. Поворотні лопатки на диску

дозволяють налаштовувати напрямок розсіювання добрив. Для розширення ефективного захвату МТА можуть бути застосовані робочі органи конусоподібної форми з похилим розташуванням лопаток відносно горизонту, а також спеціальні кожухи та відбивачі, що упорядковують розкид МД від робочого органу [5].

На відміну від зарубіжних аналогів, вітчизняні машини для внесення добрив не відповідають агрономічним вимогам щодо показників нерівномірності і мають меншу робочу ширину захвату.

На даний час відсутні комплексні дослідження кінематики руху ТВМ вздовж агрегатів для його висіву, що враховують всі фактори продовж всього маршруту від живильника до ґрунту під дією зовнішніх факторів на кшталт вітру та аеродинамічних змін під час руху.

Технологічна схема внесення МДХ включає процеси доставки від сховища до поля, використовуючи обладнання для безпосереднього внесення. Залежно від асортименту технічних засобів наявних у господарстві, їх кількості, обсягу робіт, термінів їх виконання, відстані від сховища до поля, дозування добрив та наявності кадрів, існують різні схеми внесення: прямоточна, перевантажувальна та перевалочна.

Прямоточна схема є найпростішою: добрива, готові до внесення, завантажуються у машини прямо у сховищі, доставляються на поле і розподіляються по поверхні ґрунту.

Перевантажувальна схема передбачає доставку добрив від сховища до поля, де вони перевантажуються у польові машини за допомогою спеціального обладнання, званого завантажувачами.

Перевалочна схема полягає у доставці добрив з сховища на спеціально облаштовані майданчики у полі за допомогою універсальних транспортних засобів. З цих майданчиків добрива завантажуються у польові машини, які вносять їх на ґрунт.

Використання прямоточної схеми, порівняно з іншими, потребує меншої кількості технічних засобів і спрощує організацію виконання робіт, завдяки

чому приблизно 80 % добрив для основного удобрення та підживлення зернових культур вносять саме цим способом.

Застосування перевантажувальної технологічної схеми внесення добрив значно підвищує змінну продуктивність польових машин, але вимагає використання групового методу роботи. Водночас, застосування цієї схеми у випадку окремих агрегатів, заснованих на машинах з вантажопідйомністю до 1000 кг, може створювати певні труднощі. Справа в тому, що використання прямої схеми стає нерентабельним через збільшення часу доставки добрив зі сховища до поля. Одночасно, перевантажувальна схема може виявитися неефективною через підвищені часові та трудові затрати на завантаження за допомогою завантажувача [8].

В результаті у аграрному виробництві часто доводиться завантажувати технічні місткості таких машин вручну з платформи тракторного причепа, що призводить до зниження ефективності роботи та збільшення фізичного навантаження на працівників. Це створює необхідність або розробки нових, більш адаптованих технологічних рішень, або оптимізації існуючих підходів до мінімізації затрат часу і труду.

Перевалочна технологічна схема внесення добрив використовується в особливих випадках, коли неможливо застосувати прямої або перевантажувальну схеми. Основна проблема цієї схеми полягає в ризику погіршення фізико-механічних властивостей незатарених добрив, що зберігаються у відкритому полі. Промисловість реагує на цю проблему, збільшуючи поставки добрив в герметичних еластичних мішках або контейнерах, що може полегшити застосування перевалочної схеми та зменшити навантаження на транспортування в пікові періоди [10].

На міжнародному рівні фірми з ФРН, Франції, США та Великобританії є лідерами у виробництві та розробці машин для внесення мінеральних добрив. Широкий асортимент машин від цих виробників дозволяє аграріям вибирати обладнання, що найкраще відповідає їх потребам залежно від площі орних земель, обсягів використання добрив, спеціалізації виробництва та

індивідуальних уподобань.

Залежно від типу мобільних енергетичних засобів, що агрегують з машинами для внесення добрив, вони поділяються на категорії: тракторні, автомобільні, самохідні, мотоциклетні, авіаційні та кінні. Це різноманіття дозволяє адаптувати техніку до конкретних умов і потреб господарств [12].

Машини для розсівання МДХ зазвичай мають такі основні компоненти: технологічну ємність (рис. 1.1), в нижній частині якої на рівні днища встановлено живильник. Під живильником знаходиться тукоспрямовувач і розподільний орган.

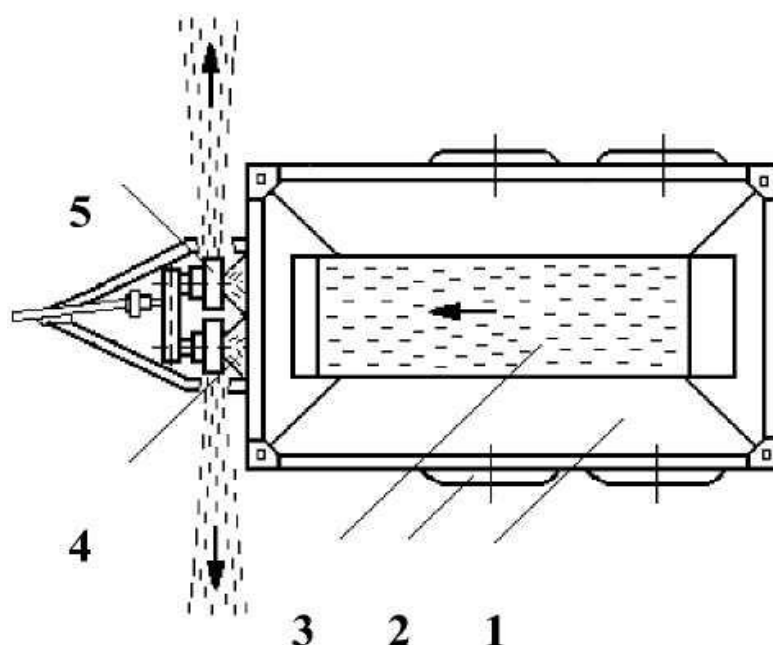


Рисунок 1.1 – Принципова схема роботи СТТ-10: 1 – бункер ТВМ; 2 – ходова; 3 – стрічка живильника; 4 – спрямовувач ТВМ; 5 – роторний робочий орган

Процес роботи цих машин полягає в наступному. Живильник із бункера подає добрива на конвеєрну стрічку, яка направляє їх на РО. При зіткненні з робочою поверхнею, матеріал набуває деякої швидкості і РО викидає добрива. Завдяки отриманому прискоренню матеріал розсіюється у вільному польоті по ґрунтовому середовищу на відстань 15–30 метрів. Радіус розсіювання добрив

при цьому становить 8–20 метрів.

На вимогу фермерських господарств агрегати пострадянського виробництва для внесення ТВМ обладнувались вітрозахистом.

Багато вчених досліджували ефективність постійного застосування вітрозахисних пристроїв для поліпшення якості внесення добрив. Однак такі конструкції суттєво обмежують робочу ширину захвату обладнання, ускладнюють його експлуатацію, особливо при використанні прямоточних технологічних схем, і знижують продуктивність основних робіт. Через ці причини вітрозахисні пристрої не використовуються на сучасних машинах, а нормативні документи вимагають оцінювати якість внесення добрив лише за умови, що швидкість вітру не перевищує 2 м/с [15].

Під час роботи механізми для розподілу захоплюють гранули добрив, надають їм необхідної швидкості та розкидають по всій робочій зоні машини. Залежно від розмірів контейнера, типу та параметрів дозатора, машина може мати один або два такі механізми [15].

Конструктори обладнання для внесення добрив використовують різні види розподільчих механізмів: ротор з лопатями, еластичну чашу з роликком, стрічковий транспортер, вентилятор, диск з лопатками, маятниковий патрубок та барабанну систему. Хоча всі ці механізми були впроваджені в машини для внесення добрив, сучасні моделі використовують тільки три останні через переваги, які вони мають над іншими. Механізм у формі диска з лопатками називається відцентровим, а той, що у вигляді маятникового патрубка, – маятниковим.

Основні виробники агротехніки пропонують функцію окремого регулювання швидкості обертання кожного механізму, що дозволяє забезпечити нерівномірний розподіл добрив на краях поля за потреби. Спроби створити механізми зі складною траєкторією руху для покращення внесення добрив не принесли очікуваних результатів і лише ускладнили конструкцію.

Що стосується діаметра РО, то в новітній техніці він складає 200–1000 мм. Вибір цього параметра слід здійснювати з урахуванням того, що

збільшення діаметра не лише підвищує матеріаломісткість машини, але й збільшує момент інерції, що призводить до значних динамічних навантажень на деталі приводного механізму. У багатьох машинах сталеві розподільчі механізми товщиною 1,5–2 мм мають діаметр 500–800 мм [17].

Робоча ширина машин також визначається формою диска розподільчого механізму, оскільки вона впливає на вектор швидкості матеріалу в абсолютному напрямку відносно горизонту під час їх викиду.

Отже, машини для внесення мінеральних добрив класифікуються за типом приводного агрегату, з яким вони агрегуються: машино-тракторні, самохідні установки, гужові, повітряного спорядження. Робоча ширина таких машин залежить від геометрії РО розподільчого механізму.

## **1.2 Показники ефективності розсіювання добрив**

Ефективність внесення добрив визначається точністю дозування та рівномірністю їх розсіювання по ґрунту. Для тукосумішей додатково оцінюється зміна співвідношення основних поживних речовин N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N:K<sub>2</sub>O та P<sub>2</sub>O:K<sub>2</sub>O на тестових ділянках розміром 500 мм×500 мм.

Згідно з агротехнічними нормами, середнє фактичне внесення добрив повинно відхилятися від планового показника не більше ніж на  $\pm 10\%$ . Індекс нерівномірності внесення, визначений коефіцієнтом варіації, має бути меншим за 25 % для авіаційних засобів і машин з центрифужними розподільчими механізмами, 15 % для сівалок для туків і 30 % для пневматичних розкидачів типу АРУП-8. Пропуски між захватками недопустимі, а перекриття в місцях стикових проходів повинно становити 5 % поперечника проходки. Поворотні смуги обробляються добривами за тими ж вимогами, що й основне поле. Важливо правильно визначити оптимальну кількість добрив для досягнення запланованої врожайності, враховуючи, що між збільшенням кількості добрив і підвищенням врожайності немає прямопропорційної залежності [18]. Графічна залежність між урожайністю

і кількістю внесених добрив на гектар допомагає оцінити їх ефективність (рис. 1.2).

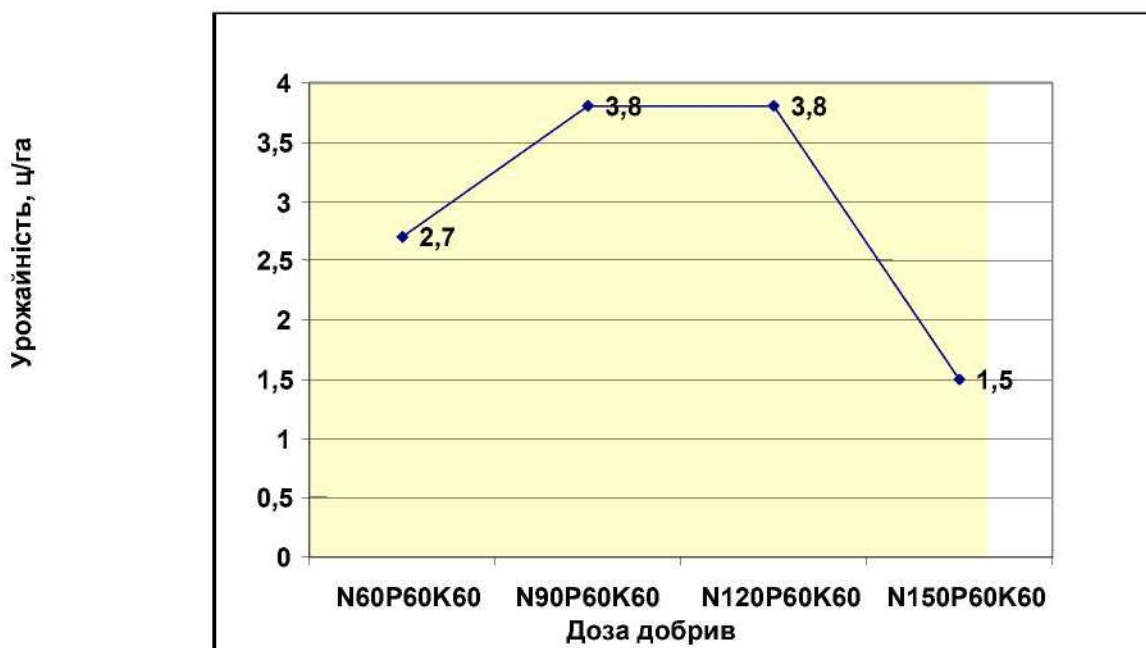


Рисунок 1.2 – Динаміка зміни врожайності під впливом дозування азотовмісних МД

Ефективне і правильне застосування добрив не тільки забезпечує високі врожаї, але й покращує якість продукції, що в результаті підвищує обсяги виробництва в аграрному секторі (рис. 1.3).

Традиційні методики підживлення культур задовольняють сучасні вимоги не в повній мірі. Вони складаються з двох окремих етапів: розподілення матеріалу по ділянці та його закладення в ґрунт. Перший етап зазвичай здійснюється із використанням механізмів відцентрової дії, які мають високу продуктивність, низьку вартість виготовлення та експлуатації, оснащені великими бункерами, що значно спрощує логістичні завдання при їх експлуатації.

МТА засновані на робочих органах відцентрової дії мають значну здатність до сепарації однорідних МД за фракційним складом та змішаних добрив на компоненти. Простота конструкції, низька металоємність та висока

продуктивність стали основними причинами їх широкого розповсюдження.

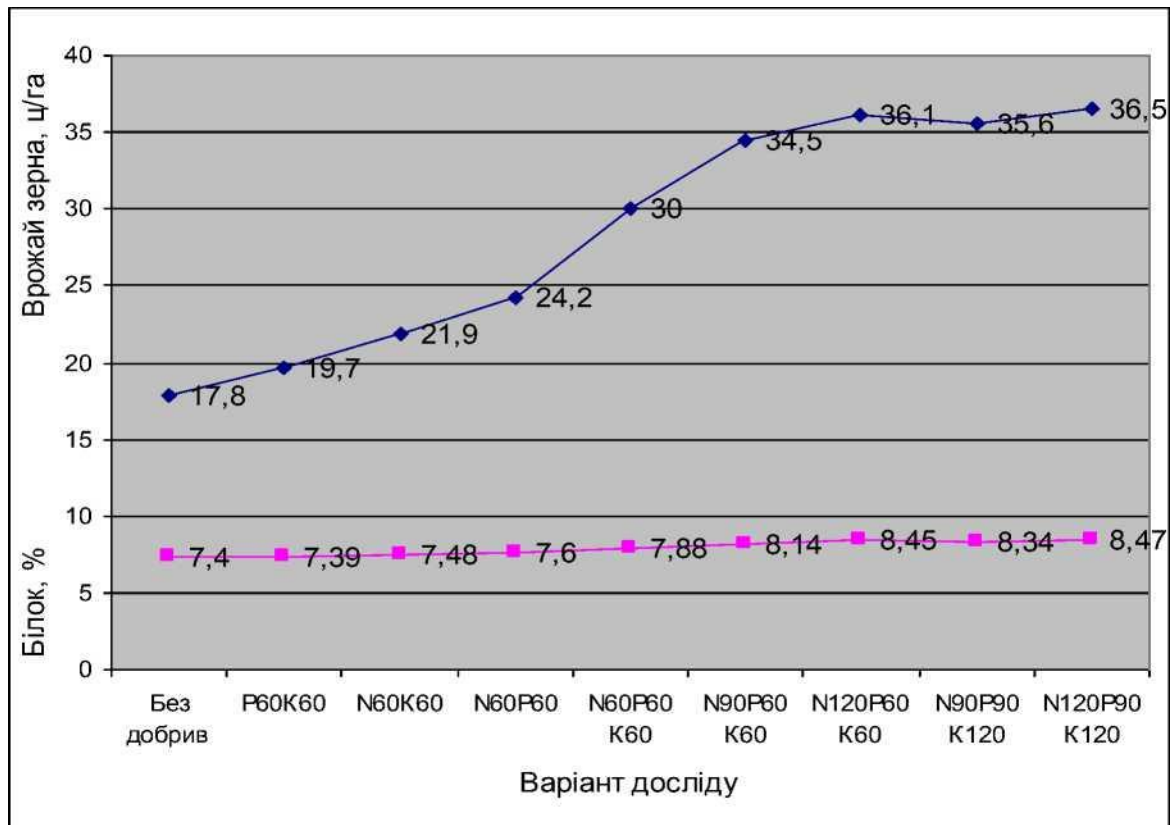


Рисунок 1.3 – Залежність вмісту білкової складової жита озимого від застосованих МД при його культивуванні

Однак, нерівномірність розподілу добрив може досягати 60–80 %, що знижує ефективність застосування азотовмісних МД на 46–51 %, фосфоровмісних більш ніж на 14 %, калієвмісних і комплексних добрив на 36–40 %. Така тенденція спричинена аеродинамічними властивостями ТВМ, що рухаються по балістичній траєкторії після їх скидання робочим органом агрегату, та як наслідок обмеження використання такого роду установок через підвищення вимог сучасного землеробства до рівномірності розподілу МД. Це спонукає до вдосконалення відцентрових апаратів шляхом використання конічних РО, лопатей різної довжини та габаритів на протяжності одного елемента, похилого розташування у декілька ярусів, збільшення робочої відмітки агрегату та створенням спеціальних вітрозахисних пристроїв [6].

Отже, основні вимоги до підживлення сільськогосподарських культур

включають:

- рівномірність висіву матеріалу повинна бути не більше 10 % вздовж траєкторії руху машино-тракторного агрегату та 20 % у поперечнику захватки;
- відхилення щільності розподілу МД по площі не повинно перевищувати  $\pm 10$  %.

### **1.3 Фізико-механічні характеристики органо-мінеральних добрив**

Фізичні та механічні характеристики добрив мають широкий спектр значень і часто пов'язані між собою. Важливими властивостями, що чинять вплив на рівномірність розподілу добрив по полю, є диференціація часток матеріалу за геометричними розмірами, супротив тертю і здатність до руху під впливом повітряних потоків. Оскільки ці характеристики сильно залежать від вмісту вологи, що суттєво впливає на роботу обладнання для внесення, сучасні МД класифікуються у відповідності до загальноприйнятих стандартів вологості, визначений на етапі виробництва. Особливо важливо стежити за вологістю добрив перед їх використанням у полі.

Розмір і форма часток добрив мають значення не тільки для відповідності технічним стандартам, але й для врахування фракційного складу по причині того, що вони мають різні фізичні та механічні властивості. Ці властивості впливають на відстань, яку долають частки, і на рівномірність розсіювання [11].

При застосуванні МТА, що засновані на агрегатах із відцентровим принципом роботи на швидкість часток МД по відношенню до лопатки значно впливає коефіцієнт тертя. Частинки добрив ковзають скочуються поверхнею лопаті, тому важливо визначити змінний визначник тертя для кожної фракції після проведення аналізу розмірів і форми частинок.

Коли частинки рухаються в повітрі, на відстань переміщення чинить вплив показник аеродинамічного опору. Якщо добрива складаються з кількох фракцій, потрібно визначити цей коефіцієнт для кожної фракції, оскільки вони

мають різну траєкторію переміщення при однаковій початковій швидкості.

Розмір і склад частинок затверджений державним нормативно-технічним документом ОСТУ 70.7.1-74, що регламентує їх лабораторну оцінку. З різних місць купи добрив відбирають три зразки масою по 250–300 грамів кожен. Ці зразки поміщають у систему сит, розташованих послідовно, з отворами, що зменшуються від верхнього до нижнього. Використовуються сита з отворами розміром 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм і 5 мм. Сита струшують продовж 120 секунд за заданої інтенсивності. Частинки, що залишаються на кожному ситі, а також ті, що проходять через сито з отворами в один міліметр, додатково важаться з точністю до 0,1 грама [1].

Під час застосуванні добрив за допомогою відцентрових дисків або інших металевих робочих органів, відстань польоту та якість розсіювання докорінно визначається їх аеродинамічним опором.

Гранулометричний склад сечовиновмісних МД та нітроамофоски більшість гранул (відповідно 77 % та 68%) мають розмір 2,1–3 мм, а в нітроамофосці менше 4 %. Серед МД, що вивчаються, найбільш сталий розмір часток має сечовина, тоді як суперфосфат характеризується найширшим діапазоном розмірів часток.

#### **1.4 Дослідження робочих органів розкидачів добрив**

Відцентрові розподільчі механізми були створені більше семи десятиліть до сьогодні. Вони мають конструкцію, що складається з вертикального диска, який зверху оснащений лопатями. Цей диск обертається зі швидкістю 10–20 обертів на секунду.

Процес роботи цих механізмів зумовлений перебігом процесу, коли ТВМ подаються на верхню площину диска, де лопатки захоплюють їх і починають обертати. Під впливом центрифугальної сили гранули добрив набирають швидкість, рухаючись уздовж лопатей від центру до краю диска. Коли вони покидають диск, їхня швидкість складається з обертальної

швидкості диска та швидкості самих частинок. Після цього гранули рівномірно розподіляються по полю, охоплюючи всю робочу зону машини [3].

Актуальні моделі від провідних виробників дають можливість окремо налаштовувати швидкість обертання кожного розподільчого механізму, що дозволяє нерівномірно розподіляти добрива окраїнами угіддя. Намагання інженерів сконструювати робочі органи розкидача, траєкторія руху робочого органу якого відрізняється від звичайного обертання чи лопаток специфічної форми не виправдали очікувань і лише ускладнили конструкцію.

Діаметр розподільчих механізмів агрегатів коливається в діапазоні 200–1000 мм. Збільшення цього параметра не тільки підвищує витрати матеріалу, але й збільшує момент інерції, що створює значні фізико-механічні зусилля компонентів приводу. Більшість машин оснащені механізмами діаметром 500–800 мм, виготовленими із сталевого матеріалу 1,5–2 мм, стійкого до корозії.

Ширина робочої зони машини визначається формою диска механізму, який впливає на напрямок руху частинок добрив при їх викиді. В Українському НДІ МтЕСГ розробили механізм з диском у вигляді конусоподібної форми, що направлений вістрям донизу (рис. 1.4). Під час роботи цього механізму частинки добрив рухаються під кутом вгору, що дозволило розширити робочу зону без зміни розміру та швидкості обертання диска [19]. Проте, кут нахилу конуса становив лише 30 градусів, що обмежило ефективність механізму. Аналогічний пристрій з більшим кутом нахилу був створений німецькою компанією “Amazonen-Werke” більше десятиліття тому.

У зразках агрегатів із застосуванням конусоподібної форми диску використовували розподільчі механізми з поверхнею, нахиленою під кутом 10 градусів відносно поля. Виробництво конусних дисків є складнішим порівняно з плоскими (рис. 1.5). Були спроби створити плоский диск з локально нахиленою поверхнею під кутом 20 градусів, а також плоский диск з конусною обичайкою. Однак ці конструктиви не показали значного приросту якості внесення у порівнянні з конусними дисками, тому не були впроваджені

у практичне використання.

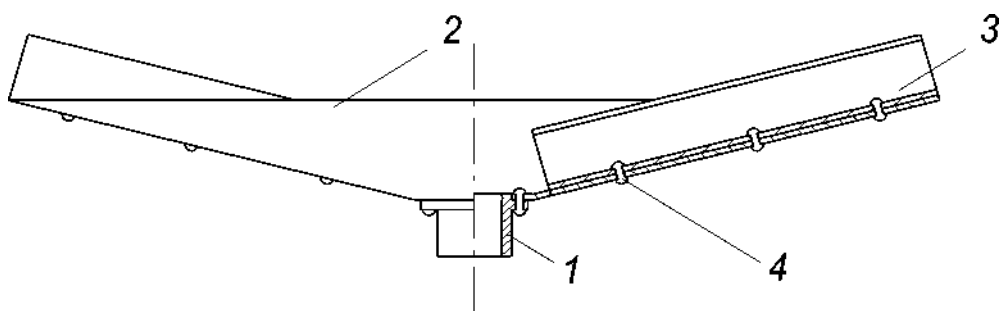


Рисунок 1.4 – Принципова схема розкидача заснованого на відцентровому робочому органі конусної форми: 1 – вал обертання; 2 – конусний робочий орган; 3 – лопать; 4 – механічне з’єднання лопаті з диском

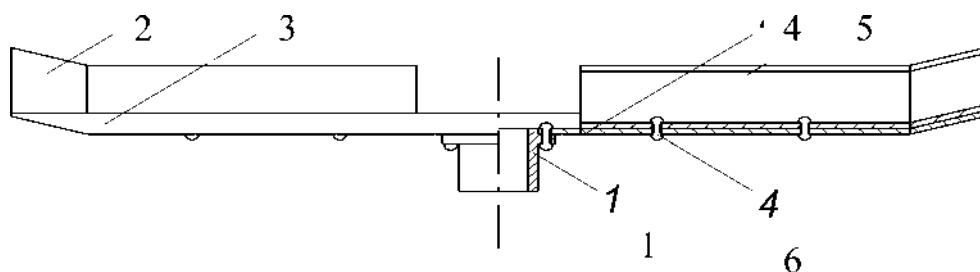


Рисунок 1.5 – Принципова схема розкидача, заснованого на відцентровому робочому органі плоскої форми: 1 – вал обертання; 2 – подовжувач лопаті; 3 – конусоподібна обичайка; 4 – плоский диск; 5 – лопать; 6 – механічне з’єднання лопаті з диском

Цікавою є розробка РО на основі плоских дисків, вал яких встановлюється похило, проте відсутні змістовні дослідження з приводу її ефективності. Ця конструкція може використовуватись лише в машинах з двома РО.

Закріплені на диску лопатки суттєво впливають на ефективність роботи машин та можуть мати прямокутну або жолобчасту форму, причому жолобчасті лопатки зменшують руйнування гранул добрив на 6–10 %. Лопатки можуть бути як прямими, так і вигнутими. Вигнуті лопатки є більш складними з технологічної точки зору, особливо для конусних дисків. Спроби оптимізувати параметри вигнутих лопаток були невдалими через значні

розбіжності у фізико-механічних властивостях різних типів МДХ. У розподільниках з постійним радіусом подачі добрив іноді лише забірні частини лопаток роблять вигнутими, щоб зменшити руйнування гранул [2].

Актуальні зразки провідних виробників використовуються тільки прямолінійні лопатки, кількість яких становить 2–6 штук. Японські розробники створили РО з гумовими лопатками щоб мінімізувати руйнування гранул, тоді як у польських машинах “Titan” металеві лопатки покривали гумовим шаром. Проте інтенсивне зношування гуми обмежувало строк використання таких РО.

Однією з проблем лопаток нашарування МД на їх поверхні. Експериментальне впровадження лопатей із альтернативних еластичних матеріалів або використання пневмоочистки не дали бажаних результатів і лише ускладнили конструкцію. Отже, в сучасних машинах застосовують лопатки з нержавіючої сталі, які не піддаються корозії і мають гладку поверхню, що зменшує налипання добрив.

Для підвищення рівномірності розподілу матеріалу по ґрунту були створені РО з такими характеристиками:

- лопатки сконструйовані таким чином, що їх кінці виступають за робочу поверхню та їх відстань від центру розподільника є різною;
- внутрішні та зовнішні кінці сусідніх лопаток знаходяться на різних відстанях від центру розподільника;
- лопатки з регульованою довжиною та висотою;
- можливість налаштування розміщення лопатей по відношенню до осі розподільника;
- лопатки різної висоти, розташовані під різними кутами до радіуса розподільника;
- зовнішня площа лопатей має ломану проекцію та загострена [4].

Провідними компаніями використовуються розкидачі, де можна налаштувати довжину лопаток і їхнє положення відносно радіуса робочого органу (рис. 1.6). Зовнішні кінці сусідніх лопаток розташовані на різних

відстанях від центру, що дозволяє змінювати напрямок розкидання добрив шляхом регулювання довжини лопаток, їхнього розташування та зони подачі добрив на робочий орган.

У цих агрегатах також використовуються направляючі заслони на лопатях, які можна регулювати по куту нахилу до горизонтальної лінії. Коли добрива сходять з лопатей, вони потрапляють на заслон, що збільшує кут між абсолютною швидкістю часток і площиною. Заслон може бути виконаний як подовження основи лопаті або як трамплін з антифрикційним покриттям.

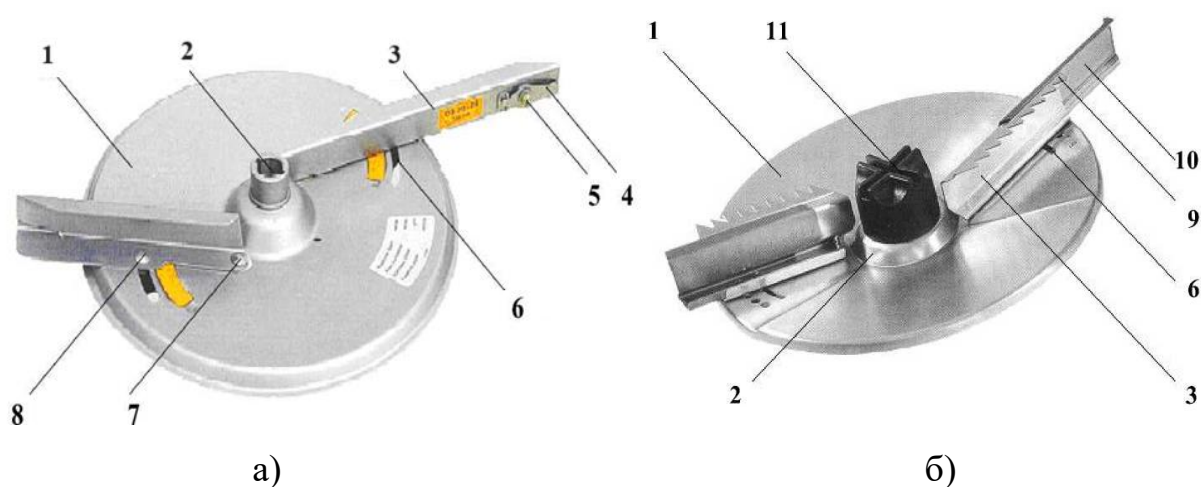


Рисунок 1.6 – Робочі органи агрегатів іноземного виробництва: 1 – дисковий розкидач; 2 – вал обертання; 3 – лопать; 4 – спрямовуючий кожух; 5 – вісь кожуха; 6 – зазор; 7 – вісь повороту лопаті; 8 – фіксатор лопаті; 9 – кромка лопаті; 10 – подовжувач лопаті; 11 – контргайка:

а – Amazonen-Werke;

б – Rauch

Ефективність направляючого козирка є обмеженою, оскільки удар частинок добрив об нього знижує кінетичну енергію ТВМ. Подібна конструкція була створена і в нашій країні, але без можливості налаштування положення направляючого заслону, із застосуванням конусної обичайки. Широкого впровадження таке рішення не знало.

Відцентрові робочі органи мають значний недолік – нерівномірний

розподіл частинок добрив за розмірами під час їх внесення: великі частинки розсіюються на більшу відстань від агрегату, а дрібні – на меншу. Через подрібнення частинок при їх розподілі такі робочі органи мають обмеження на дальність розкидання добрив та швидкісний режим роботи. Тому підвищення швидкості обертання не завжди приносить бажаний результат. Багато розробників намагалися поліпшити ці характеристики, додаючи до потоку добрив додатковий повітряний струмінь, створюючи таким чином пневмовідцентрові системи [9].

До негативних факторів при роботі агрегатів заснованих на відцентровому принципі робота відносять:

- обмеження вантажомісткості через конусоподібну форму бункерів у машинах начіпного типу;
- зниження висоти установки РО над землею у машинах напівпричіпного типу через горизонтальне встановлення кузова, що пошкоджує стебла рослин при підживленні;
- відсутність ефективних конструкцій для комбінованого розсіювання різних типів МД без працевитратних операцій по їх змішуванні до прийнятної рівномірності;
- нецільова втрата МД через прутково-пластинчасті живильники;
- особливості конструкції захисних кожухів, що негативно впливають на надійність агрегату;
- відсутність РО, які поєднують переваги конусного диска і регульовані лопатки відносно радіуса;
- відсутність РО, які поєднують переваги регульованих лопаток та пневматичних пристосувань для одночасного застосування [9].

Розмір робочих органів у закордонних машинах для розподілу добрив зазвичай варіюється від 300 до 650 мм. 25 % машин мають робочі органи діаметром 300–400 мм, 50 % – 400–500 мм, і ще 25 % – 500–650 мм.

Наукові дослідження вказують на те, що збільшення діаметра розкидача з 350 до 700 мм спричиняє зростання нерівномірності внесення ТВМ на

10,3 %. Найефективніший розмір для розкидача знаходиться в діапазоні 400–700 мм. Вивчення розкидачів з діаметрами 200–1000 мм рекомендується обирати діаметр від 500 до 700 мм.

Деякі науковці пропонують інтуїтивний підхід до вибору діаметра робочого органу, базуючись на коловій швидкості периферійних кінців лопаток. Якщо швидкість становить менше 20 м/с, рекомендується діаметр 400–500 мм, а при вищій швидкості – 500–800 мм.

Підсумовуючи наведене вище, можна констатувати, що оптимальний діаметр розкидача знаходиться у діапазоні 500–700 мм.

### **Висновки до розділу 1**

1. Поточні методи автоматизованого внесення агрохімікатів суцільним способом гарантують високий рівень виконання задач за ідеальних умов, що сприяє досягненню максимальної ефективності та однорідності розподілу добрив шляхом розширення ширини покриття;

2. Аналіз пропонованих науковцями конструкцій розкидачів відцентрового типу показує, що головним напрямом еволюції робочих елементів є покращення їхніх робочих характеристик;

3. З метою покращення якості внесення мінеральних добрив був вибраний робочий елемент для відцентрових розкидачів та запропоновано оцінити його продуктивність експериментальним шляхом, розробивши відповідну програму та методологію досліджень.

## 2 КОНСТРУКТИВНО-ГЕОМЕТРИЧНА ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ

### 2.1 Розрахунок параметрів розсіювання добрив

Конструкція розкидача МД може передбачати використання як одного диску так і двох, зверху кожного розміщуються лопаті, що мають радіальне розташування або відхилення від нього в діапазоні 10–15°. Робота такої конструкції проходить в два етапи:

- рух МД вздовж поверхні робочого органу;
- рух МД під дією відцентрової сили обертання робочого органу та сили тяжіння [13].

Перший етап починається після переміщення МД із бункера на робочий орган, після чого починає взаємодіяти із лопаткою та переміщується її поверхнею. Переміщення гранул МД до контакту з робочим органом відбувається при виконанні умови:

$$m\omega^2 r > fmg, \text{ або } \omega > \frac{\overline{fg}}{r}. \quad (2.1)$$

Так як

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (2.2)$$

то для виконання умови необхідно:

$$n > \frac{30\omega}{\pi} = 30 \frac{\overline{fg}}{\pi^2 r}, \quad (2.3)$$

де  $f$  – коефіцієнт, що характеризує тертя матеріалу по поверхні робочого органу;

$r$  – віддалення місця потрапляння МД від осі обертання робочого органу, м.

Гранула добрива, падаючи на диск, рухається по траєкторії, схожій на логарифмічну спіраль.

Другий етап починається після взаємодії матеріалу з лопаттю робочого органу, після чого рухається його поверхнею. Лопатки передають кінетичну

енергію свого обертального руху, що спричиняє переміщення МД та вільний політ.

На гранулу МД при роботі робочого органу відцентрового типу діють сили, які описуються формулами:

$$F_{\text{вц}} = m\omega^2 r_i - \text{відцентрова сила}; \quad (2.4)$$

$$F_k = 2m\omega r_i - \text{сила Коріоліса}; \quad (2.5)$$

$$F_1 = fmg - \text{сила тертя гранул між собою}; \quad (2.6)$$

$$F_2 = f2m\omega r_i - m\omega^2 r_i \sin \psi - \text{сила тертя гранул по лопатці}, \quad (2.7)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість робочого органу;

$r_i$  – віддаль до центральної осі робочого органу;

$r_i = v_r$  – швидкість частинки МД відносно лопаті;

$f$  – величина тертя частинки МД по лопаті;

$\psi$  – кут відхилення лопатки від радіуса диска.

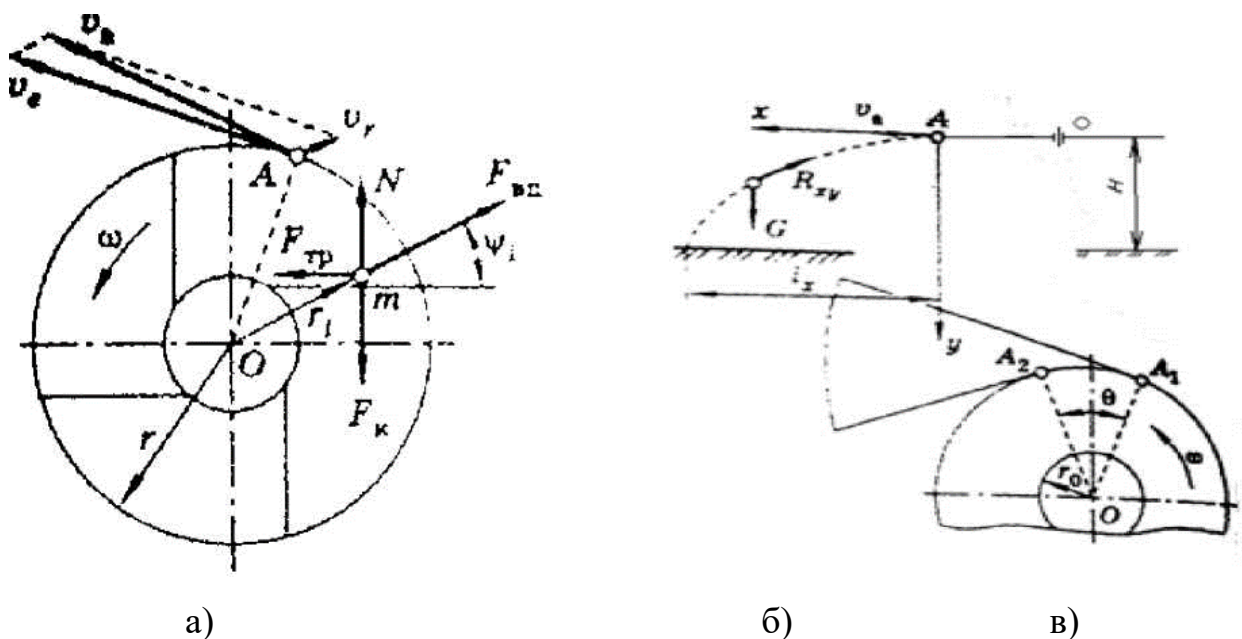


Рисунок 2.1 – Схема дії сил на гранулу добрива при роботі дискового робочого органу:

а – схема сил, що діють на частинку МД;

б – визначення траєкторії вільного польоту гранули;

в – області робочого органу, де проходить розсіювання.

За умови прямолінійності лопаті кут  $\psi$  залишається незмінним.

Переміщення частинки МД поверхнею лопаті відбувається при виконанні умови:

$$\omega r_i \cos \psi_i > fg + f(2\omega r_i - \omega^2 r_i \sin \psi_i). \quad (2.8)$$

Виходячи із залежності (2.8) маємо, що  $r_i = v_r$  безпосередньо в момент сходження частки МД із робочого органу, а її швидкість визначається за формулою:

$$v_a = \overline{(v_e \pm v_r \sin \psi_K)^2 + (v_r \cos \varphi_K)^2}. \quad (2.9)$$

де  $\psi_K$  – вихідне значення кута між лопаттю та диском.

Відповідно до формули (2.9)  $v_r \sin \psi_K$  набуває позитивного значення у випадку, коли змонтовані лопаті диску розміщені кутом по ходу їх обертального руху, від'ємного значення – у протилежному, а отже:

$$v_a = \overline{v_e^2 + v_r^2}. \quad (2.10)$$

Оскільки  $v_e$  значно перевищує  $v_r$ , то  $v_r$  не завдає значного впливу  $v_a$ , тому при виконанні наступних розрахунків її можна не враховувати та прийняти  $v_a \approx v_r$ .

Другий етап описує рух частки МД безпосередньо після сходження з робочого органу висівного апарату під дією відцентрової сили, при цьому на її рух впливає ряд сил:

$$G = mg \text{ – власна вага частки МД}; \quad (2.11)$$

$$R_x = mk_{\Pi} v^2 \text{ – опір повітря}, \quad (2.12)$$

де  $k_{\Pi}$  – коефіцієнт, що враховує аеродинамічний опір частки МД під час вільного польоту.

Через незначні геометричні розміри часток МД та їх швидкість вільного польоту матеріал не зазнає істотного аеродинамічного супротиву, тому в розрахунках цим параметром знехтувано. Формула для визначення відстані польоту частки виглядає наступним чином:

$$x = v_a t_{\Pi}, \quad y = \frac{gt_{\Pi}^2}{2}. \quad (2.13)$$

Вирішення рівняння по відношенню до тривалості польоту дає:

$$t_{\Pi} = \frac{\overline{2y}}{g}. \quad (2.14)$$

Застосуємо отриманий параметр (2.14) для розв'язання рівняння (2.13) для отримання траєкторії частки МД під час вільного польоту:

$$x = v_a \frac{\overline{2y}}{g} \approx \omega r \frac{\overline{2y}}{g}. \quad (2.15)$$

Визначимо теоретичну віддаль викидання гранули МД за допомогою рівняння (2.15) з використанням отриманих даних при яких  $y = H$ :

$$x = l_x = \omega r \frac{\overline{2H}}{g}, \quad (2.16)$$

де  $H$  – дистанція від робочого органу до поверхні розсіювання.

Застосування конічних дисків  $3-5^\circ$  дозволяє дещо збільшити дистанцію розсіювання МД.

Для різних типів часток мінеральних добрив  $r_0$  буде різнитися, оскільки струмінь їх подачі буде певних геометричних розмірів. Оскільки параметр  $r_i$  буде різним, то сходження часток з робочого органу відбуватиметься вздовж дуги  $A_1A_2$ , з кутом  $\theta = 60-50^\circ$ , а їх розподіл після розсіювання буде сукупністю траєкторій.

Робоча ширина дискового висівного апарату, що має два диски, визначається відповідно до виразу:

$$B_p \approx 2\omega r \frac{\overline{2H}}{g} + A, \quad (2.17)$$

де  $A \approx 2,4 - 2,6$ ,

$r$  – зазор між дисками.

За наведеними вище формулами:

$$\omega = 3,14 \cdot \frac{1000}{30} = 0,104 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$x = 0,01 \cdot 2 \cdot 0,7 = 0,014 \text{ м};$$

$$R_x = 0,008 \cdot 0,01^2 = 0,00000008;$$

$$G = 0,0004;$$

$$F_k = 2 \cdot 0,004 \cdot 0,001^2 \cdot 60 = 0,00000024.$$

Регулювання точності висіву добрива відбувається шляхом зміщення точки його подачі над поверхнею робочого органу.

При подачі матеріалу поруч з віссю обертання робочого органу відбувається підвищення концентрації висіву по краям захватки, та по середині – при віддаленні точки подачі.

Підвищення швидкості обертання робочого органу та нахил лопаток на  $10\text{--}12^\circ$  дозволяє досягти сталої кількості висіяного добрива, тоді як збільшення діаметра дисків погіршує рівномірність [20].

Якість висіву МД оцінюється як у напрямку руху машино-тракторного агрегату, так і у поперек захватки. Сходження гранули МД із зовнішньої кромки лопатей зумовлює розсіювання потоками, що концентруються дугами, що в свою чергу вказує на пульсуючий характер їх подачі.

Висівний апарат з двома дисками у складі робочого органу має значну перевагу над однодисковим, оскільки при індивідуальному налаштуванні кожного з них можна досягти оптимальної рівномірності як по повздовжній осі відносно руху машино-тракторного агрегату, так і вздовж поперечної.

## **2.2 Дослідження кута викидання добрив механічними пристроями**

Переміщення окремих гранул МД поверхнею лопаток розкидаючих пристроїв при виконанні технологічного процесу детально вивчено. Надалі для демонстрації методу будемо використовувати найбільш прості формули. Даний алгоритм встановлення закономірностей формування кутів сходження має загальний характер.

Координатні осі розміщені в перпендикулярній до осі обертання диску площині (рис. 2.2). Кут висіву визначається віссю направленою в сторону обертання до вектору швидкості гранули в момент її висіву, а отже:

$$\alpha = \lambda + \theta + wt, \quad (2.18)$$

де  $\alpha$  – координата токи завантаження на робочий орган;

$\theta$  – кут утворений вектором швидкості та радіусом диску;

$wt$  – кут, при якому відбувається висівання.

Вираз (2.18) описує випадок, коли робочий орган обладнано лопатками, що мають відхилення на кут  $\psi$ , який в свою чергу визначається радіусом диска. Параметр  $R_0$  визначається між площиною лопатей та обертовою віссю диску. Оскільки функціональна частина лопаті направлена в сторону осі обертання диску (рис. 2.2), то  $R_0$  приймає позитивне значення.

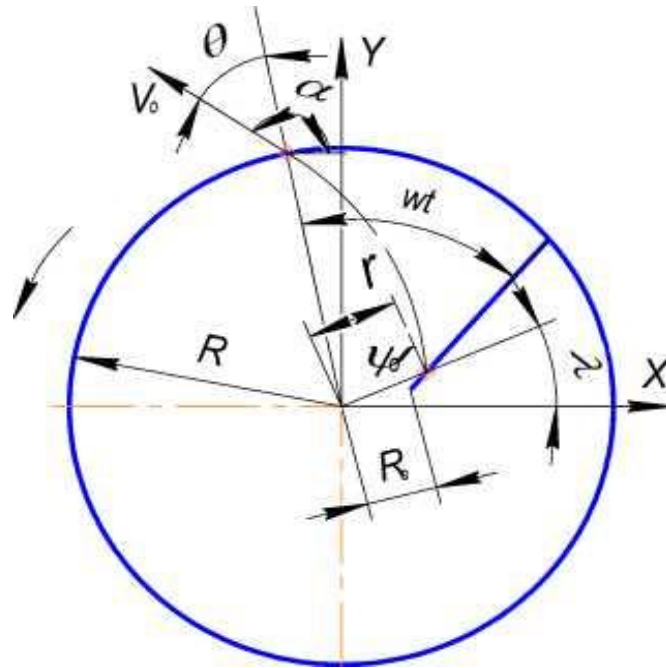


Рисунок 2.2 – Схема визначення кута сходження частинки з диска

Кут сходження гранули визначається відповідно до формули:

$$wt = \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \ln \frac{2\sqrt{R^2 - R_0^2} - R_0 \tan \varphi}{(1 + \sin \varphi) \cdot (\sqrt{r^2 - R_0^2} - R_0 \tan \varphi)}, \quad (2.19)$$

де  $\varphi$  – кут тертя;

$R$  – радіус диску.

Величина  $wt$  залежна від радіусу подачі матеріалу  $r$ .

В розрізі функції випадкових значень  $r$  і  $\lambda$  кут  $\alpha$  матиме визначену величину лише при поєднанні визначених величин параметрів з виразу (2.14) за використання у ньому визначень  $wt$  із (2.19). При  $R_0 = 0$  отримаємо:

$$\lambda = \alpha - \theta - [\cos \varphi / 1 - \sin \varphi] \ln \frac{2R}{[(1 + \sin \varphi)r]} \quad (2.20)$$

або:

$$r(\alpha) = [2R/(1 + 2 \sin \varphi)] \exp[(1 - \sin \varphi)(\alpha - \theta - \lambda) / \cos \varphi]. \quad (2.21)$$

Отримана формула (2.21) описує логарифмічну спіраль, де  $a$  і  $k$  – її параметри, та має вигляд:  $\rho = a \exp(k\lambda)$ . Тоді:

$$\alpha = [2R(1 + \sin \varphi)] \exp \left[ \frac{(1 - \sin \varphi)(\alpha - \theta)}{\cos \varphi} \right]; \quad (2.22)$$

$$k = \cot \theta = \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi}. \quad (2.23)$$

Надсилання гранул матеріалу вздовж спіралі задає кут  $\alpha$ , а її геометрія (кут  $\theta$ ) зумовлена виключно кутом тертя. Розташування спіралі відносно площини диску залежить від  $\varphi$  та  $\alpha$ . Параметр  $\alpha$  задає конгруентну спіраль, що обернена довкола осі обертання диску.

Набір випадкових значень  $r, \lambda$  чи функція щільності  $f(r, \lambda)$  найбільш об'єктивно описують зону подачі матеріалу для розсіювання.

При визначеному параметрі  $a_1$  утворена спіраль розділяє зону подачі висівного матеріалу на площі  $S_1$  і  $S_2$  (рис. 2.3). Комбінація  $r, \lambda$ , що відноситься до  $S_1$ , забезпечує виконання умови  $a < a_1$  при  $(r, \lambda) \in S_2 - a > a_1$ .

Інтегрування густини набору параметрів  $r, \lambda$  дає функцію розподілення випадкових значень параметру  $a$  по ділянці  $S_1$ , а саме:

$$G(a) = P(r, \lambda) \in S_1 = P(a < a_1) = \iint_{S_1} f(r, \lambda) dr d\lambda. \quad (2.24)$$

Шляхом диференціювання  $G(a)$  по значенню  $a$  знаходимо функцію  $f(a)$ , яка описує щільність розподілення кута висіву.

Розглянемо використання описаного вище способу для найпоширеніших ситуацій. У машино-тракторних агрегатах для розсіювання добрива кузовного типу подача висівного матеріалу на робочий орган відбувається через прямі лопаті, паралельні площині диску. Завдяки значній висоті розташування транспортерного пристрою над робочим органом

(близько 50 см) можна знехтувати товщиною шару матеріалу порівняно з його шириною, оскільки гранули досягають значної швидкості при падінні на диск, що обертається. У наведеному вище випадку щільність розподілення висівного матеріалу лотком  $f(X)$  є повною характеристикою ділянки подачі.

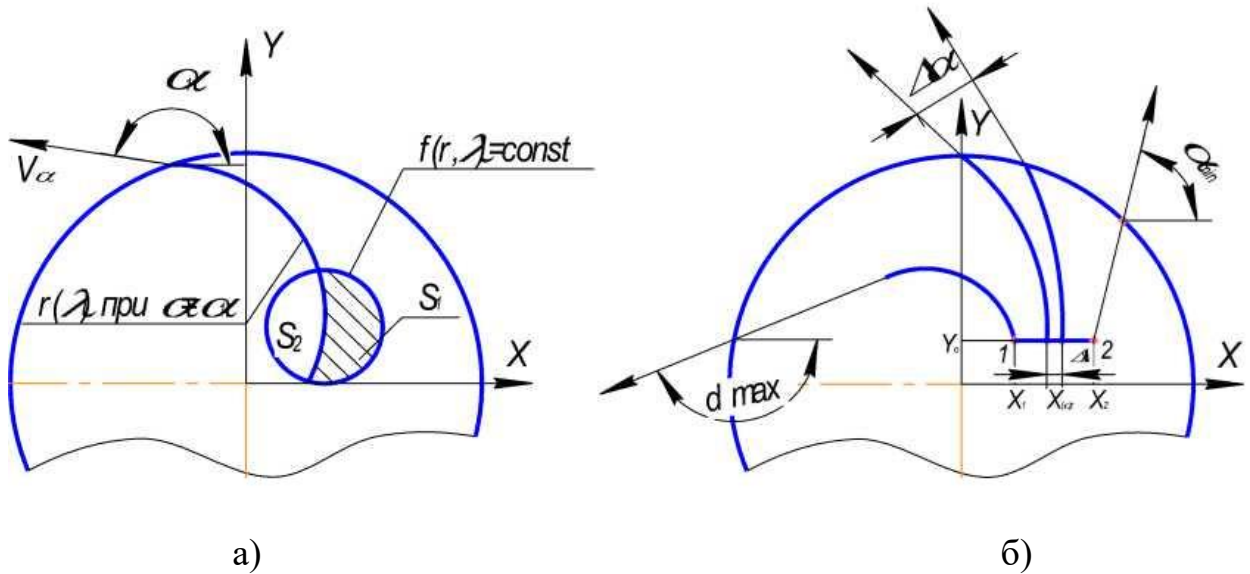


Рисунок 2.3 – Схема встановлення кута висіву:

а – звичайний метод подачі матеріалу;

б – шляхом подачі із лотку

Розміщення лотку подачі вздовж віслю  $X$  описує координата  $Y_0$ , тобто:

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y_0}{Y}\right), \quad (2.25)$$

$$r = \sqrt{Y_0^2 + X_2^2}.$$

Застосувавши отримані вище параметри із формул (2.19, 2.14, 2.15), знаходимо залежність між кутом розсіювання та  $X$ , що при наявній монотонності функції на певній ділянці утворюється умова  $X_1 \leq X \leq X_2$ . Ця умова вказує на те що об'єм поданого висівного матеріалу на проміжку  $\Delta X$  є рівним тому, що розсіяний в межах  $\Delta a$ . А отже:

$$Qf(X)\Delta X = Qf(a)\Delta a, \quad (2.26)$$

де  $Q$  – кількість висівного матеріалу, що подається на диск, кг/с.

При умові, що  $\Delta X$  та  $\Delta a \rightarrow 0$  будемо мати:

$$f(X) = f(a(X))/|da/dX| \quad (2.27)$$

або

$$f(a) = \frac{f(a(X))}{\left|\frac{dX}{da}\right|}. \quad (2.28)$$

Застосування виразу (2.27) дозволяє встановити густину розподілення координат  $X$  при відомій густині кута розкидання. Протилежну задачу дозволяє виконувати вираз (2.28).

Отже для лопатей з радіальним розташуванням будемо мати:

$$a(X) = \arctan\left(\frac{Y_0}{Y}\right) + \theta + \cos \varphi / (1 - \sin \varphi) \ln 2R / (1 + \sin \varphi) \sqrt{Y_0^2 + X_2^2}, \quad (2.29)$$

$$\frac{da}{dx} = -Y_0(1 - \sin \varphi) + x \cos \frac{\varphi}{(1 - \sin \varphi)(X^2 + Y_0^2)}. \quad (2.30)$$

З метою отримання розподілення кута скидання застосуємо наступні параметри установки:  $m_\alpha = 3$  рад,  $\sigma_\alpha = 0,5$  рад та  $R = 0,3$  м. Бажана величина  $f(a)$  наведена на рис. 2.4 в другому прямокутнику.

Перший прямокутник відображає графік взаємозалежності  $a(X)$  та  $\frac{da}{dX} = a(X)$ , при цьому підбір  $Y_0$  виконувався таким чином, щоб досягалася монотонність функції  $a(X)$  в діапазоні  $a_{min} \div a_{max}$ , який встановлюється функцією  $f(a)$ .  $X_{min}$  та  $X_{max}$  відповідно дозволять найменше і найбільше значення кута розкидання. Підбір найкращого варіанту спрощується завдяки сталій ширині лотку при будь-якому значенні параметру  $Y_0$ . Зображені в четвертому прямокутнику (рис. 2.4) параметри  $f(X)$  визначаються у відповідності до виразу (2.2).

Аналітичне розв'язання потребує вираження  $f(a)$  відносно  $f(x)$  через  $X(a)$  у явному вигляді, що не складно при  $Y_0 = 0$ . Застосовуємо формулу (2.17) та будемо мати:

$$\begin{aligned} dr/da &= (1 - \sin \varphi)r(a)/\cos \varphi, \\ f(a) &= f(r(f))r(a))(1 - \sin \varphi)/\cos \varphi. \end{aligned} \quad (2.31)$$

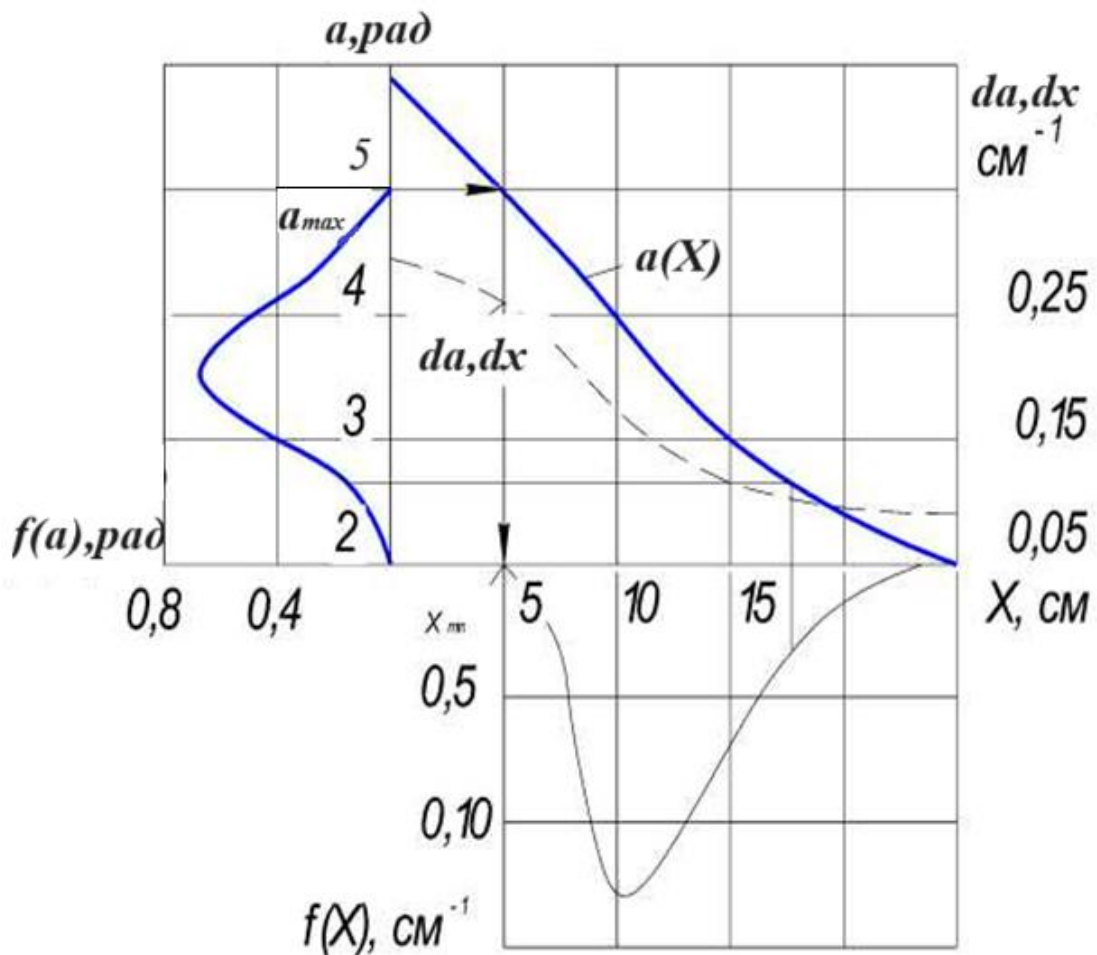


Рисунок 2.4 – Графічне зображення до визначення ймовірності  $f(X)$

Застосувавши значення  $Y_0 = 0$  можна використати трансцендентний алгоритм розв’язання по відношенню до осі абсцис виразу (2.22), або ж графічний метод на кшталт зображеного на (рис. 2.4) при зворотному його застосуванні з відомим  $f(x)$  та  $f(a)$ , що потрібно знайти. З метою підвищення точності необхідно брати до уваги випадковий характер процесу розсіювання матеріалу, оскільки навіть при відомих координатах надсилання матеріалу на робочий орган не спостерігаються абсолютно однакові кути висіву.

При обертовому русі робочого відбувається складна взаємодія матеріалу як між суміжними гранулами, так і безпосередньо з його рухомими частинами, тому треба врахувати збільшення зони надсилання відповідно до формули, яка враховує описані процеси:

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_c, \quad (2.32)$$

де  $\alpha_p, \alpha_c$  – аналітичне значення кута висівання та випадкова його зміна.

Дослідні показники, отримані при вивченні направленої подачі висівного матеріалу, цілком можливо застосовувати для встановлення абсолютних параметрів  $\alpha_c$ , прогнозоване значення якого має дорівнювати нулю, при цьому параметр  $\sigma_c$  визначимо за умови:  $\Delta X \rightarrow 0$ , а також  $Q \rightarrow 0$  та отримаємо:

$$\sigma_c = 0,834 - 6,056r + 15,1465r^2. \quad (2.33)$$

Застосувавши теорему комбінування випадкових величин отримаємо:

$$f(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(a_{pi})f(a - a_{pi})\Delta a_{pi} \quad (2.34)$$

Заміщенням інтегралу послідовністю виникнення будемо мати:

$$f(a) = \sum_{i=1}^n f(a_{pi}) f(a - a_{pi})\Delta a_{pi}, \quad (2.35)$$

де  $i$  – порядок виникнення;

$n$  – послідовність поділу проміжків розділення інтервалу  $a_{min} - a_{max}$  чи  $X_{min} - X_{max}$ ;

$\Delta a_{pi}$  – діапазон по  $a$ .

Враховуючи (2.21) отримуємо:

$$f(a_{pi})\Delta a_{pi} = f(X_i)\Delta X_i = C_i. \quad (2.36)$$

При наступній диференціації значення  $a_c$  вираз (2.35) приводиться до наступного вигляду:

$$f(a) = \sum_{i=1}^n C_i (\sqrt{2\pi\sigma_c})^{-1} \exp + (a - a_{pi})^2 / 2\sigma_c^2 \quad (2.37)$$

Натурні випробування на лабораторному устаткуванні показали, що при діаметрі диску в 30 см, на якому змонтовано лопаті з жолобами виконується залежність (2.35).

При захваті матеріалу після сходження з робочого органу в лабораторних умовах отримано дані щільності розподілення кута розкидання за наведеною вище методикою. Щільність розподілу МД по лотку визначалася з використанням уловлювача у форму циліндру що мав комірку  $\Delta X = 9$  мм.

Результати натурних випробувань у графічному вигляді наведено на рис. 2.5.

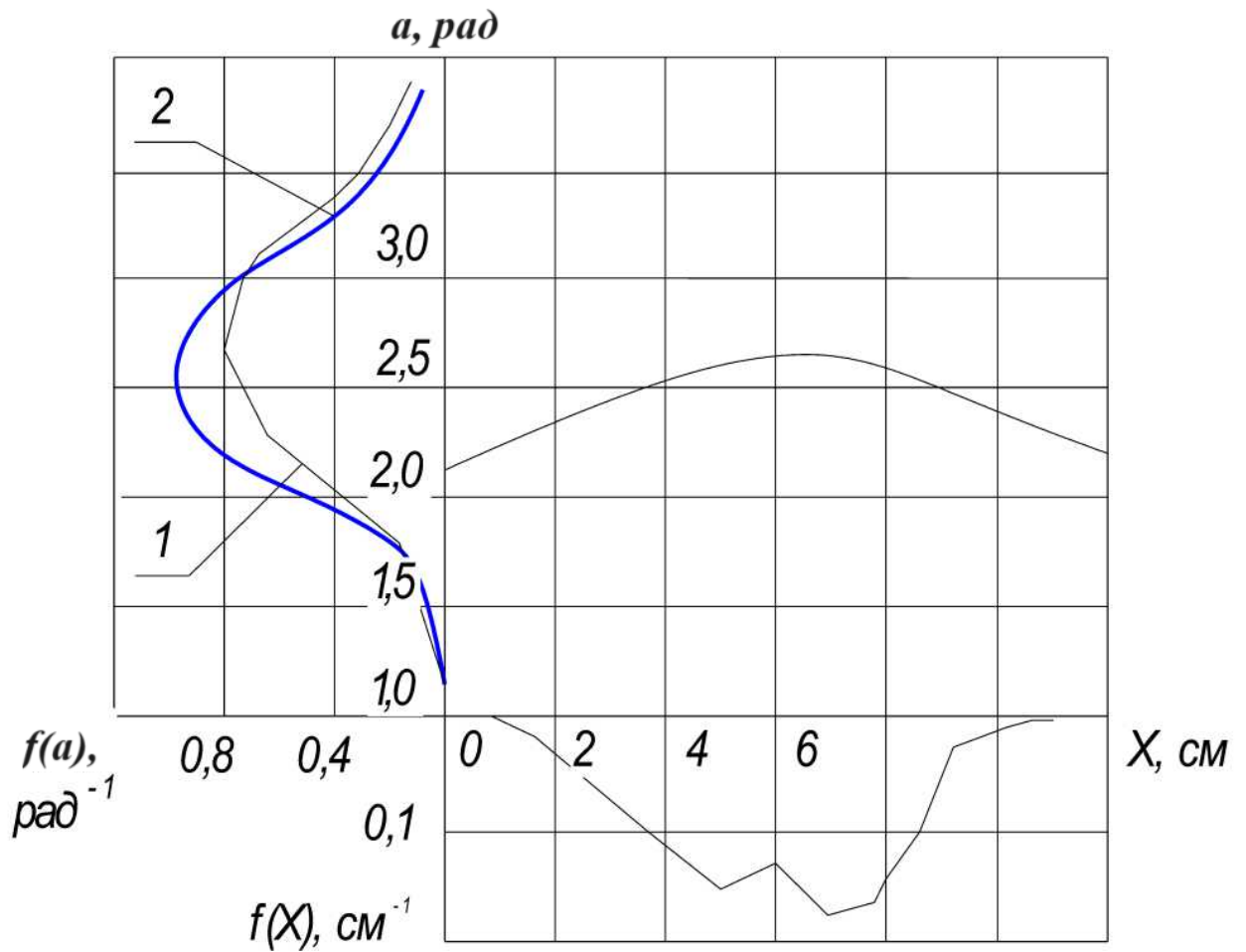


Рисунок 2.5 – Результати аналітичних та лабораторних досліджень кута розкидання у графічному вигляді за прийнятих параметрів:  $R = 0,3$  м,  $R_0 = 0$ ,  $Y_0 = -0,0693$  м,  $\varphi = 0,59$  рад

Аналітичні показники, отримані за формулою (2.37), наведено нижче:

$i$	$a_i$	$C_i$	$\sigma_i$
1	2,3158	0,068	0,48
2	2,6098	0,351	0,47
3	2,6899	0,445	0,44
4	2,4819	0,138	0,38

## Висновки до розділу 2

За результатами лабораторних випробувань встановлено, що середнє значення кута висівання більше на 6,7 % за аналітичне очікування, а його середня квадратична похибка близько 10 %, що є цілком прийнятними показниками.

Виходячи із отриманих результатів можна очікувати розширення зони висіву апарату, робочий орган якого оснащений одним диском, за кута висів  $\pi/2$  а також  $\sigma_c = 0,8$  рад. Таких показників можливо досягти при застосуванні тукопроводів з перемінним значенням  $Y_0$ .

Для досягнення якнайширшого кута висіву при найменшій ширині тукопроводу доцільно його крайок спрямовувати з ухилом близько до нормалі відносно спіралі. Для максимально ефективного дозування висіву МД доцільно переміщення зони його подачі вздовж радіуса викривлення спіралі.

В ході теоретичних досліджень було встановлено, що:

1. Ефективна робота робочого органу можлива при частоті обертання не менше 79,9 об/хв;
2. Максимальна відстань польоту частинки добрив для розсіювача складає 8,4 м;
3. Ширина розкидування висівного апарату з двома дисками дорівнює 17,6 метрів.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Програма та методика експериментальних досліджень

Дослідження спрямовані на практичне підтвердження точності розподілення МД робочим органом відцентрового типу апарату GAR MET-500 з використанням його математичної моделі.

1. Завдання до виконання:

– побудова висівного апарату для внесення мінеральних добрив із застосування отриманих результатів розрахунків;

– вдосконалення методів оцінки ефективності внесення мінеральних добрив;

– натурні випробування експериментального висівного апарату.

2. Об'єкт дослідження: агрегат, що складається з трактора МТЗ-80.1 та машини для висіву МД «GAR MET-500» із вдосконаленням на основі теоретичних розрахунків РО.

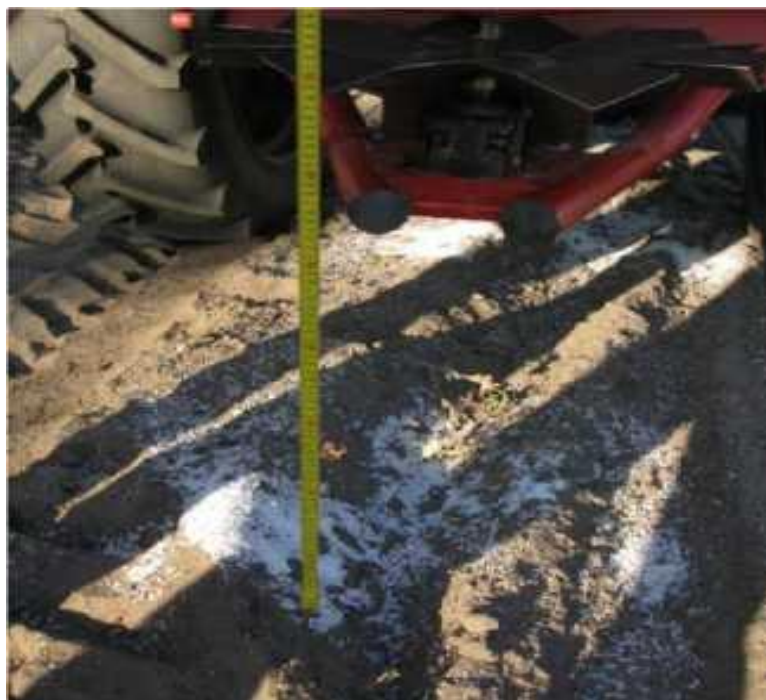


Рисунок 3.1 – Машино-тракторний агрегат з вдосконаленим робочим органом

Для виконання експериментів в умовах реальної експлуатації та перевірки теоретичних моделей, а також для налаштування основних характеристик відцентрового компонента з вісьмома пелюстками, було розроблено прототип для тестувань (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Експериментальний робочий орган розкидача

План дослідження включає вивчення та тестування конструктивних характеристик диска під час реального використання. Для оцінки впливу параметрів відцентрового елемента на однорідність розподілу добрив по робочій ширині агрегату були створені кілька зразків відцентрових дисків із лопатками, параметри яких наведені в таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1 – Параметри, прийняті при виготовленні експериментальних зразків висівного апарату для внесення добрив**

Показник	Значення	
Кут нахилу лопатей	12°, 13°, 14°, 15°	10°, 11°, 12°, 13°
Кут між центральними осями лопатей	160°, 150°, 154°, 142°	136°, 146°, 156°, 162°

Відцентровий розкидач «GAR MET-500» монтується на трактор МТЗ-80.1. Робочий орган розташовується на висоті 0,7 метра над поверхнею поля. Налаштовується норма внесення добрив. Щоб встановити найкращі налаштування роботи відцентрового розкидача, проводяться польові випробування з використанням суперфосфату за вологості 3 % та сечовини з вологістю не більше 2 % [7]. Якість роботи оцінюється за двома критеріями:

- рівномірність внесення добрив по ширині захвату (допускається нерівномірність не більше 25 %);
- робоча ширина захвату.

Під час експерименту дозуюча заслінка налаштовується на потрібну норму внесення добрив (суперфосфат – 350 кг/га, сечовина – 200 кг/га). Для визначення робочої ширини захвату та оцінки рівномірності розподілу добрив, на ділянці поля розміщуються пастки розміром 0,5×0,5×0,05 метра у три ряди поперек ширини розкидання, з інтервалом між рядами 5 метрів (рис. 3.3). Пастки не встановлюються на осях рушія машино-тракторного агрегату та розкидача. Вага добрив у цих зонах визначається за середнім показником з двох пасток, що знаходяться поруч із колією.

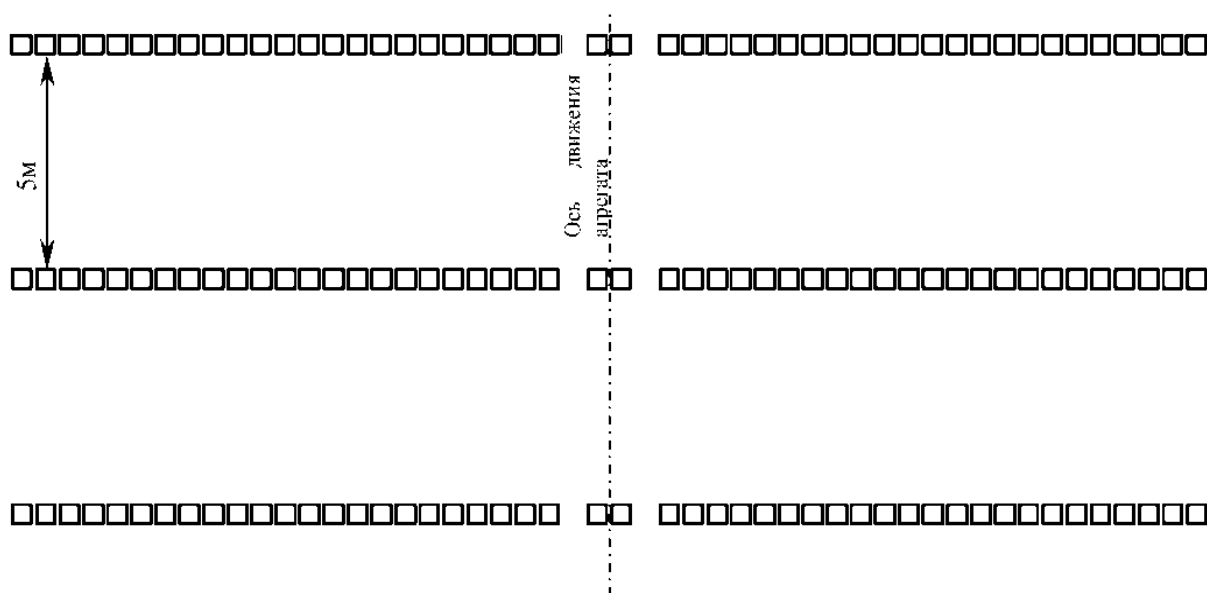


Рисунок 3.3 – Схема натурних випробувань

Задля отримання точніших результатів експериментів і зменшення

похибки перебачено по три проходки поспіль машино-тракторним агрегатом із експериментальним знаряддям під час яких відбувається захват висівного матеріалу спеціальними пристроями (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Пристрій для захоплення висівного матеріалу

Отриманий матеріал проходить зважування за допомогою ваг ВЛТ-200, що мають точність 0,1 г. Отримані дані записуються у відповідні журнали. Нерівномірність розсіювання добрив проводиться за середньоквадратичним відхиленням від середнього значення. Процес є повторюваним кожних 50 см з урахуванням наявності перекриттів, поки не визначиться робоча ширина, при якій досягається допустима нерівномірність ( $\pm 25\%$ ) або мінімальна можливість нерівномірного розподілу.

Відповідно до запропонованої методики були проведені експериментальні дослідження обраного розсіювача добрив GAR MET-500 з розробленим робочим органом центробіжного типу.

### **3.2 Проведення експериментальних стендових випробувань**

Основна маса МДХ, які використовуються Україною та передовими країнами світу, вносяться при основному удобренні ґрунтового середовища

суцільним методом. Протягом останніх 15 років в країнах СНД спостерігається зміна ситуації, на що впливає догороцінність добрив та техніки для їх внесення у ґрунтове середовище. Важливим чинником є також висока вартість паливно-мастильного матеріалу, потреба в якому при виконання такого виду робіт є досить ємнісною.

Вчені відзначають, що внесок факторів у врожайність культур при їх спільному застосуванні розподіляється наступним чином: удобрення ґрунтового середовища – 50 %, дотримання вимог до обробітку ґрунтового середовища – 20 %, коректний сортамент – 10 %, захист рослин – 20 %.

В сортаменті вітчизняних виробників техніки для розсіювання добрив є такі машини: МВД-900 (0,9 м<sup>3</sup>), МВД-0,5 (0,5 м<sup>3</sup>), МВД-5СПРО і МД-4. Їх технічні характеристики є нижчими у порівнянні з провідними аналогами закордонних виробників. Машинами, які пропонуються Amazone, Accord, Sulky, Diadem тощо, забезпечується висока продуктивність із дотриманням необхідної рівномірності розподілення добрив, проте вони є досить дорогими [14]. Розглянуті конструктивні особливості робочих органів центробіжних розсіювачів добрив не можуть забезпечити аналогічні якісні показники.

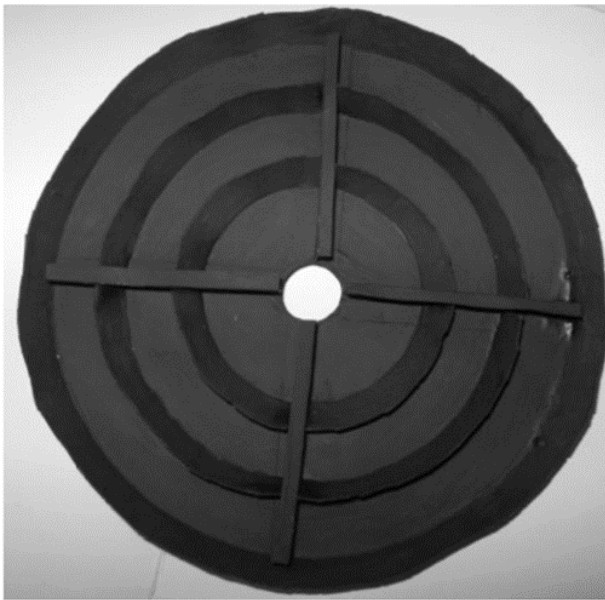
В магістерській роботі запропоновано конструкцію, на основі якої було виготовлено 4 експериментальні установки РО роторного типу (діаметру 120 мм), а також в якості еталону – серійний плоский дисковий зразок, оснащений 4 прямокутними, радіально розташованими лопатями висотою 24 мм (рис. 3.5). Порівняно з еталонним зразком пропоновані дискові робочі органи є зменшеними в 5 разів.

В якості дослідного робочого матеріалу було обрано пісок та гранульовані мінеральні добрива з розміром гранул 1 мм. Було досліджено різні конструкції РО (рис. 3.6).

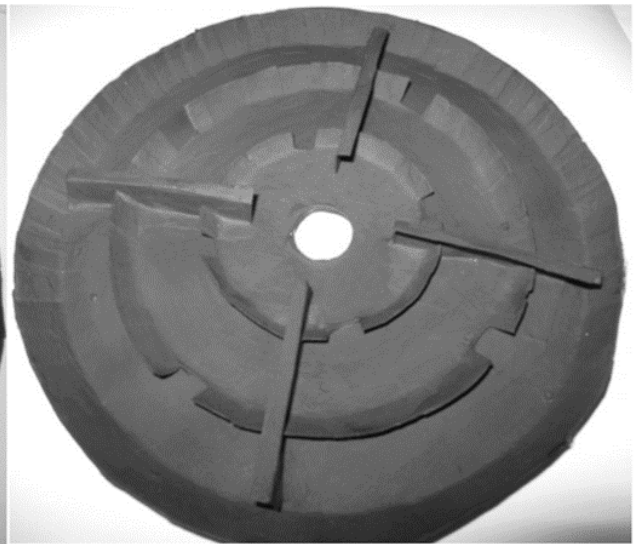
Дисковий орган типу А (рис. 3.6) оснащений чотирма рівномірно розподіленими по його поверхні прямолінійними лопатями. В секторах, утворених цими лопатями, розміщено похилі направляючі (15°, 14° і 12° відповідно з відліком від центральної) висотою 7,2, 6 і 4,8 мм відповідно.



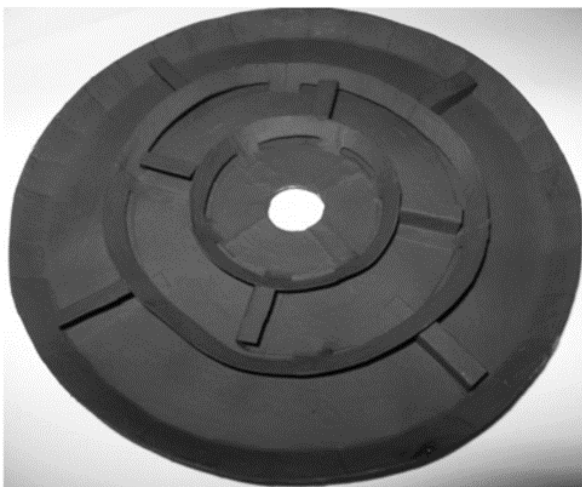
Рисунок 3.5 – Спроектвана експериментальна установка



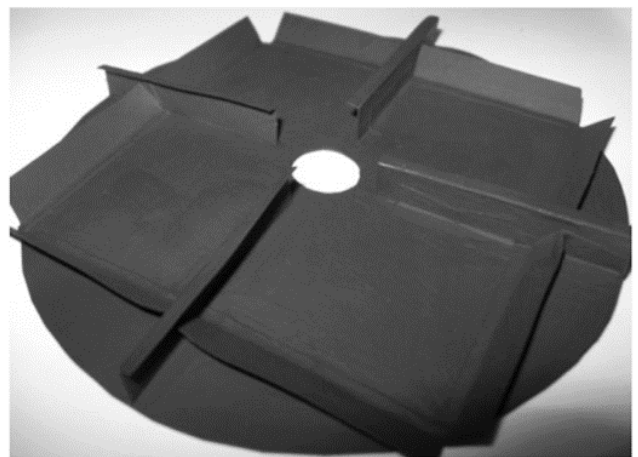
**Тип А**



**Тип Б**



**Тип В**



**Тип Г**

Рисунок 3.6 – Спроектвані РО розсіювачів добрив

РО типу Б (рис. 3.6) має по чотири прорізи в направляючих з їх взаємним перекриттям. Інші конструктивні параметри є аналогічними диску типу А. Цим забезпечується збільшення дальності розсіювання матеріалу та покращується рівномірність його розподілу.

РО типу В (рис. 3.6), лопаті якого не є суцільними, конструкцію направляючих має аналогічну до двох попередніх випадків, проте похилі направляючі піднято над диском та закріплено в двох місцях кожену.

Диск типу Г (рис. 3.6) має лопаті, аналогічні до типу Б. Направляючі, висотою 4,8 мм, нахилені під однаковим кутом  $12^\circ$  та розміщені перпендикулярно до лопатей зі своїми початковими і кінцевими точками на крайці диска.

Вплив конструктивних особливостей дискових РО на показник рівномірності розсіювання матеріалу та на продуктивність (ширину захвату) досліджувався за розробленою методикою з десятикратною повторюваністю з використанням коефіцієнтів подібності.

**Таблиця 3.2 – Результати експериментальних досліджень п'яти конструкцій робочих органів відцентрового типу**

Показники	Зразки робочих органів				
	Тип А	Тип Б	Тип В	Тип Г	Еталон
Пісок					
Коефіцієнт варіації, %	43	43	35	26	95
Похибка досліду, %	3,5	4,3	4,3	4,0	4,0
Робоча ширина захвату, м	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85
Карбомід					
Коефіцієнт варіації, %	35	25	23	10	89
Похибка досліду, %	4,0	4,5	4,0	3,9	4,0
Робоча ширина захвату, м	1,3	2,3	0,57	2,5	2,3

Розгляд випробувань, представлених у вигляді таблиць, дозволяє

висунути наступні тези щодо моделі робочого елемента центробіжного агрегату для розподілу МД. Робочий компонент (пісок) демонструє нерівномірність розміщення на поверхні апарату на рівні 26 % при застосуванні конструкції, оснащеної направляючими, які починаються і закінчуються у точках зовнішнього радіуса лопаток (тип Г, рис. 3.6). У інших моделях нерівномірність збільшується, особливо у серійному варіанті – до 95 %. З використанням відповідних центробіжних дисків робоча ширина зони охоплення становить 0,9 м та 0,85 м.

При застосуванні карбаміду коефіцієнт варіації нерівномірного розміщення змінюється від 10 % до 89 % або ж нерівномірність розміщення матеріалу на поверхні апарату типу Г порівняно з еталонним зразком є меншою на 88 %. При порівнянні робочої ширини видно, що найбільшої величини вона досягає у цієї ж конструкції. У дослідній моделі типу В ширина захоплення зменшується порівняно з базовою на 75 %. Це підтверджує, що робочий елемент типу Г показує найкращі результати у порівнянні з досліджуваними.

Отже, оптимальним рішенням для створення нового удосконаленого робочого елемента є модель типу Г.

### **3.3 Проведення експериментальних польових випробувань**

На рисунку 3.7 представлено робочий орган для розкидання МД лопатками, орієнтованими вгору. У таблиці 1 викладено характеристики центробіжного диска з лопатками у вигляді пелюсток: пологого та гострого. На рисунку 3.8 представлений типовий робочий елемент для розкидання мінеральних добрив центробіжного типу.

Дослідження залежності однорідності та ширини розсіювання матеріалу від конструктивних особливостей дискового РО проводилися за допомогою експериментального центробіжного робочого органу: розкидача польського виробництва GAR MET-500, який кріпився до трактора МТЗ-80.1.

Дослідження проводились з шестикратною повторюваністю. Рух агрегату здійснювався на шостій передачі зі швидкістю 10,6 км/год. Відстань від робочого органу до поверхні поля становила 70 см. Через кожні 50 см перпендикулярно до руху агрегату на поверхні поля встановлювалися вловлювачі розмірами 50x50x5 см, заглиблені в ґрунт так, щоб їхні бічні частини зрівнювалися з поверхнею поля з урахуванням простору для проходження коліс трактора.



Рисунок 3.7 – Конструкція робочого органу з восьма лопатями

Після заповнення бункера дослідної установки мінеральними добривами, налаштування заданої норми висіву, висоти розташування РО над полем, поступальної швидкості і кутової швидкості робочого елемента, агрегат проходив перпендикулярно ряду вловлювачів. Розсіяні МД попадали в них, збирались після кожного проходу, зважувались і дані фіксувались для подальшої обробки методом варіаційної статистики. Ці ж дані дають змогу

визначити і ширину охоплення агрегатом поверхні поля: дистанція між вловлювачами з двох боків від агрегату визначає ширину охоплення агрегату. При цьому вага матеріалу становить половину зважених часток з урахуванням виникнення перекриття.



Рисунок 3.8 – Конструкція еталонного горизонтального дискового РО

Таблиця 3.3 – Аналіз моделей досліджуваних робочих органів

Показники	Зразки робочих органів		
	Восьмипелюстковий (пологий)	Восьмипелюстковий (гострий)	Еталонний
Суперфосфат порошкоподібний			
Коефіцієнт варіації, %	27	28,8	60
Похибка дослід, %	3,5	4,3	4,3
Робоча ширина захвату, м	2,8	2,8	3,0
Карбомід			
Коефіцієнт варіації, %	17	17,8	55
Похибка дослід, %	4,0	4,5	4,0
Робоча ширина захвату, м	5	5	5

Дослідницькі дані, представлені в таблиці 3.3, свідчать про те, що рівномірність розсіювання добрив є найкращою у випадку використання восьмипелюсткових (пологих та гострих) РО. У порівнянні зі зразком-еталоном спостерігається зменшення коефіцієнта варіації на 55 %.

Відповідності ширини захвату в усіх випадках не було досягнуто через недостатню якість суперфосфату. Згідно з дослідженнями, проведеними в Німеччині, всі типи розкидачів забезпечують максимально рівномірне розсіювання матеріалу по поверхні поля, якщо гранули цього матеріалу мають розмір в діапазоні 2,8–3,2 мм.

Застосування карбиду у якості піддослідного матеріалу було найрезультативнішим: у випадку використання першої конструкції (восьмипелюсткового пологого РО) спостерігається зменшення коефіцієнта варіації по ширині розсіювання до 17 %, що в порівнянні зі зразком-еталоном є більшим на 69,1 %. Для другого зразка цей показник становить 67,6 %.

### **Висновки до розділу 3**

1. Експериментальний обертовий робочий елемент типу Г забезпечив коефіцієнт варіації 10 % під час випробувань на експериментальному обладнанні. Ширина розсіювання складає 2,5 м. При використанні піску у якості досліджуваного матеріалу відповідні показники склали 26 % та 0,9 м. Порівнюючи дані з моделями типу А–В та еталонним серійним зразком, бачимо, що вони значно (на 40 %, 25 % та 75 % відповідно) відстають у рівномірності розсіювання, ширина ж захвату практично лишається сталою.

2. Стосовно використання карбаміду, то на 35 % у середньому, незалежно від типу конструкції, тип Г дискового органу забезпечує збільшення ширини розсіювання. У свою чергу нерівномірність розсіювання є меншою на 71 % у порівнянні з типом А, на 60 % – з типом Б, на 57 % – з типом В та на 95 % у порівнянні з еталонною конструкцією.

3. Рекомендується виробництво та введення в експлуатацію дискового

РО типу Г.

4. Було запропоновано конструкцію пологого РО з 8 пелюстками, яка забезпечує збільшення рівномірності розсіювання матеріалу по поверхні поля втричі у порівнянні зі зразком-еталоном.

5. Перспективою подальших досліджень може бути аналітичне обґрунтування конструкції робочого органу та кута нахилу його лопатей.

## 4 Охорона праці

### 4.1 Охорона праці на сільськогосподарських підприємствах

Керування охороною праці є складовою частиною загальної адміністративної системи. Воно здійснюється дирекцією сільськогосподарського підприємства, яке в питаннях охорони праці в порядку пріоритетності базується на законодавчих актах України, наказах та розпорядженнях вищого керівництва, на типових правилах і нормах пожежної безпеки тощо.

Відповідальний за безпеку праці на підприємстві спеціаліст зобов'язаний контролювати виконання рекомендацій по покращенню безпеки праці персоналу шляхом координації діяльності різних підрозділів підприємства.

Робітник перед прийняттям на роботу під підпис має бути проінформований дирекцією про небезпечні та шкідливі виробничі фактори своєї роботи, їх можливі наслідки, а також про свої права на відповідні пільгові та компенсаційні виплати у відповідності до діючого на підприємстві колективного договору, в тому числі за важкість чи шкідливість своєї роботи. В останньому випадку працівник має право за безоплатне лікувально-профілактичне харчування. Персонал підприємства без виключення страхується дирекцією на предмет виникнення нещасних випадків та професійної захворюваності.

Персонал підприємства при виконанні своїх обов'язків має право на:

- безпеку робочого місця;
- безпечний для нього стан обладнання;
- наявність та належний стан захисного інвентарю як для індивідуальних, так і для колективних потреб;
- відповідність вимогам з безпеки праці санітарних і побутових умов.

У разі виникнення небезпечної для працівника ситуації він має право

відмовитися від виконання своїх обов'язків.

Інструктаж буває первинним, повторним, позаплановим та цільовим. Всі інструктажі проводяться відповідальним спеціалістом, який має підтвердження своїх знань за результатами відповідної перевірки. Зазвичай цей обов'язок покладається на безпосереднього керівника робіт. Після кожного інструктажу отримані працівником знання мають бути перевірені усно або письмово. Журнал реєстрації певного виду інструктажу має містити запис про його проведення та зберігатись у відповідальній особі.

Первинний інструктаж має бути проведено в приміщенні, обладнаному як кабінет з охорони праці. Він може проводитись в індивідуальному або груповому режимі. Первинний інструктаж має бути проведено зі всіма без виключення працівниками, що приступають до роботи (постійної або тимчасової), переводяться на іншу роботу в межах одного підприємства, а також з усіма практикантами.

Періодичність проведення повторного інструктажу визначається нормативною документацією та залежить від небезпечності роботи: якщо вона є підвищеною, то повторний інструктаж проводиться один раз на квартал, в усіх інших випадках – раз на півроку.

Проведення позапланового інструктажу (індивідуального чи групового) передбачається у випадку порушення працівником чи їх групою правил з охорони праці з можливим подальшим настанням травматичних або аварійних ситуацій або ж при внесенні змін до технологічного процесу.

На всіх робочих місцях мають бути розміщені плакати або попереджувальні таблички у разі наявності небезпеки. При роботі з хімікатами персонал має бути обізнаний з інструкціями стосовно безпечного їх використання, а також з порядком дій при виникненні симптомів отруєння організму ними.

## **4.2 Виробничий травматизм на сільськогосподарських підприємствах**

Прогнозування явища виробничого травматизму є досить складним для сучасної науки, оскільки на кінцевий результат впливає ряд різноманітних чинників. З розвитком науково-технічного прогресу підвищується потенційна вірогідність настання нещасних випадків, травмування чи захворюваності персоналу. Пов'язати це можна зі зростанням складності та потужності техніки, швидкостей робочих органів машин і агрегатів, прискоренням виконання технологічних операцій, інтенсифікацією технологій, впровадженням не використовуваних раніше хімічних засобів, погіршенням психологічного стану персоналу (зокрема, через збройну агресію росії) тощо.

На сільськогосподарських підприємствах найчастішою причиною настання нещасних випадків є наїзд техніки на робітників. Така ситуація трапляється під час зчеплення або розчеплення трактора, при запуску двигуна не в нейтральній позиції коробки передач, під час силосування, при спробах взаємодіяти з трактором, причепом чи кузовом на ходу тощо. При цьому важливого значення мають захисні огороження. Необхідно ретельно перевіряти їх цілісність, кріплення та взагалі наявність. Серед технічних засобів убезпечення роботи також виділяють пристрої запобіжного гальмування, блокування, сигналізування, виконання автоматичного зчеплення з агрегатом, дистанційного керування.

Виробничий травматизм аналізується на базі актів форми Н-1 та річного звіту форми 7-ТВН. Серед показників (коефіцієнтів), дають розуміння стану виробничого травматизму в сільському господарстві, виділяють показники частоти настання нещасних випадків та їх важкості, а також показники втрат робочого часу.

Показник частоти настання нещасних випадків на 1000 робітників визначається за формулою:

$$K_{\text{ч}} = 10^3 \times \frac{P_c}{P}, \quad (4.1)$$

де  $P_c$  – кількість осіб, які втратили працездатність хоча б на день, включаючи настання смерті;

$P$  – середня за списком кількість працівників.

Показник важкості нещасних випадків характеризується середньою тривалістю втрати працездатності постраждалими і розраховується наступним чином:

$$K_{\text{в}} = \frac{D_{\text{н}}}{\Pi}, \quad (4.2)$$

де  $D_{\text{н}}$  – загальна кількість днів втрати працездатності усіх постраждалих;

$\Pi$  – кількість осіб, які втратили працездатність хоча б на день, не включаючи настання смерті;

Показник втрат робочого часу на 1000 робітників відображає рівень травматизму на підприємстві:

$$K_{\text{вт}} = 10^3 \times \frac{D_{\text{н}}}{P_{\text{д}}}, \quad (4.3)$$

де  $P_{\text{д}}$  – кількість робочих днів за досліджуваний період.

## Висновки до розділу 4

Приведемо основні рекомендації, що стосуються безпечних умов праці, на сільськогосподарському підприємстві:

### 1. Інструктаж і навчання персоналу:

- проведення обов'язкового первинного інструктування для вперше найнятих працівників;

- регулярне проведення повторного інструктажу та навчання для всього персоналу, враховуючи специфіку виконуваних робіт;

### 2. Забезпечення безпеки робочих місць:

- встановлення та підтримка безпеки робочого простору на всіх робочих місцях;

- регулярний контроль за технічним станом обладнання, машин та механізмів;

- обладнання робочих місць засобами колективного та індивідуального захисту;

### 3. Забезпечення засобами індивідуального захисту:

- надання працівникам необхідних засобів індивідуального захисту: рукавиці, каски, захисні окуляри, спецодяг тощо;

- контроль за правильним використанням та своєчасною заміною засобів індивідуального захисту;

### 4. Організація робіт з урахуванням погодних умов:

- при виконанні робіт на відкритому повітрі враховувати погодні умови та забезпечити працівників відповідним захистом від спеки, холоду, опадів;

- при надмірно високих або низьких температурах робочого середовища передбачити додаткові перерви або зміну режиму праці;

### 5. Контроль за станом здоров'я працівників:

- регулярні медичні огляди працівників для виявлення протипоказань до виконання певних видів робіт;

- надання першої медичної допомоги у разі нещасних випадків на виробництві;

### 6. Пожежна безпека:

- встановлення та обслуговування пожежної сигналізації та засобів гасіння пожеж;

- проведення навчань і тренувань з евакуації та дій у разі пожежі;

### 7. Безпека при роботі з хімічними речовинами:

- дотримання правил зберігання, транспортування та використання хімічних речовин;

- використання спеціальних засобів захисту при роботі з пестицидами, гербіцидами та іншими хімікатами;

### 8. Документування та аналіз нещасних випадків:

- ведення обліку всіх нещасних випадків на виробництві та їх аналіз для

виявлення причин і розробки заходів запобігання;

- вжиття заходів для усунення причин нещасних випадків та попередження їх повторення.

Ці рекомендації допоможуть дозволити підняти рівень ефективності виконання своїх функціональних обов'язків персоналом із дотриманням безпечних умов такого процесу на сільськогосподарському підприємстві.

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Ефективність сільськогосподарського виробництва з економічної точки зору оцінюється двома ключовими аспектами: витратами на отримання врожаю та доходом від його продажу, тісно пов'язаного з врожайністю. На врожайність впливає багато факторів, серед яких добрива відіграють важливу роль.

Техніко-економічне обґрунтування певних рішень здійснюється шляхом порівняння конструктивних варіацій для виконання аналогічних операцій з урахуванням ідентичності агрегування, продуктивності, енергоспоживання тощо. Основною порівняльного аналізу різних конструктивних рішень є характеристики машино-тракторного засобу, який замінюють новою технікою.

Модернізація РО відцентрового розкидача дає змогу зменшити тривалість виконання операції, витрати матеріалу та знизити екологічний вплив на довкілля. Досвід використання цього агрегату показує, що якісне виконання операції можливе за умови швидкості її виконання (руху транспортного засобу), що не перевищує 12 км/год, а також за умови якісного попереднього заробляння рослинних решток.

Проаналізуємо основні техніко-економічні показники, на основі чого можна буде зробити висновки стосовно доцільності впровадження модернізованої конструкції. Вихідними даними для розрахунку є показники базового (серійного) та пропонованого варіантів, які зведені у таблицю 5.1.

Змінна продуктивність визначається за формулою:

$$W_{зм} = W_{год} \times T_{зм}, \quad (5.1)$$

що для серійного варіанту становить:

$$W_{зм1} = 12,2 \times 7 = 85,4 \text{ га/зм}, \quad (5.2)$$

а для пропонованого відповідно:

$$W_{зм2} = 15,96 \times 7 = 111,72 \text{ га/зм}. \quad (5.3)$$

**Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку**

№	Показник	Серійний варіант	Пропонований варіант
1	Склад агрегату	МТЗ-82.1+МВУ-0,5	МТЗ-82.1+МВУ-0,5М
2	Обсяг робіт $Q$ , га	600	
3	Балансова вартість $B$ ( $B_T + B_M$ ), грн	166992+7800	166992+7900
4	Продуктивність $W_{год}$ , га/год	12,2	15,96
5	Кількість обслуговуючого персоналу $K_{пр}$ , чол.	1	
6	Годинна тарифна ставка $ТС$ , грн/год	61,62	
7	Витрата палива $G$ , кг/год	9,02	8,93
8	Вартість 1 кг палива $Ц_k$ , грн	55	
9	Тривалість зміни $T_{зм}$ , год	7	
10	Норма внесення добрив $Z$ , т/га	0,25	0,125
11	Середня вартість мінеральних добрив $ЦД$ , грн/т	38000	

Величину сумарних питомих експлуатаційних витрат знайдемо, як суму наступних показників:

$$S_E = A + B_{ремТО} + B_M + ЗП, \quad (5.4)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування на одиницю техніки, грн;

$B_{ремТО}$  – відрахування на поточні ремонтні роботи, роботи з технічного обслуговування, міжсезонну консервацію техніки, грн;

$B_M$  – вартість паливо-мастильних матеріалів, грн;

$ЗП$  – відрахування на оплату праці, грн.

Амортизаційні відрахування на одиницю техніки розраховуються за формулою:

$$A = \frac{a_{\text{рТ}} + a_{\text{кТ}} \times B_{\text{Т}}}{100 \times T_{\text{Т}} \times W_{\text{год}}} + \frac{a_{\text{рМ}} \times B_{\text{М}}}{100 \times T_{\text{М}} \times W_{\text{год}}}, \quad (5.5)$$

де  $a_{\text{рТ}} = 12,5 \%$  – річні відрахування на реновацію трактора;

$a_{\text{кТ}} = 4,0 \%$  – річні відрахування на капітальний ремонт трактора;

$a_{\text{рМ}} = 14,2 \%$  – річні відрахування на реновацію розсіювача;

$T_{\text{Т}} = 1200$  год – річне завантаження трактора;

$T_{\text{М}} = 140$  год – річне завантаження агрегату.

За формулою (5.5) розрахуємо цей показник для серійного варіанту:

$$A_1 = \frac{12,5 + 4 \times 166992}{100 \times 1200 \times 12,2} + \frac{14,2 \times 7800}{100 \times 140 \times 12,2} = 1,10 \text{ грн/га}, \quad (5.6)$$

а для пропонованого:

$$A_2 = \frac{12,5 + 4 \times 166992}{100 \times 1200 \times 15,96} + \frac{14,2 \times 7900}{100 \times 140 \times 15,96} = 0,85 \text{ грн/га}. \quad (5.7)$$

Відрахування на підтримання матеріально-технічної бази у робочому стані та міжсезонну консервацію техніки визначається наступним чином:

$$B_{\text{ремТО}} = \frac{a_{\text{пТ}} \times B_{\text{Т}}}{100 \times T_{\text{Т}} \times W_{\text{год}}} + \frac{a_{\text{пМ}} \times B_{\text{М}}}{100 \times T_{\text{М}} \times W_{\text{год}}}, \quad (5.8)$$

де  $a_{\text{пТ}} = 20 \%$  – річні відрахування на поточні ремонти, ТО трактора;

$a_{\text{пМ}} = 12 \%$  – річні відрахування на поточні ремонти, ТО розсіювача.

За формулою (5.8) для серійного варіанту:

$$B_{\text{ремТО1}} = \frac{20 \times 166992}{100 \times 1200 \times 12,2} + \frac{12 \times 7800}{100 \times 140 \times 12,2} = 2,83 \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

та для пропонованого:

$$B_{\text{ремТО2}} = \frac{20 \times 166992}{100 \times 1200 \times 15,96} + \frac{12 \times 7900}{100 \times 140 \times 15,96} = 2,16 \text{ грн/га}. \quad (5.10)$$

Вартість паливо-мастильних матеріалів становить:

$$B_{\text{м}} = g_{\text{га}} \times C_{\text{к}}, \quad (5.11)$$

де  $g_{\text{га}}$  – витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га:

$$g_{\text{га}} = G \times \frac{K}{W_{\text{год}}}, \quad (5.12)$$

де  $K = 0,94$  – коефіцієнт для врахування простоїв та холостих переїздів.

Для серійного варіанту цей показник становить:

$$g_{\text{га1}} = 9,02 \times \frac{0,94}{12,2} = 0,69 \text{ кг/га}, \quad (5.13)$$

а для пропонованого:

$$g_{\text{га2}} = 8,93 \times \frac{0,94}{15,96} = 0,53 \text{ кг/га}. \quad (5.14)$$

З урахуванням цього вартість паливо-мастильних матеріалів для серійного варіанту становить:

$$V_{\text{м1}} = 0,69 \times 55 = 37,95 \text{ грн/га}, \quad (5.15)$$

а для пропонованого:

$$V_{\text{м2}} = 0,53 \times 55 = 29,15 \text{ грн/га}. \quad (5.16)$$

Відрахування на оплату праці визначаємо наступним чином:

$$\text{ЗП} = \frac{\text{ТС}}{W_{\text{год}}} \times 1,2 \times 1,362. \quad (5.17)$$

Для серійного варіанту:

$$\text{ЗП1} = \frac{61,62}{12,2} \times 1,2 \times 1,362 = 8,26 \text{ грн/га} \quad (5.18)$$

та для пропонованого:

$$\text{ЗП2} = \frac{61,62}{15,96} \times 1,2 \times 1,362 = 6,31 \text{ грн/га}. \quad (5.19)$$

Тоді за формулою (5.4) сумарні питомі експлуатаційні витрати для серійного варіанту становлять:

$$S_{E1} = 1,10 + 2,83 + 37,95 + 8,26 = 50,14 \text{ грн/га} \quad (5.20)$$

та для пропонованого:

$$S_{E2} = 0,85 + 2,16 + 29,15 + 6,31 = 38,47 \text{ грн/га}. \quad (5.21)$$

Визначимо економію експлуатаційних витрат:

$$\Delta S_E = S_{E1} - S_{E2} = 50,14 - 38,47 = 11,67 \text{ грн/га}. \quad (5.22)$$

Розрахунок капітальних витрат проводимо за формулою:

$$\text{КВ} = \frac{B_T + B_M}{Q}, \quad (5.23)$$

що для серійного варіанту становить:

$$\text{КВ1} = \frac{174792}{600} = 291,32 \text{ грн/га} \quad (5.24)$$

та для пропонованого:

$$KB2 = \frac{174892}{600} = 291,48 \text{ грн/га.} \quad (5.25)$$

Знайдемо різницю (5.25) та (5.24):

$$\Delta KB = 0,16 \text{ грн/га.} \quad (5.26)$$

Розрахунок приведених витрат здійснюємо наступним чином:

$$ПВ = S_E + 0,15 \times KB, \quad (5.27)$$

що для серійного варіанту становить:

$$ПВ1 = 50,14 + 0,15 \times 291,32 = 93,84 \text{ грн/га} \quad (5.28)$$

та для пропонованого:

$$ПВ2 = 38,47 + 0,15 \times 291,48 = 82,19 \text{ грн/га.} \quad (5.29)$$

Тоді приведені витрати на весь обсяг робіт становлять:

$$ПВ_Q = ПВ \times Q, \quad (5.30)$$

що для серійного варіанту:

$$ПВ_{Q1} = 93,84 \times 600 = 56304 \text{ грн} \quad (5.31)$$

та для пропонованого:

$$ПВ_{Q2} = 82,19 \times 600 = 49314 \text{ грн.} \quad (5.32)$$

Розрахунок річного економічного ефекту отримуємо різницею (5.31) та (5.32):

$$E_p = ПВ_{Q1} - ПВ_{Q2} = 6990 \text{ грн} \quad (5.33)$$

Для розрахунку терміну окупності скористуємося формулою:

$$T_o = \Delta KB \times \frac{Q}{E_p} = 0,16 \times \frac{600}{6990} = 0,01 \text{ року.} \quad (5.34)$$

Перейдемо до розрахунку витрат на мінеральні добрива:

$$Z_d = Z \times Ц_d, \quad (5.35)$$

що для серійного варіанту:

$$Z_{d1} = 0,25 \times 38000 = 9500 \text{ грн} \quad (5.36)$$

та для пропонованого:

$$Z_{d2} = 0,125 \times 38000 = 4750 \text{ грн.} \quad (5.37)$$

Розрахуємо приведені витрати з урахуванням затрат добрив:

$$B_d = Z + ПВ, \quad (5.38)$$

що для серійного варіанту:

$$V_{д1} = 9500 + 93,84 = 9593,84 \text{ грн} \quad (5.39)$$

та для пропонованого:

$$V_{д2} = 4750 + 82,19 = 4832,19 \text{ грн}, \quad (5.40)$$

що на весь обсяг робіт для серійного варіанту становить:

$$V_{др1} = V_{д1} \times Q = 5\,756\,304 \text{ грн} \quad (5.41)$$

та для пропонованого:

$$V_{др2} = V_{д2} \times Q = 2\,899\,314 \text{ грн}. \quad (5.42)$$

Отже, економічна вигода протягом року з урахуванням затрат добрив:

$$V_{др} = V_{др1} - V_{др2} = 2\,856\,990 \text{ грн}. \quad (5.43)$$

Строк окупності капітальних інвестицій з урахуванням затрат добрив становить:

$$T_{од} = \Delta KB \times \frac{Q}{V_{др}} = 0,16 \times \frac{600}{2\,856\,990} = 3,36^{-5} \text{ року}. \quad (5.44)$$

Розрахуємо капітальні вкладення:

$$KBK = \frac{K_H \times m_T \times TC \times K_{HK}}{W_{3M}}, \quad (5.45)$$

де  $K_H = 1,375$  – коефіцієнт для врахування заробітної плати;

$m_T = 1$  – кількість тракторів;

$K_{HK} = 1,1-1,2$  – коефіцієнт для врахування надбавки за класність.

Для серійного варіанту цей показник становить:

$$KBK1 = \frac{1,375 \times 1 \times 61,62 \times 1,15}{85,4} = 1,14 \text{ грн/га}, \quad (5.46)$$

а для пропонованого:

$$KBK2 = \frac{1,375 \times 1 \times 61,62 \times 1,15}{111,72} = 0,87 \text{ грн/га}. \quad (5.47)$$

Зведемо отримані показники у таблицю 5.2.

**Таблиця 5.2 – Техніко-економічна ефективність від впровадження  
пропонованого рішення**

Показники	Варіанти	
	серійний	пропонований
Склад агрегату	МТЗ-82.1+ МВУ-0,5	МТЗ-82.1+ МВУ-0,5М
Об'єм робіт $Q$ , га	600	600
Продуктивність $W_{год}$ , га/год	12,2	15,96
Витрата $g_{га}$ палива на 1 га	0,69	0,53
Балансова вартість машини $B_m$ , грн	7800	7900
Експлуатаційні витрати $EB$ , грн/га	50,14	38,47
Заробітна платня з нарахуванням $ЗП$ , грн/га	8,26	6,31
Амортизація основних засобів $A$ , грн/га	1,10	0,85
Паливо-мастильні матеріали $Впмм$ , грн/га	37,95	29,15
Витрати на ТО, ПР, КР, зберігання $В_{ремТО}$ , грн/га	2,83	2,16
Мінеральні добрива $Z$ , грн/га	9500	4750
Капітальні вкладення на 1 га $КВк$ , грн	1,14	0,87
Приведені витрати на 1 га $ПВ$ , грн	98,34	82,19
Річний економічний ефект $Ер$ , грн	-	6990
Річний економічний ефект з врахуванням витрат на технологічний матеріал $Ер$ , грн	-	2 899 314
Термін окупності додаткових капіталовкладень $T_o$ , років	-	0,01
Термін окупності додаткових капіталовкладень з врахуванням витрат на технологічний матеріал $T_{од}$ , років	-	3,36 <sup>-5</sup>

## **Висновки до розділу 5**

Пропоноване конструктивне рішення є економічно вигідним, оскільки розрахований термін окупності інвестицій складає всього 0,01 року. Економічна вигода за 12 місяців від його впровадження оцінюється в 6990 грн.

Завдяки економії добрив до 50 % розрахунки показують економічну ефективність з урахуванням затрат технологічного матеріалу на рівні 2 899 314 грн на рік. Відповідно, строк окупності інвестицій з урахуванням економії матеріалу складає  $3,36^{-5}$  року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Відповідно до мети даної роботи виконано модернізацію агрегату для висіву органічно-мінеральних добрив в частині робочого органу та проведено експериментальні дослідження, що мали на меті вивчення параметрів його роботи. Показниками ефективності роботи розкидача є:

- відхилення дозування матеріалу при його внесенні не повинна перевищувати 10 % в поздовжньому напрямку до руху машино-тракторного агрегату та 20 % у поперечному;

- загальне відхилення дозування матеріалу по всій площі ділянки має становити не більше 10 %.

Науково-дослідним шляхом встановлені вимоги до рівномірності розподілу матеріалу підживлення рослин:

- стале розподілення органічно-мінеральних добрив по площі угідь при його висіванні;

- прискорення засвоєння необхідних хімічних сполук рослинами після внесення підживлення рослин;

- виконання заходів, що зменшують імовірність переміщення поживних речовин, що можуть розчинятися у воді в нижні шари ґрунту, де вони вже не можуть засвоюватися рослинами через їх кореневу систему;

- підбір правильної глибини внесення у відповідності до культури, що культивується;

- раціональне позиціонування висівного матеріалу органо-мінеральних добрив відносно міжряддя культури.

Невідповідність зазначеним вимогам знижує ефективність землеробства, що проявляється у неоднорідності врожайності, різних строках етапів розвитку культури, зниженні показників якості готової продукції.

Наявні зразки агрегатів для виконання технологічних операцій з підживлення рослин здатні забезпечити прийнятний рівень розподілу матеріалу при їх експлуатації у відповідних умовах. Це дозволяє досягти

максимальної продуктивності та рівномірності внесення добрив завдяки збільшенню охопту машино-тракторного агрегату за одну проходку.

Аналіз існуючих конструктивних рішень розкидачів мінеральних добрив, що засновані на принципі висіву під впливом відцентрової сили, свідчить про спрямування подальших зусиль інженерів на підвищення якісних показників їх роботи.

Завдяки розв'язку рівняння руху матеріальної точки, що відповідає руху кожної окремої гранули тукового матеріалу, сконструйовано та обґрунтовано доцільність запропонованої модернізації розкидача відцентрового типу, оскільки більш точне прогнозування траєкторії рух добрива дозволяє точніше оцінити рівномірність його висіву суцільним способом.

Для визначення якісних показників внесення мінеральних добрив розкидачем відцентрового принципу дії було розроблено спеціальну методики по їх оцінці. Лабораторні та натурні випробування запропонованої конструкції встановили показники рівномірності внесення на рівні 10 % та 17 % відповідно, що цілком відповідає поставленим вимогам до технологічної операції з підживлення рослин.

При вивченні загального стану охорони праці на сільськогосподарських підприємствах встановлено, що виробничий травматизм найчастіше трапляється серед механізаторів через невідповідний технічний стан машино-тракторних агрегатів при їх експлуатації, перебазуванні та обслуговуванні.

Показники економічної ефективності вказують на доцільність впровадження пропонованого рішення у господарствах, оскільки окупність модернізації настає вже через 0,01 року, економічна вигода становить 6990 грн продовж одного циклу культивування рослинної культури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alameen, A. A., Al-Gaadi, K. A., Tola, E. (2019). Development and performance evaluation of a control system for variable rate granular fertilizer application. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 160, pp. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.011>.
2. Babii, A., Dovbush, T., Khomuk, N., Dovbush, A., Tson, A., Oleksyuk, V. (2022). Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity*, Vol. 36, pp. 203–210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>.
3. Chen, G., Wang, Q., Li, H., He, J., Lu, C., Xu, D., Sun, M. (2023). Experimental research on a propeller blade fertilizer transport device based on a discrete element fertilizer block model. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 208, Article No 107781. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107781>.
4. Cool, S. R., Pieters, J. G., Acker, J. V., Bulcke, J. V. D., Mertens, K. C., Nuyttens, Gucht, D. R. E., T. C. V. D., Vangeyte, J. (2016). Determining the effect of wind on the ballistic flight of fertiliser particles. *Biosystems Engineering*, Vol. 151, pp. 425–434. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.011>.
5. Ding, Sh., Bai, L., Yao, Y., Yue, B., Fu, Z., Zheng, Zh., Huang, Y. (2018). Discrete element modelling (DEM) of fertilizer dual-banding with adjustable rates. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 152, pp. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.06.044>.
6. Fan, Ch., He, R., Shi, Y., He, L. (2024). Structure and operation mode of centrifugal side-throwing organic fertilizer spreader for greenhouses. *Powder Technology*, Vol. 438, Article No 119457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119457>.
7. Hu, J., He, J., Wang, Y., Wu, Y., Chen, Ch., Ren, Zh., Li, X., Shi, Sh., Du, Y., He, P. (2020). Design and study on lightweight organic fertilizer distributor. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 169, Article No 105149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105149>.

8. Hwang, S.-J., Nam, J.-S. (2021). DEM simulation model to optimise shutter hole position of a centrifugal fertiliser distributor for precise application. *Biosystems Engineering*, Vol. 204, pp. 326–345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.02.004>.

9. Liedekerke, P. V., Tijskens, E., Dintwa, E., Rioual, F., Vangeyte, J., Ramon, H. (2009). DEM simulations of the particle flow on a centrifugal fertilizer spreader. *Powder Technology*, Vol. 190, Is. 3, pp. 348–360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.08.018>.

10. Liu, J.-S., Gao, Ch.-Q., Nie, Y.-J., Yang, B., Ge, R.-Y., Xu, Zh.-H. (2020). Numerical simulation of fertilizer shunt-plate with uniformity based on EDEM software. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 178, Article No 105737. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105737>.

11. Sharipov, G. M., Heiß, A., Eshkabilov, S. L., Griepentrog, H. W., Paraforos, D. S. (2021). Variable rate application accuracy of a centrifugal disc spreader using ISO 11783 communication data and granule motion modeling. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 182, Article No 106006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106006>.

12. Singh, A., Rajput, Kapil, A. S. S., Das, M. (2022). Parameter sensitivity analysis of centrifugal spreaders for dispersing metallic powders and material property evaluation for DEM simulation. *Powder Technology*, Vol. 411, Article No 117958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117958>.

13. Song, C. C., Wang, G. B., Zhao, J., Wang, J., Yan, Y., Wang, M., ... & Lan, Y. (2022). Research progress on the particle deposition and distribution characteristics of granular fertilizer application. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng*, Vol. 38(14), pp. 59–70.

14. Song, C., Zhou, Zh., Zang, Y., Zhao, L., Yang, W., Luo, X., Jiang, R., Ming, R., Zang, Y., Zi, L., Zhu, Q. (2021). Variable-rate control system for UAV-based granular fertilizer spreader. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 180, Article No 105832. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105832>.

15. Villette, S., Cointault, F., Piron, E., Chopinet, B. (2005). Centrifugal

spreading: an analytical model for the motion of fertiliser particles on a spinning disc. *Biosystems Engineering*, Vol. 92, Is. 2, pp. 157–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.06.013>.

16. Wu, Zh., Li, M., Lei, X., Wu, Zh., Jiang, Ch., Zhou, L., Ma, R., Chen, Y. (2020). Simulation and parameter optimisation of a centrifugal rice seeding spreader for a UAV. *Biosystems Engineering*, Vol. 192, pp. 275–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.004>.

17. Xunwei, W., Zhiyan, Zh., Boqian, Ch., Jinfeng, Zh., Xiaolong, F., Hewitt, A. (2024). Distribution uniformity improvement methods of a large discharge rate disc spreader for UAV fertilizer application. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 220, Article No 108928. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108928>.

18. Yinyan, S., Man, C., Xiaochan, W., Odhiambo, M. O., Weimin, D. (2018). Numerical simulation of spreading performance and distribution pattern of centrifugal variable-rate fertilizer applicator based on DEM software. *Computers and electronics in agriculture*, Vol. 144, pp. 249–259.

19. Zhang, B., Li, W., Pu, J., Bi, Y., Huang, Y. (2024). Velocity effect on the impact dynamics of high-speed granular avalanches based on centrifuge modeling and DEM simulations. *Powder Technology*, Vol. 431, Article No 119083. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119083>.

20. Zhou, H., Yao, W., Su, D., Guo, Sh., Zheng, Z., Yu, Z., Gao, D., Li, H., Chen, Ch. (2024). Application of a centrifugal disc fertilizer spreading system for UAVs in rice fields. *Heliyon*, Vol. 10, Is. 8, Article No e29837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29837>.

# ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

*XI Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
117-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
віцепрезидента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)*

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

*22-23 лютого 2024 року  
м. Київ*

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF  
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL  
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE STATE  
BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ***PROCEEDINGS***

*XI International Scientific and Technical Conference dedicated  
to the 117th anniversary of the birth of  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vice President of the UAAS  
**KRAMAROV**  
Volodymyr Savovych  
(1906-1987)*

**«KRAMAROV'S READINGS»**

*February 22-23, 2024  
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2024. 505 с.

Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference dedicated to the 117th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 22–23, 2024, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2024. 505 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.

забезпечує більшу доступність простору приміщення для вантажопідйомного пристрою і можливість консольно нарощувати довжину прогінної балки, розширюючи доступний для крана простір. При роботі механізму підйому такого крана в елементах конструкції та приводу виникають значні динамічні навантаження. Для дослідження навантажень в механізмі підйому розроблено динамічну модель механізму, на основі якої складено диференціальні рівняння руху. Розв'язок отриманих рівнянь дав можливість визначити зусилля в тяговому елементі механізму підйому (рис.1)

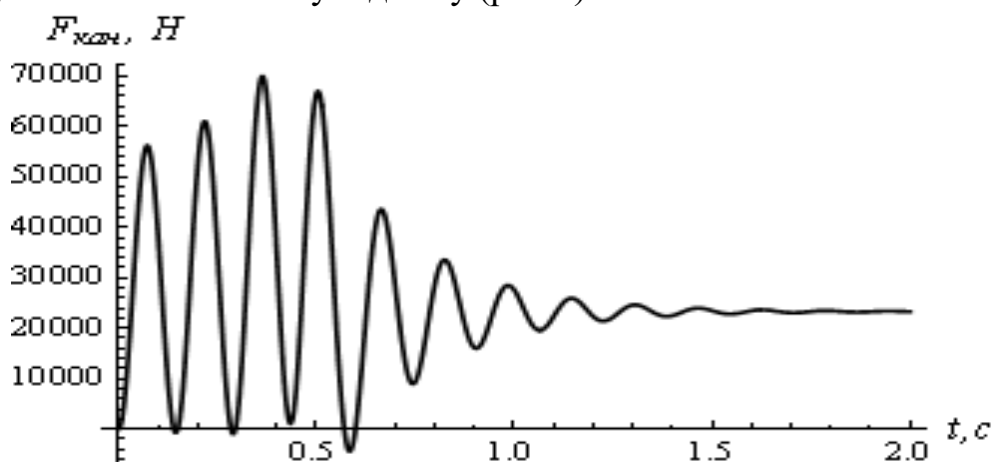


Рисунок 1- Графік зміни моменту в тяговому елементі механізму підйому

Пружне зусилля в тяговому елементі механізму підйому вантажу (рис. 1) в процесі пуску змінюється в коливальному режимі з високою частотою. Коливання згасають після 2 секунд руху. Зусилля в тяговому елементі досягає максимального значення при досягненні 0,5 с руху і становить 70 кН, що в 3,5 рази перевищує усталене значення. Необхідно відзначити, що для зменшення максимальних динамічних навантажень в процесі пуску механізму підйому вантажу в тяговому елементі необхідно здійснити оптимізацію режиму руху.

УДК 631.8

## РОЗКИДАЧІ ДОБРИВ: КЛАСИФІКАЦІЯ, КОНСТРУКЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

**О. О. НІКОЛЕНКО**, студент магістратури  
*Сумський національний аграрний університет*  
**Т. М. ВОЛІНА**, кандидат технічних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
*Сумський національний аграрний університет*

В сьогоденнішніх реаліях активного розвитку технологій, зокрема й точного землеробства, багато з них впроваджуються у сільськогосподарську галузь для

підвищення її ефективності. Технологія обробітку посівних площ мінеральними та органічними добривами має важливе значення у сільському господарстві.

Для оптимального розсіювання добрив використовуються розкидачі, що забезпечують не лише якісний врожай, але й мінімізують негативний вплив такої сільськогосподарської діяльності на навколишнє середовище. Призначення розкидачів добрив – внесення в ґрунт або безпосередньо на зелену масу мінеральних або органічних добрив у різних консистенціях. Мета їх використання – внесення поживних компонентів, які можуть вноситися в ґрунт як безпосередньо перед посадкою, так і в процесі вегетативного розвитку рослини, забезпечення повноцінного розвитку сільськогосподарських культур, що в результаті стане запорукою високого врожаю.

Застосування такого обладнання дозволяє:

- автоматизувати процес внесення добрив;
- мінімізувати участь у ньому людини;
- прискорити виконання робіт;
- підвищити якість процесу.

Існує широкий спектр конструкцій розкидачів добрив. Впровадження новітніх технологій має місце в удосконаленні їх конструкцій, адже від функціональності та технічних характеристик розкидачів залежить своєчасна обробка полів, садів, виноградників та інших насаджень.

В останні роки набуло широкого використання внесення добрив з використанням безпілотних апаратів – дронів, які можуть бути виділені в окрему групу від традиційних розкидачів добрив. Дрони програмуються на основі отриманої від тих же дронів інформації, що була зібрана під час попереднього дослідження сільськогосподарських угідь (аналізу та обробки даних).

Таким чином, в залежності від виду добрив можна виділити чотири окремі категорії обладнання для їх внесення в ґрунт:

- розкидачі гною (рис. 1);
- розкидачі твердих (гранульованих) органічних та мінеральних добрив;
- обладнання для внесення в ґрунт рідких добрив;
- безпілотні літальні апарати (дрони).



Рис. 1. Розкидач органічних добрив (гною)

Більшість сучасних розкидачів добрив комплектуються механізмами дискового типу. Безпосередньо під бункером або в його задній частині розташовуються дві заслінки: обмежувальна та запірна. Перша коригує кількість добрив, що подаються, а друга – відкриває або перекриває їх доступ. Проходячи через ці заслінки, добрива потрапляють на диск, що обертається з великою швидкістю, який і розсіює їх по полю, захоплюючи досить велику площу.

Розкидачі твердих (гранульованих) органічних та мінеральних добрив випускаються виробниками у навісному та причіпному виконанні.

Навісні розкидачі (рис. 2) переважно встановлюються на міні-трактори та трактори тягового класу 0,6–1,4 та при монтуванні стають частиною трактора. Обсяг місткості для поживних речовин є відносно невеликим – приблизно 0,8–2,0 м<sup>3</sup>, тому вони використовуються для обробки малих та середніх за площею угідь.



Рис. 2. Навісний розкидач мінеральних добрив

Причіпні розкидачі (рис. 3) – це більш габаритна техніка з бункером, здатним вміщувати від 2,0 до 20,0 м<sup>3</sup>. Такий розкидач може без дозаправки обробляти великі площі. Малогабаритна техніка з подібними механізмами не впорається. Необхідним є використання потужних тракторів тягового класу 6 або вище. Через досить великі габарити така техніка характеризується малою маневреністю. Вона підходить для роботи на відкритих майданчиках, на полях або виноградниках, де передбачена достатня ширина між рядами для проходу техніки.

Дозуючі функції у такого розкидача мінеральних добрив виконують секційні заслінки, а спеціальні решітки дозволяють розкидати добрива максимально рівномірно. Кількість внесення добрив регулюється зміною положення секційних заслінок і зміною швидкості транспортерів.



Рис. 3. Причіпний розкидач мінеральних добрив

Обладнання для внесення рідких добрив має свої конструктивні особливості (рис. 4): це цистерна з заправною штангою та вакуумною системою. Вакуумна система складається з ротаційного насосу, системи трубопроводів і запобіжного пристрою. Робота цистерни, а саме її спорожнювання та перемішування в ній добрив, здійснюється за допомогою відцентрового насоса. Під час руху трактора відцентровий насос лопатями захоплює органічне добриво і спрямовує його по напірному трубопроводу до виходу з насадкою, де відбувається його розпилення по поверхні поля.



Рис. 4. Устаткування для внесення в ґрунт рідких добрив

Застосування дрону (рис. 5) у сільському господарстві має свої переваги. Він обладнаний невеликою ємкістю, на якій встановлено форсунки-розприскувачі. Оскільки рідина у такі форсунки потрапляє одразу після виходу з бака, на її шляху до розпилення немає жодної перешкоди чи звуження. Цей факт, разом зі швидким обертанням дисків усередині самих форсунок, дає змогу розпилювати рідину навіть густої консистенції з чітко заданим розміром дуже

дрібних крапель. За використання традиційних наземних обприскувачів такої можливості немає – форсунки-атомайзери є новим трендом саме в обприскуванні рослин під час ультрамалооб’ємного внесення препаратів.



Рис. 5. Безпілотний літальний апарат (дрон)

Отже, на сьогоднішній день, виробництво розкидачів добрив дійшло до того етапу, коли їх конструкція набула гібридного стану. Використання у сільському господарстві нових технологій і конструкцій може бути втілено в досить незвичний для нас їх вигляд та функціональність. Підтвердженням цьому факту є дрони. Це беззаперечно є прогресом, оскільки сучасні технології в поєднанні зі штучним інтелектом дозволяють максимально оптимізувати використання добрив, людського ресурсу та збільшити врожайність, а в кінцевому результаті – підвищити фінансову ефективність сільськогосподарського виробництва.

УДК 631.3

## АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС РУХУ ЧАСТИНКИ ПО ЗОВНІШНІЙ ПОВЕРХНІ РУХОМОГО ЦИЛІНДРА

**Т. М. ВОЛІНА**, кандидат технічних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
Сумський національний аграрний університет*

Циліндрична поверхня є універсальним конструктивним елементом багатьох сільськогосподарських машин. По ній переміщується технологічний матеріал. Для циліндричних рухомих поверхонь досліджується, в основному, переміщення частинки по внутрішній поверхні. Цікавим з пізнавальної точки зору є рух частинок по зовнішній поверхні циліндра, оскільки при великому його радіусі обмежена ділянка поверхні, де відбувається відносний рух, буде

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ШВИДКОДІЄЮ КЕРУВАНЬ МЕХАНІЗМОМ ПОВОРОТУ БАШТОВОГО КРАНА <i>Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Губар Я. С.</i>	314
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОВОГО ВИРОБНИЦТВА <i>Сподоба М. О., Сподоба О. О.</i>	315
РОЗРОБКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ <i>Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Кульпін Р. А.</i>	317
ПЛУЖНИЙ ЛЕМІШ З ПЕРЕРИВИСТИМ ЛЕЗОМ <i>Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Полунін М. В.</i>	318
СИНТЕЗ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ МАНІПУЛЯТОРА З ВРАХУВАННЯМ ПРУЖНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ <i>Сподоба О. О., Сподоба М. О.</i>	321
ПРОЄКТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОБОТІВ ТА МАНІПУЛЯТОРІВ <i>Сподоба О. О., Сподоба М. О.</i>	323
РОЛЬ РОБОТИЗОВАНИХ КРАНІВ У ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ <i>Ромасевич Ю. О., Великоіваненко Д. І.</i>	324
АНАЛІЗ РЕЖИМУ ПУСКУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ПІДВІСНОГО НАСТІННОГО КРАНА <i>Ловейкін В. С., Ляшко А. П., Михайлишин</i>	326
РОЗКИДАЧІ ДОБРІВ: КЛАСИФІКАЦІЯ, КОНСТРУКЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ <i>Ніколенко О. О., Воліна Т. М.</i>	327
АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС РУХУ ЧАСТИНКИ ПО ЗОВНІШНІЙ ПОВЕРХНІ РУХОМОГО ЦИЛІНДРА <i>Воліна Т. М.</i>	331

ІНФОРМАЦІЙНЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

XI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО - ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

з нагоди 117-ї річниці від дня народження

доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ,  
віцепрезидента УАСГН

КРАМАРОВА Володимира Савовича

(1906-1987)

(22-23 лютого 2024 року)

*Відповідальна за випуск: В. І. Мельник, доцент кафедри надійності техніки  
НУБіП України.*

*Дизайн і верстка: Ю. І. Ревенко.*

*Адреса редакційної колегії – 03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 16,  
НУБіП України, навч. корп. 5, кімн. 17.*

**Редакційна колегія не несе відповідальності за зміст представлених  
матеріалів, поданих в авторській редакції**

---

Підписано до друку 7.03.2024. Формат 60x84 1/16  
Папір Maestro Print. Гарнітура Times New Roman.  
Друк. арк.. 18,1. Ум.-друк.арк. 27,2. Наклад 100 прим.  
Зам. №  
Редакційно-видавничий відділ НУБіП України  
03041, Київ, вул. Героїв оборони, 15. Т. 527-80-49, к 117

---

© НУБіП України, 2024

**Національний університет біоресурсів  
і природокористування України**



## ***ЗБІРНИК***

***ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XVIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ***

***«ОБУХОВСЬКІ ЧИТАННЯ»***

***з нагоди 98-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора, академіка АН ВШ України,  
Обухової Віолетти Сергіївни  
(1926-2005)***

***28 березня 2024 року***



**м. Київ**

ББК40.7

УДК 631.17+62-52-631.3

Обуховські читання: XVIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 28 березня 2024 року: тези конференції. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. 176 с.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів і докторантів учасників XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Обуховські читання», в яких розглядаються нинішній стан та шляхи розвитку прикладної геометрії та інженерної графіки, дизайну, питання викладання графічних дисциплін.

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:**

**Отченашко В.В.**, начальник науково-дослідної частини НУБіП України, – голова організаційного комітету;

**Ружило З.В.**, декан факультету конструювання та дизайну, – співголова організаційного комітету;

**Пилипака С.Ф.**, завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну, – заступник голови організаційного комітету;

**Несвідомін В.М.**, професор кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну, – секретар організаційного комітету;

### **ЧЛЕНИ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ:**

**Бабка В.М.** – доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну;

**Василів П.А.** – доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну;

**Воліна Т.М.** – доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну;

**Грищенко І.Ю.** – доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну;

**Несвідомін А.В.** – доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну;

**Роговський І.Л.** – гарант освітньо-наукової програми третього рівня вищої освіти за спеціальністю «Галузеве машинобудування»;

**Ромасевич Ю.О.** – професор кафедри конструювання машин і обладнання;

**Ванін В.В.** – д.т.н., проф., декан фізико-математичного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (за згодою);

**Ковальов С.М.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури (за згодою);

**Куценко Л.М.** – д.т.н., проф., професор кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України (за згодою).

Підбір решіт з метою отримання необхідного ступеня очищення проводиться споживачем за місцем експлуатації сепаратора в залежності від вихідного продукту і його властивостей (вологість, засміченість, фракційний склад і т.д.).

Проведений огляд конструкції та принципу роботи зерноочисного сепаратора БСХ-200 дає змогу виявити можливі напрямки його вдосконалення.

УДК 631.8

## **СВІТОВІ ТА ВІТЧИЗНЯНІ ЛІДЕРИ РИНКУ ВИРОБНИКІВ РОЗКИДАЧІВ ДОБРИВ**

*Ніколенко О.О.*

*Сумський національний аграрний університет*

*Воліна Т.М.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

*Сумський національний аграрний університет*

Виробництво розкидачів добрив розпочалося з моменту виникнення першої механізованої техніки ще на початку ХХ століття. Розвиток ринку розкидачів добрив, його структурні зміни тісно пов'язані з розвитком технологій, штучного інтелекту, і навіть опосередковано від коливань цін на ринку мінеральних добрив. Більшість відомих світових виробників розкидачів добрив почали свою діяльність досить давно, мають особисту історію виникнення. Під впливом реалій часу, конкуренції, багато з них постійно розширюють асортимент техніки для ведення агропромислового господарства, більше того – мають власне господарство та насадження, де тестують та випробовують свою техніку. Значну кількість коштів виробники спрямовують на самостійну розробку нових технологій внесення добрив, зокрема технологій точного внесення добрив та універсалізму розкидачів. Метою вдосконалення існуючих конструкцій і технологій є мінімізація витрат шляхом досягнення оптимального внесення кількості добрив, зменшення витрат трудових ресурсів та впливу на екологію і, звичайно, збільшення прибутку.

Слід зазначити, що ринок агротехніки також залежить від поєднання індивідуального та комплексного підходу виробника до кожного агрогосподарства-споживача. Деякі компанії потужніше утримують існуючий або завойовують новий ринок збуту, зокрема через вартість техніки, полегшення доступності до нової техніки через різні види лізингу, відстрочення платежів та кредитів, скидки, навчання на новому обладнанні та консультування покупця, рівня універсальності та якості обслуговування самої техніки, простоти

управління та керування. Важливою складовою тут є відкриття дилерських мереж та представництв в країнах-імпортерах.

Аналіз вітчизняного ринку виробників агротехніки та, зокрема, розкидачів добрив дає можливість виявити його лідерів:

Основним українським виробником є «Завод Кобзаренка» ([www.kobzarenko.com.ua](http://www.kobzarenko.com.ua)), заснований у 1993 році як українсько-німецьке товариство «Флігель» та перейменованій у 2008 році. Завод розташовується у смт. Липова Долина Сумської області і має загальну площу 40000 квадратних метрів для виробництва та зберігання продукції. В його складі є власне земельне господарство площею більше 300 га, що дає можливість проводити випробування в реальних умовах експлуатації. Завод експортує техніку до 34 країн світу, маючи розгалужену дилерську мережу, використовуючи європейські комплектуючі відомих виробників (ADR, Dinamica Generale, Bondioli & Pavesi – Італія, Scharmuller – Австрія, Hupro – США, Rauch – Німеччина, Pronar – Польща, ВКТ – Індія, Mitas – Чехія та ін.).

ТОВ «Оріхівсільмаш» ([www.orehovselmash.com](http://www.orehovselmash.com)) – виробниче підприємство сільськогосподарського машинобудування, яке на ринку більше 10 років. Компанія виробляє понад 60 моделей сільськогосподарської техніки та понад 2600 запчастин на неї. Вся техніка проходить технічні випробування на експериментальних стендах компанії, а потім і в реальних польових умовах. 100 % комплектуючих на техніку, а також витратних матеріалів, виробляються на власному підприємстві. Завод розташовано у м. Запоріжжя і, на жаль, він досить сильно постраждав від війни з російськими окупантами.

«Хмільниксільмаш» (Вінницька обл.) – завод сільськогосподарських машин, створений в 1968 році. З 1962 року спеціалісти підприємства займаються розробкою і виробництвом навісних машин для внесення мінеральних добрив. Даний виробник має конкурентоспроможну продукцію за рахунок її вартості.

Перейдемо до світових лідерів:

«Deere & Company» — американська машинобудівна компанія, що випускає сільськогосподарську, будівельну та лісопромислову техніку. Компанія випускає трактори, комбайни, ґрунтообробне та посівне обладнання, обприскувачі, техніку для заготівлі кормів «зелена лінійка», системи точного землеробства, садово-паркове обладнання, техніку для догляду за гольфовими полями, будівельну техніку, газонокосарки, снігоприбиральні машини. Заводи компанії розташовані переважно у США, а дилерська мережа присутня на ринках всіх агропромислових країн, в тому числі і в Україні.

Компанія Lehner ([www.lehner.eu](http://www.lehner.eu)) – це німецький виробник агропромислової інноваційної техніки, яка застосовується в сільському та комунальному господарстві. Історія бренду бере свій початок ще з 1956 року. Це було невелике сільськогосподарське підприємство засноване Йозефом Ленером у Вестерштеттені. На сьогоднішній день компанія займається виготовленням сівалок, розкидачів мінеральних добрив та дорожніх сумішей. На українському ринку цей бренд з'явився нещодавно – приблизно в 2020 році.

Група компаній Kuhn ([www.kuhn.com](http://www.kuhn.com)) була заснована в 1828 році. До складу компанії на даний момент входять чотири заводи у Франції і по одному в США, Бразилії та Нідерландах. На заводах Kuhn виготовляються різноманітні машини для обробки ґрунту і сівби, заготовки та упаковки сіна, приготування і роздачі кормів, внесення засобів захисту рослин, мінеральних та органічних добрив, подрібнення рослинних залишків. Компанія Kuhn займає шосте місце в світі за обсягами виробництва сільськогосподарської техніки та перше серед компаній, що спеціалізуються на причіпному і навісному обладнанні. Kuhn експортує свою продукцію в більш ніж 80 країн світу, в тому числі і в Україну.

Найбільший польський виробник сільгосптехніки – Unia ([www.uniamachines.com](http://www.uniamachines.com)), виробляє щорічно близько 25000 одиниць, з них понад 10000 одиниць йде на експорт в 60 країн по всьому світу. Unia складіється з п'яти заводів (Грудзендз, Бжег, Слупськ, Вроцлавські Конти).

Корпорація сільськогосподарського машинобудування Kverneland Group базується в Норвегії, але кожний завод Kverneland фокусується на окремій продукції і є спеціалізованим центром, який включає виробництво, науково-дослідну діяльність, менеджмент. Розкидачі мінеральних добрив розробляються й виготовляються на заводі Nieuw-Venper, розташованому поблизу Амстердама, Нідерланди. На сьогодні по всьому світі продано більше одного мільйона маятникових розкидачів цієї компанії.

Vogballe A/S ([www.vogballe.com](http://www.vogballe.com)) – виробник з Данії, який почав свою діяльність у 1934 році, належить компанії Erhvervsinvest, розвиває свій бренд Vogballe як технологічний лідер у розкидачах мінеральних добрив. Перший розкидач добрив був випущений на початку 1950-х років. Частка експорту: 95 %.

Amazonen-Werke (відома також як Amazone) – німецька компанія, виробник сільськогосподарської та комунальної техніки. Головний завод підприємства, заснованого в 1883 році Генріхом Драйером, розташований в Хасберген-Гаст, поблизу Оснабрюка, в Нижній Саксонії. Компанія розробляє і виробляє інноваційну сільськогосподарську техніку з високими стандартами якості та з урахуванням сучасних та економічно ефективних технологій ([www.amazone.net](http://www.amazone.net)). Amazone виробляє широкий спектр сільгоспмашин, в тому числі розсіювачі добрив, обприскувачі, сівалки, ґрунтообробні знаряддя. Її продукція експортується в більш ніж 70 країн, частка експорту становить близько 75 %. В Україні компанія представлена дочірнім підприємством – Компанією ДП «Амаzone – Україна» та працює на ринку більше 20 років.

Компанія Sulky була заснована в 1936 році в місті Бретані, Франція та є одним із лідерів по виробництву навісних і причіпних розкидачів мінеральних добрив. Продукцію компанії Sulky знають в більш ніж 50 країн світу, включаючи країни Західної і Центральної Європи.

Компанія Fliegl Agrartechnik GmbH ([www.fliegl-agrartechnik.de](http://www.fliegl-agrartechnik.de)) розпочала свою діяльність в 1976 році в Німеччині. Сучасний завод Fliegl в місті Мюльдорфі дав можливість створювати новітні інноваційні транспортні засоби та сільськогосподарську техніку. Велику популярність компанія отримала

завдяки причепним розкидачам рідких добрив. Офіційне представництво Групи компаній Fliegl було відкрите в Україні 2014 році.

Окремо необхідно виділити формування нового сучасного сегменту ринку оприскувачів – агродронів. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА, дронів) в сільському господарстві з метою застосування засобів захисту та підкормки рослин стає все більш популярним інноваційним інструментом у країнах по всьому світу, завдяки численним перевагам, які ця технологія пропонує у порівнянні з традиційними методами обробки. Звичайний дрон, якщо має відповідні технічні характеристики, облаштовується додатковим обладнанням (ємністю, системою трубопроводів та форсунок), програмується та може використовуватись як агродрон – розсіювач рідких мінеральних добрив. Отже, виробники даної техніки часто навіть не спеціалізуються безпосередньо на аграрній техніці.

DroneUA – міжнародний системний інтегратор безпілотних рішень. DroneUA входить до ТОП-3 найінноваційніших підприємств аграрного сектору України за версією FORBES та у ТОП-20 найінноваційніших підприємств України. Являється найбільшим імпортером та дистриб'ютором провідних виробників дронів, представляє технологічні рішення брендів XAG, EcoFlow, Pix4D, Parrot, Chasing, DroneDeploy, AgroCares тощо на ринку України та Східної Європи. До складу групи компаній DroneUA входять власні конструкторські, виробничі та сервісні підрозділи, а також відкритий центр обробки даних. Технологічні рішення, представлені DroneUA, використовуються на понад 4 млн га посівних площ в Україні. Тільки за підсумками сільськогосподарського сезону 2021 року дронами-обприскувачами від DroneUA було оброблено понад 1 млн. га. Україна стала ринком із найстрімкішими показниками зростання та найвищим рівнем впровадження технологій дронів у всьому світі, обігнавши такі країни як: Бразилія; Мексика; В'єтнам; Індонезія; Таїланд. За 2021 рік ринок дронів XAG в Україні зріс на 60 %.

Компанія DJI розташована в Шеньчжені, а її офіси можна знайти у США, Німеччині, Нідерландах, Японії, Південній Кореї, Пекіні, Шанхаї та Гонконзі. У 2012 році DJI вирішила поширити свою передову технологію безпілотників на сільськогосподарську галузь. Так у 2015 році народилася DJI Agriculture. DJI Agriculture прагне надавати інтелектуальні рішення за допомогою технології дронів, сприяючи сільськогосподарським інноваціям.

Quantum Systems – німецький виробник дронів, в тому числі і для агропромисловості, який інвестував 7 млн євро у виробництво в Україні.

Сділ зазначити, що цей перелік не є вичерпним. Крім того, на сьогоднішній день необхідно є розробка відповідної законодавчої бази використання дронів у сільському господарстві, адже існують і негативні наслідки такого впровадження.

ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗЕРНООЧИСНОГО СЕПАРАТОРУ БСХ-200 .....	121
<i>Чешко А.С., Волина Т.М.</i>	
СВІТОВІ ТА ВІТЧИЗНЯНІ ЛІДЕРИ РИНКУ ВИРОБНИКІВ РОЗКИДАЧІВ ДОБРИВ .....	125
<i>Ніколенко О.О., Волина Т.М.</i>	
ОБГРУНТУВАННЯ АГРЕГАТУ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ЗАХИСНИХ ЗОН ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ .....	129
<i>Теслюк В.В., Марковець Р.О. Ікальчик М.І.</i>	
АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СФЕРИЧНОГО КОПАЧА ВОРОХУ КОРЕНЕПЛОДІВ .....	131
<i>Барановський В.М., Теслюк В.В., Сахацький Р.І.</i>	
VISUALIZATION METHODS OF LANDSCAPE MONITORING WITH UAVS .....	133
<i>Rezk A.G.I.E., Dashkevich A.O.</i>	
TRENDS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS AND CONTENT OF INDEXED JOURNALS.....	134
<i>Rogovskii I. L.</i>	
EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF AVAILABLE SOURCES OF ALTERNATIVE ENERGY AND EQUIPMENT THAT CONVERTS RENEWABLE RESOURCES INTO ENERGY .....	137
<i>Titova L. L.</i>	
TECHNICAL MEANS AND ELEMENTS “HUMAN – TECHNIQUE” SYSTEMS .....	139
<i>Ishchenko V. V.</i>	
ENGINEERING MANAGEMENT OF DIAGNOSTIC AND MONITORING SYSTEM DURING COMBINE HARVESTING .....	144
<i>Nadtochiy O.V.</i>	
TECHNICAL CONTROL OF WEAR OF SPRAYERS OF SELF-PROPELLED SPRAYERS.....	146
<i>Liubchenko I.S.</i>	
FEATURES OF OPTIMIZATION METHODS OF SYSTEM OF AGROMACHINERY OF PLANTING .....	149
<i>Sivak I.M.</i>	

Наукове видання

Збірник  
тез доповідей  
XVIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
«ОБУХОВСЬКІ ЧИТАННЯ»  
з нагоди 98-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора, академіка ВШ України,  
Обухової Віолетти Сергіївни  
(1926-2005)

(28 березня 2024 року)

*Відповідальні за випуск:*

*Роговський І.Л.* – завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України.

*Редактор – І.Л. Роговський.*

*Дизайн і верстка –* кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України.

*Адреса колегії – 03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12<sup>б</sup>, НУБіП України, навч. корп. 11, кімн. 309.*

---

Підписано до друку 22.04.2024. Формат 60×84 1/16.

Папір Maestro Print. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman та Arial.

Друк. арк. 5,4. Ум.-друк. арк. 5,5. Наклад 100 прим.

Зам. № 10097 від 22.04.2024.

Видавничий центр НУБіП України

03041, Київ, вул. Героїв оборони, 15. т. 527-80-49, к. 117

---

© НУБіП України, 2024

СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ  
ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ  
РОЗКИДАЧІВ МІНЕРАЛЬНИХ ТА  
ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

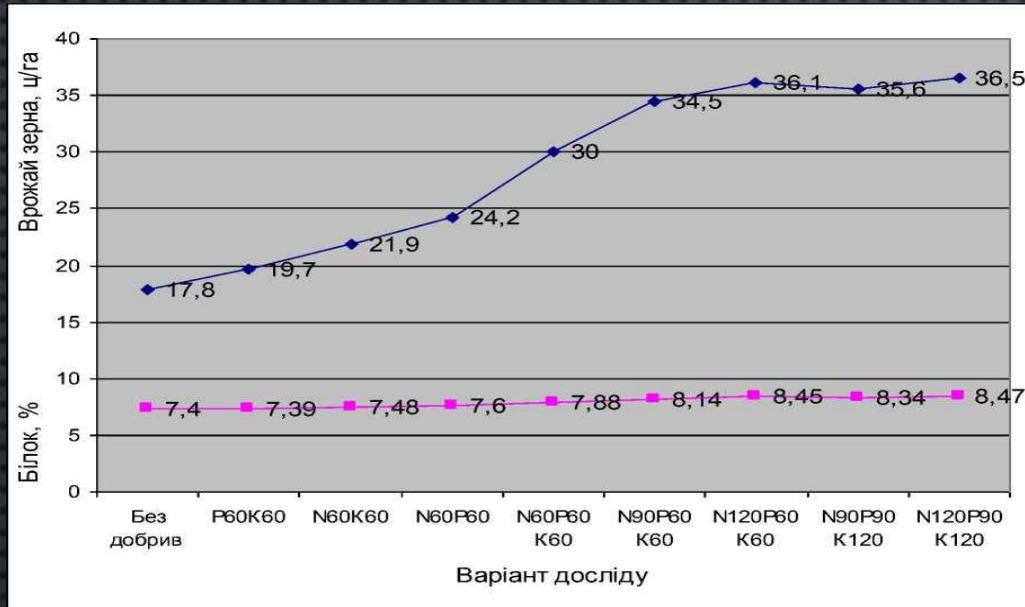
Виконав: Ніколенко О.О.

Керівник: к.т.н., доц. Воліна Т. М.

Рецензент: к.т.н., доц. Думанчк М.Ю.

Суми – 2024

# Актуальність теми

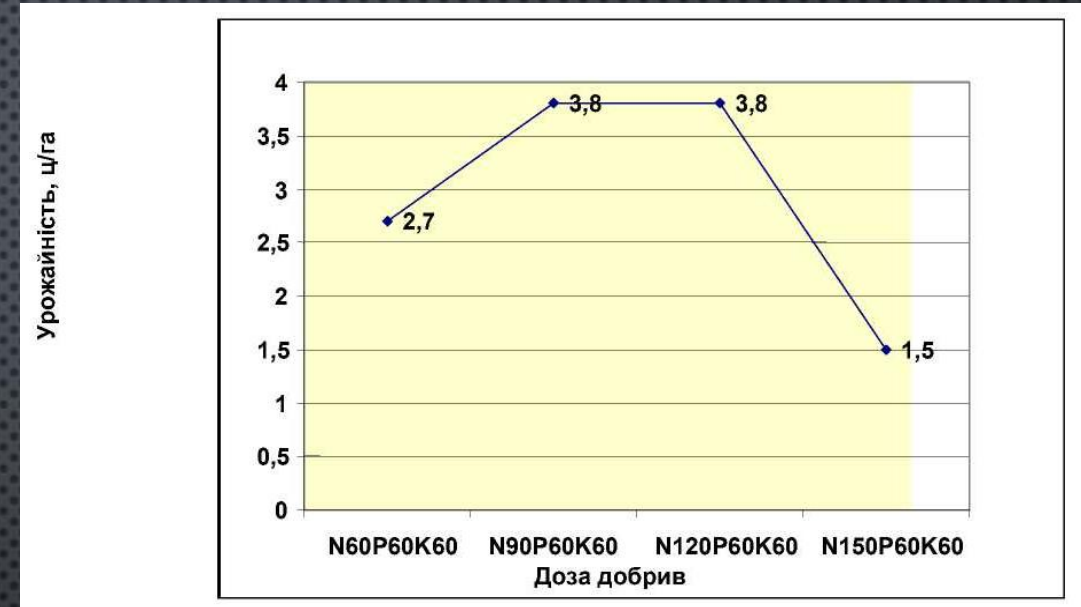


Залежність вмісту білкової складової жита озимого від застосованих мінеральних добрив при його культивації

Мета дослідження: підвищення якості розподілу добрив при їх внесенні згори шляхом удосконалення функціональної структури, оптимізації конструктивних параметрів та алгоритмів функціонування розкидача – туковисівного апарату.

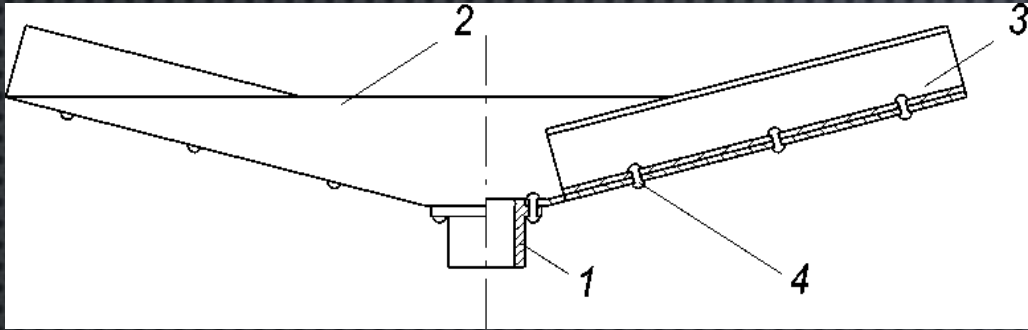
Об'єкт дослідження: робочий орган туковисівного апарату дискового типу.

Предмет дослідження: вплив його конструктивних параметрів на якість розподілу добрив.

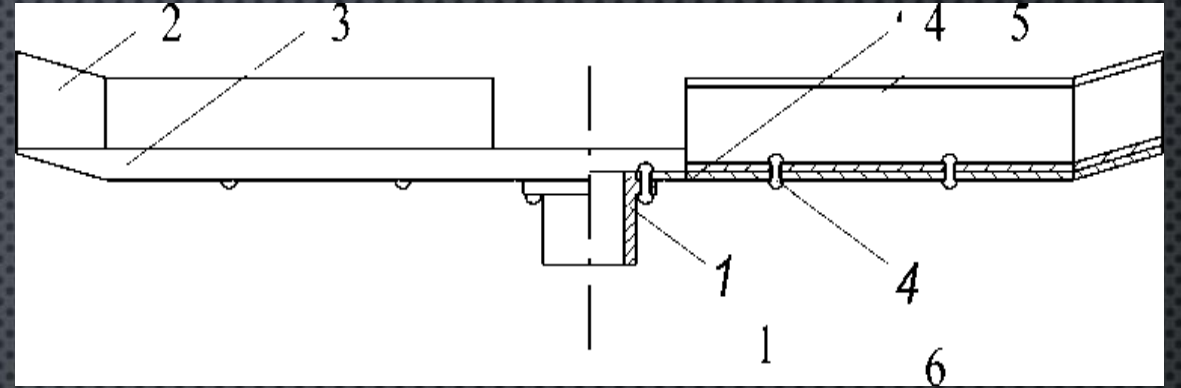


Динаміка зміни врожайності під впливом дозування азотовмісних мінеральних добрив

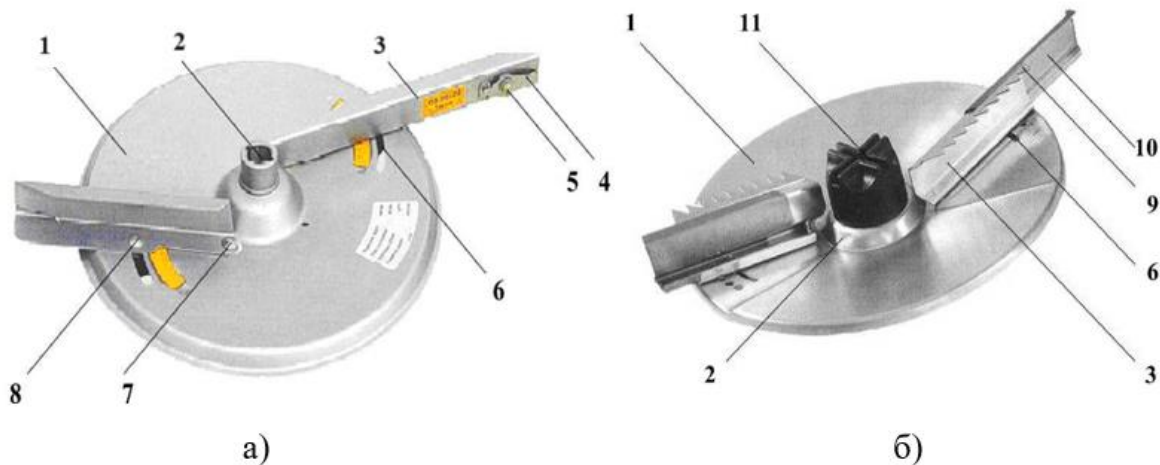
# Огляд існуючих рішень



Принципова схема розкидача, заснованого на відцентровому робочому органі конусної форми:  
1 – вал обертання; 2 – конусний робочий орган;  
3 – лопать; 4 – механічне з'єднання лопаті з диском



Принципова схема розкидача, заснованого на відцентровому робочому органі плоскої форми:  
1 – вал обертання; 2 – подовжувач лопаті;  
3 – конусоподібна обичайка; 4 – плоский диск;  
5 – лопать; 6 – механічне з'єднання лопаті з диском



Робочі органи агрегатів іноземного виробництва:  
1 – дисковий розкидач; 2 – вал обертання; 3 – лопать;  
4 – спрямовуючий кожух; 5 – вісь кожуха; 6 – зазор;  
7 – вісь повороту лопаті; 8 – фіксатор лопаті;  
9 – кромка лопаті; 10 – подовжувач лопаті;  
11 – контргайка:  
а – Amazonen-Werke;  
б – Rauch

Показниками ефективності роботи розкидача є:

- відхилення дозування матеріалу при його внесенні не повинно перевищувати 10 % в поздовжньому напрямку до руху машино-тракторного агрегату та 20 % у поперечному;
- загальне відхилення дозування матеріалу по всій площі ділянки має становити не більше 10 %.

## Розрахунок параметрів розкидача

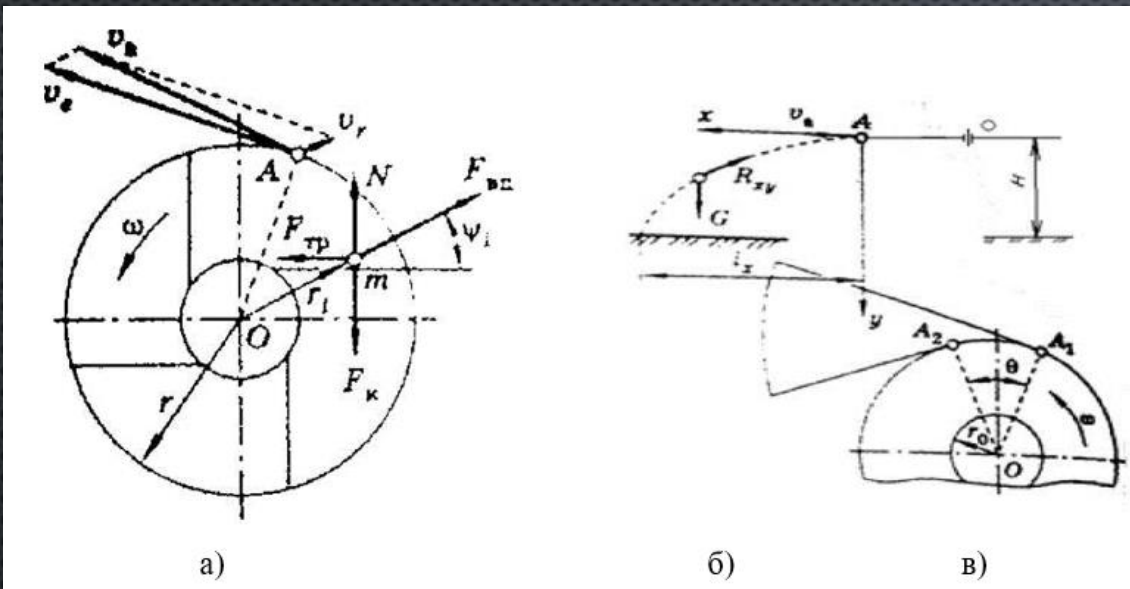


Схема дії сил на гранулу добрива при роботі дискового робочого органу:

а – схема сил, що діють на частинку мінеральних добрив;

б – визначення траєкторії вільного польоту гранули;

в – області робочого органу, де проходить розсіювання

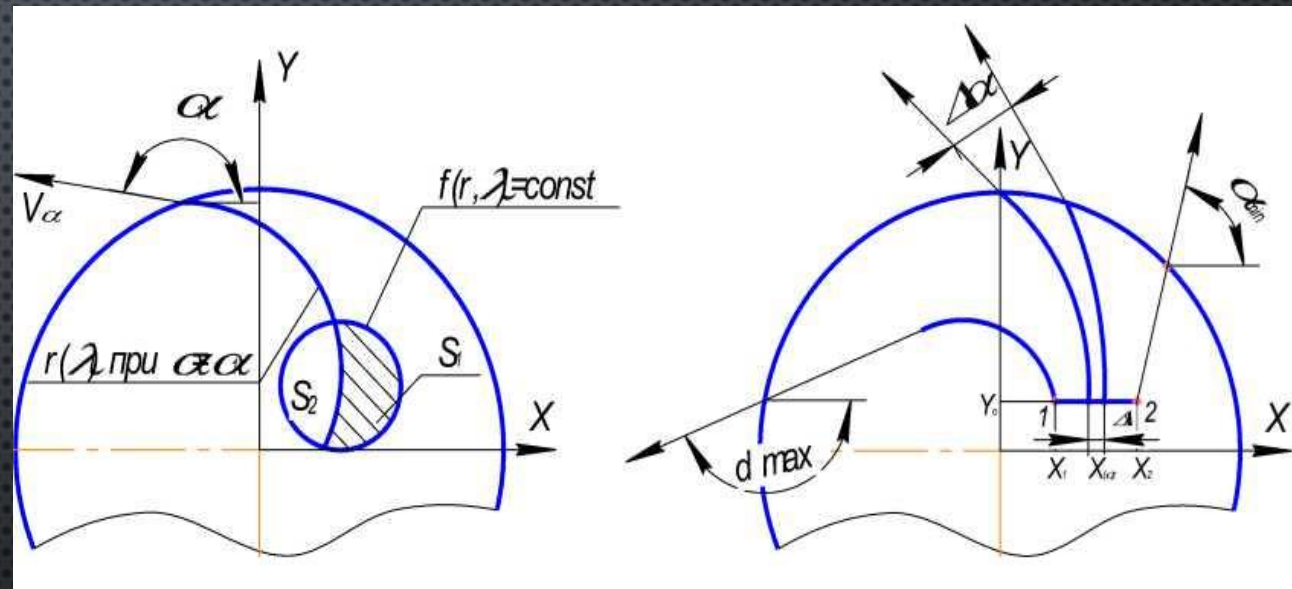
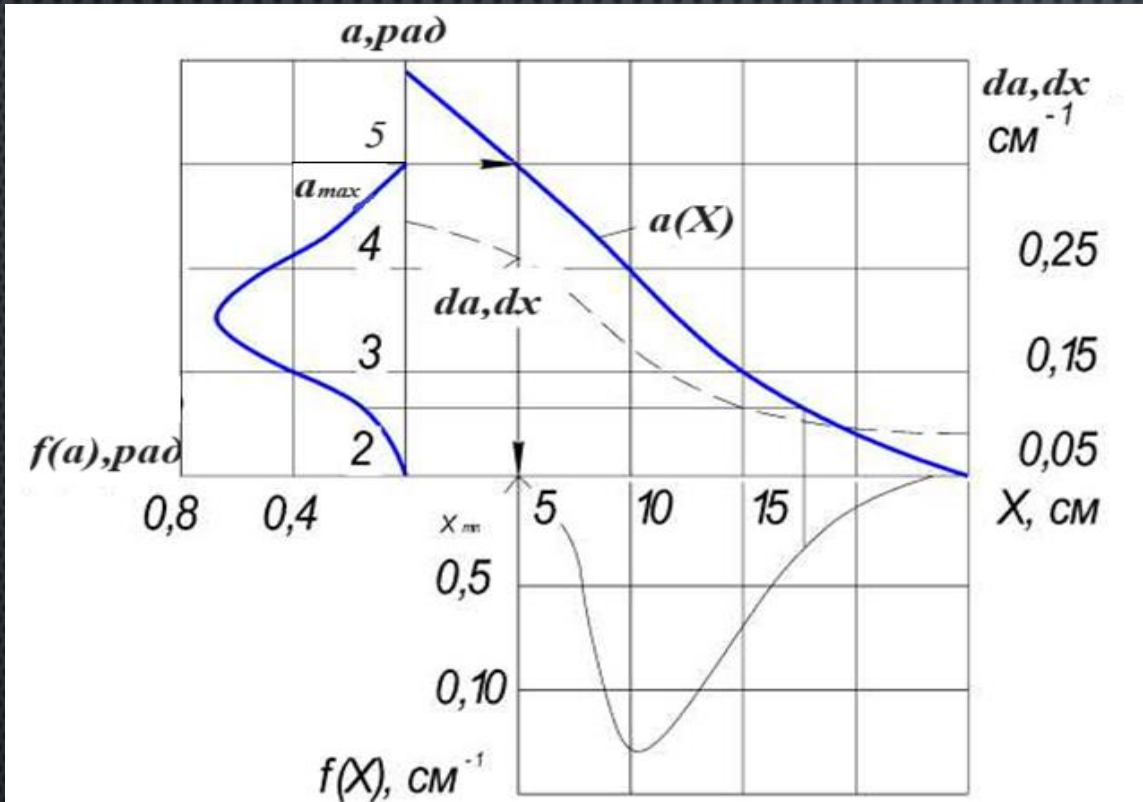


Схема встановлення кута висіву:

а – звичайний метод подачі матеріалу;

б – шляхом подачі з лотка

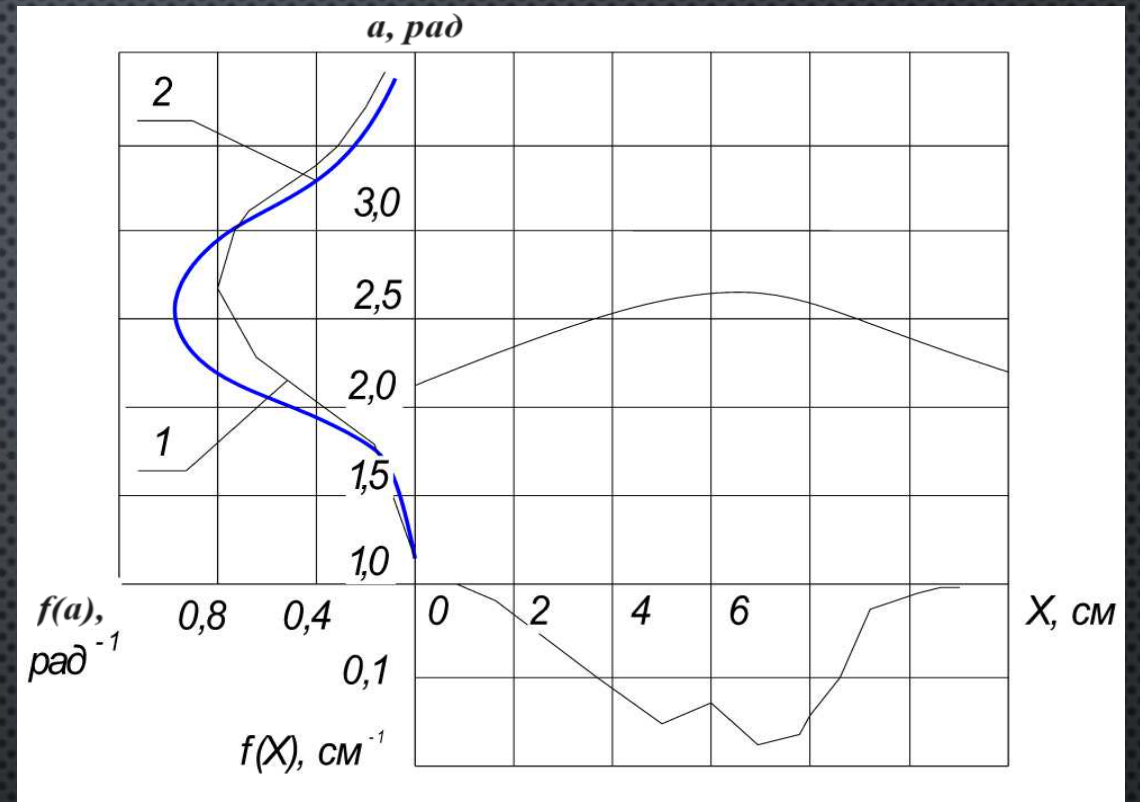
# Розрахунок параметрів розкидача



Графічне зображення до визначення ймовірності  $f(X)$

В ході теоретичних досліджень було встановлено, що:

1. Ефективна робота робочого органу можлива при частоті обертання не менше 79,9 об/хв;
2. Максимальна відстань польоту частинки добрив для розсіювача складає 8,4 м;
3. Ширина розсіювання висівного апарату з двома дисками дорівнює 17,6 метрів.



Результати аналітичних та лабораторних досліджень кута розсіювання у графічному вигляді за прийнятих параметрів:

$R=0,3$  м,  $R_0=0$ ,  $Y_0=-0,0693$  м,  $\varphi=0,59$  рад

# Методологія експериментальних досліджень

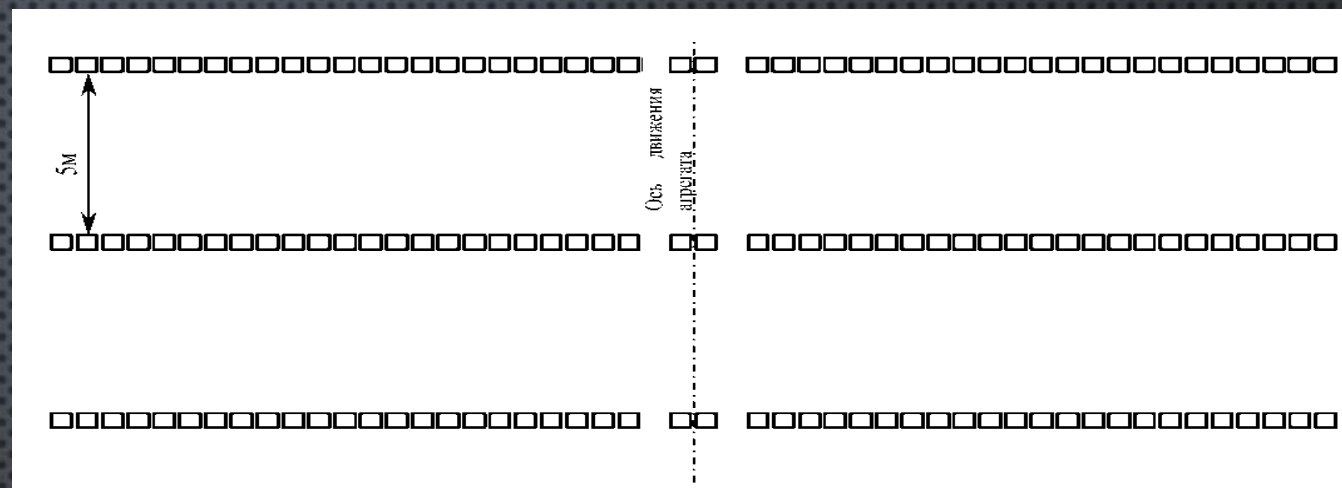
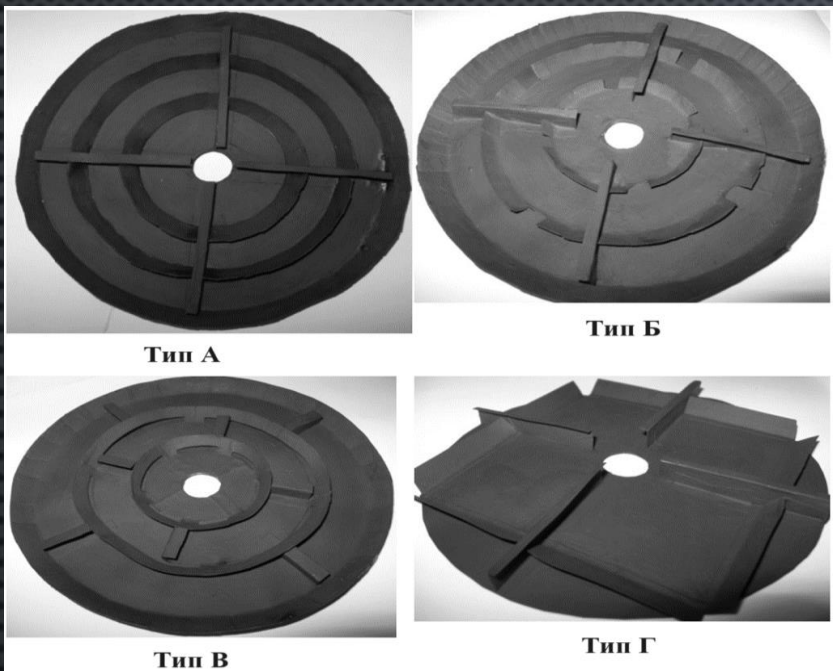


Схема натурних випробувань

Спроектвані робочі органи розсіювачів добрив



Експериментальний робочий орган розкидача



Спроектвана експериментальна установка

# Проведення експериментальних польових випробувань



Конструкція робочого органу з восьми лопатями



Конструкція еталонного горизонтального дискового робочого органу

## Аналіз моделей досліджуваних робочих органів

Показники	Зразки робочих органів		
	Восьми пелюстковий (пологий)	Восьми пелюстковий (гострий)	Еталонний
Суперфосфат порошкоподібний			
Коефіцієнт варіації, %	27	28,8	60
Похибка дослід, %	3,5	4,3	4,3
Робоча ширина захвату, м	2,8	2,8	3,0
Карбомід			
Коефіцієнт варіації, %	17	17,8	55
Похибка дослід, %	4,0	4,5	4,0
Робоча ширина захвату, м	5	5	5

# Техніко-економічне обґрунтування пропонованих рішень

Пропоноване конструктивне рішення є економічно вигідним, оскільки розрахований термін окупності інвестицій складає всього 0,01 року. Економічна вигода за 12 місяців від його впровадження оцінюється в 6990 грн.

Завдяки економії добрив до 50 % розрахунки показують економічну ефективність з урахуванням затрат технологічного матеріалу на рівні 2 899 314 грн на рік. Відповідно, строк окупності інвестицій з урахуванням економії матеріалу складає 3,36<sup>-5</sup> року.

Показники	Варіанти	
	серійний	пропонований
Склад агрегату	MT3-82.1+ МВУ-0,5	MT3-82.1+ МВУ-0,5М
Об'єм робіт Q, га	600	600
Продуктивність W <sub>год</sub> , га/год	12,2	15,96
Витрата g <sub>га</sub> палива на 1 га	0,69	0,53
Балансова вартість машини B <sub>м</sub> , грн	7800	7900
Експлуатаційні витрати EB, грн/га	50,14	38,47
Заробітна платня з нарахуванням ЗП, грн/га	8,26	6,31
Амортизація основних засобів А, грн/га	1,10	0,85
Паливо-мастильні матеріали Впмм, грн/га	37,95	29,15
Витрати на ТО, ПР, КР, зберігання B <sub>ремТО</sub> , грн/га	2,83	2,16
Мінеральні добрива Z, грн/га	9500	4750
Капітальні вкладення на 1 га КВк, грн	1,14	0,87
Приведені витрати на 1 га ПВ, грн	98,34	82,19
Річний економічний ефект Ер, грн	-	6990
Річний економічний ефект з врахуванням витрат на технологічний матеріал Ер, грн	-	2 899 314
Термін окупності додаткових капіталовкладень T <sub>о</sub> , років	-	0,01
Термін окупності додаткових капіталовкладень з врахуванням витрат на технологічний матеріал T <sub>оД</sub> , років	-	3,36 <sup>-5</sup>

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Відповідно до мети роботи виконано модернізацію агрегату для висіву органічно-мінеральних добрив в частині робочого органу та проведено експериментальні дослідження, що мали на меті вивчення параметрів його роботи.

Завдяки розв'язку рівняння руху матеріальної точки, що відповідає руху кожної окремої гранули тукового матеріалу, сконструйовано та обґрунтовано доцільність запропонованої модернізації розкидача відцентрового типу, оскільки більш точне прогнозування траєкторії руху добрива дозволяє точніше оцінити рівномірність його висіву суцільним способом.

Для визначення якісних показників внесення мінеральних добрив розкидачем відцентрового принципу дії було розроблено спеціальну методику по їх оцінці.

Лабораторні та натурні випробування запропонованої конструкції встановили показники рівномірності внесення на рівні 10 % та 17 % відповідно, що цілком відповідає поставленим вимогам до технологічної операції з підживлення рослин.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!